

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA



**“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO DE
AGUA Y SODA CAUSTICA AGREGADOS A LOS TANQUES DE UNA
LAVADORA DE BOTELLAS DE VIDRIO RETORNABLE DE UNA PLANTA
PRODUCTORA DE REFRESCO”**

**Realizado por:
YANESKA MARÍA MACERO AVIS**

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO ANTE LA UNIVERSIDAD DE
ORIENTE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

Puerto La Cruz, Abril de 2011

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA



**“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO DE
AGUA Y SODA CAUSTICA AGREGADOS A LOS TANQUES DE UNA
LAVADORA DE BOTELLAS DE VIDRIO RETORNABLE DE UNA PLANTA
PRODUCTORA DE REFRESCO”**

ASESORES

Ing. Quim. Hernan R., Raven C., (M. Sc.)

Asesor Académico

Ing. Quim. Lohanna Mogollón

Asesor Industrial

Puerto La Cruz, Abril de 2011

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA



**“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO DE
AGUA Y SODA CAUSTICA AGREGADOS A LOS TANQUES DE UNA
LAVADORA DE BOTELLAS DE VIDRIO RETORNABLE DE UNA PLANTA
PRODUCTORA DE REFRESCO”**

JURADO:

El Jurado hace constar que asignó a esta Tesis la calificación de:

APROBADO

Ing. Quim. Hernan R., Raven C., (M. Sc.)
Asesor Académico

Ing. Quim. Yraima Salas
Jurado Principal

Ing. Quim. Ronald Arias
Jurado Principal

Puerto La Cruz, Abril de 2011

RESOLUCIÓN

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de trabajos de Grados:

“Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y solo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quién deberá participarlo previamente al Consejo Universitario para su autorización”.

DEDICATORIA

Al principio de este largo viaje que fue plasmar esta tesis, llegué a pensar que esta sería la parte más sencilla, la más fluida, pero en realidad no fue así y no porque no supiera a quien dedicarle cada página de este proyecto, sino por el simple hecho de querer tener las palabras exactas para que se entienda realmente lo que siento por las personas a quien les dedico esta tesis... Este es el resultado de lo que quiero expresar.

En primera instancia le agradezco a Dios por cada respiro que me permite cada día, por no abandonarme en ningún momento, por darme la oportunidad de vivir y por llevarme por este hermoso camino que ha sido mi vida. Siempre estaré agradecida de Dios!

A la virgencita del Valle por escuchar mis plegarias y por haberme dado la oportunidad de trazar este nuevo capítulo de mi vida.

A mi mamita bella, por ser la mejor madre del mundo (ojala pueda ser la mitad de buena madre que eres), por cuidarme y mostrarme el bien y el mal, por arriesgarte conmigo siempre y confiar en mí, este triunfo es tuyo!. Soy la mujer que soy gracias a ti. Me enseñaste a ser perseverante, a luchar por lo que uno quiere. Todas las decisiones que tomaste fueron las correctas y moriré agradecida de todos los sacrificios que tuviste que hacer para que yo haya llegado hasta aquí. Te amo mami!.

A Dorys Real, mi madrina, por ser más que una simple madrina, por ser mi segunda madre, por enseñarme innumerables cosas, por ser tan fuerte y sublime a la vez, por enseñarme que expresar amor a quienes amas es la mejor forma de vivir. Por enseñarme que de manera sencilla se puede ser feliz, que la felicidad siempre nos rodea, solo hay que sentirla. Me enseñaste a que soy libre y que mi vida es solo mía. Te amo madrina!.

A Jesús Antonio Macero Avis, mi hermanito, por entender cada palabra que digo, por cuidarme y protegerme tal cual un hermano mayor lo haría, por ser tan preocupado y por quererme y adorarme tanto, este triunfo también es tuyo chiquito, siéntete orgulloso y disfrútalo!. Te amo!.

A mi papa, por darme su apoyo y ayudarme a llegar hasta aquí, por presionarme a sacar lo mejor de mí para terminar este proyecto, aquí esta papi, este logro es tuyo también, tu niña lo logro!. Te amo!. Siempre serás el primer amor de mi vida.

A Ramón Bucarito, por acompañarme durante este largo viaje y no dudar de mí ni un solo instante, por ser mi pilar de fortaleza y mi apoyo incondicional, cada día que pasa le agradezco a Dios por haberme permitido estar en tu vida. Este proyecto significa el fin de un capítulo y el comienzo de otro para nosotros, para ser más y más felices y para acercarnos más a ese futuro que soñamos.

AGRADECIMIENTOS

Le doy gracias a Dios por colocarme siempre en el lugar correcto, con las personas correctas y en el momento correcto. Por estar conmigo a cada instante y permitirme lograr todas mis metas.

A mis padres, por haberme dado la vida, y por haber hecho de mi lo que soy. A mi mamá, por ser mi guía y la luz de mi vida, por enseñarme que la constancia y la perseverancia tienen una recompensa, por confiar en mí y por no dudar en ningún momento que puedo lograr lo que quiera. A mi papá, por apoyarme y ayudarme a lograr mis metas, a siempre darme una oportunidad de lograr lo que deseo.

A mi madrina, por enseñarme “si vas a hacer algo, debes hacerlo bien. Sino, no lo hagas”, eso me impulso a querer ser mejor cada día y siempre lo llevo en mente. Gracias madrina!.

A Jesús Antonio Macero, por ayudarme a entender el lenguaje de un controlador, y de lo que es capaz de hacer por mí y como puedo amoldarlo a controlar lo que necesito y no perder nunca la paciencia conmigo ni en un instante.

A mi familia, a mi tía Yuva por siempre estar pendiente de mis necesidades y ayudarme a finalizar esta etapa de mi vida, a mi Tía Xiomara y mi Tío Enrique por abrirme las puertas de su casa cuando más lo necesite y siempre ser los tíos más preocupados y por quererme tanto y a mi prima Carolina por siempre darme palabras sensatas de aliento.

A Ramón Bucarito, por ayudarme en todo momento a mejorar cada parte de este proyecto, por ser totalmente sincero conmigo y preocuparse genuinamente. Por presionarme cada día a sacar lo mejor de mí.

A mi profesor, Hernán Raven, por ser tan paciente conmigo y entender cada una de las ideas no bien formuladas que le expresaba, por ayudarme a finalizar este proyecto de forma exitosa.

A Gismar Ruiz, por enseñarme como darle comienzo a este proyecto en el que al principio no sabía cómo ordenar mis ideas ni cómo conseguir toda la información que necesitaba. Gracias Amiga!

A mi familia Pepsi-Cola, por ayudarme en todo momento en todas las dudas que se presentaron en el camino, a darme las técnicas y ayudarme a conocer el proceso.

A Roque Valero, por tener la paciencia y la disposición necesaria para ayudarme a entender a Excel, y mostrarme todo lo que puedo hacer con él. Cada vez que puedo aprendo algo más de ti!. Eres un gran compañero!.

A Antonio, Jesús, Roberth, Diego, Blanco, Mi Puchi, Cariana, Moira, Javier y mis niños de Pensum nuevo (María Fernanda, Edgar, Manuela, Gaby, Pedro, Kenny, Nahir y Sonia) cada uno de ustedes es supremamente especial para mí, los días más felices de mi trayectoria universitaria la viví con ustedes y aprendí demasiado a su lado. Gracias a ustedes, la universidad se convirtió en la mejor etapa de mi vida. Los quiero.

A la Universidad de Oriente y mis profesores por darme las herramientas necesarias para desarrollarme como una excelente ingeniero.

RESUMEN

En el presente trabajo se propuso un sistema de control automatizado de agua y soda caustica agregados a los tanques de una lavadora de botellas de vidrio retornable de una planta productora de refresco. Para ello, se recopiló información de las fallas del proceso, de las variables operacionales, las fallas presentadas y los procedimientos de control. Se caracterizaron las corrientes involucradas en el proceso de lavado mediante balances de materia en los tanques 1, 2, 3 y 4. Además, se determinaron las desviaciones de las variables operacionales actuales del proceso de lavado. Se identificaron las causas que influyen sobre las variables del sistema y se estableció un sistema automático de control. Se llevó a cabo el estudio de los límites de control estadísticos del proceso para cada una de las variables en cada uno de sus tanques, observándose, que los valores obtenidos no coinciden con los límites de especificación exigidos por la empresa en el 93,75% de los casos. Se evidenció que la falta de conocimiento de los flujos de las variables afectan la adecuación del porcentaje de concentración de soda a los tanques, así como también que la variable operacional que se encuentra en mayor desviación es el porcentaje de concentración de soda para el tanque 1 y 4. La propuesta establecida de automatización, basada en la inclusión de un PLC e incluyendo medidores de las variables de cada uno de los tanques controlará el error ocasionado por las fluctuaciones de concentración de soda a lo largo del tiempo, permitiendo que en todo momento el proceso se mantenga en control, aumentando su capacidad.

CONTENIDO

RESOLUCIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS.....	vii
RESUMEN.....	ix
CONTENIDO	x
LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE TABLAS	xv
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	17
1.1 PEPSI-COLA VENEZUELA	17
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
1.3 OBJETIVOS.....	20
1.3.1- Objetivo general.....	20
1.3.2- Objetivos específicos.....	20
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	22
2.1- ANTECEDENTES.....	22
2.2- BASES TEÓRICAS	23
2.2.1- Descripción del proceso de elaboración de refresco	23
2.2.2- Lavadora de botellas	33
2.2.3- Descripción del proceso de lavado de botellas.....	42
2.2.4- Balances de materia	48
2.2.5- Características de un sistema de control	50
2.2.6- Control realimentado.	51
2.2.7- Clasificación de sistemas de control.....	51
2.2.8- Tipos de control	53
Figura 2.17. Estructura de un PLC.....	58
2.2.9- Gráficos de control.....	58
2.2.10- Diagrama Causa-Efecto.....	69

CAPITULO III: DESARROLLO DEL PROYECTO.....	71
3.1- CARACTERIZACIÓN DE LAS CORRIENTES INVOLUCRADAS EN EL PROCESO DE LAVADO MEDIANTE BALANCES DE MATERIA EN CADA TANQUE	71
3.2- DETERMINAR LAS DESVIACIONES DE LAS VARIABLES OPERACIONALES ACTUALES DEL PROCESO DE LAVADO DE LA LÍNEA 4 DE ENVASADO.....	75
3.3- IDENTIFICAR LAS CAUSAS QUE INFLUYEN SOBRE LAS VARIABLES DEL SISTEMA DE LAVADO.....	80
3.5.- MUESTRA DE CÁLCULO	85
3.5.1 Método de cálculo para las corrientes de soda, agua y vapor de los tanques de la lavadora de botellas	85
3.5.2 Cálculos de los balances de materia para los tanques de la lavadora de botellas	89
3.5.3 Cálculos para la realización de los gráficos de control X-R de las concentraciones, temperaturas y niveles para cada tanque	90
3.5.4 Cálculos para la preparación de las soluciones de NaOH a diferentes concentraciones para la medición de su conductividad	93
CAPITULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	75
4.1 ANALISIS DE RESULTADOS.....	75
4.1.1- Caracterización de las corrientes involucradas en el proceso de lavado mediante balances de materia en cada tanque.....	75
4.1.2- Determinar las desviaciones de las variables operacionales actuales del proceso de lavado de la línea 4 de envasado.....	78
4.1.3 Identificar las causas que influyen sobre las variables del sistema de lavado	93
4.1.4 Establecer un sistema automático de control para el sistema de lavado	96

4.2 CONCLUSIONES.....	101
4.3 RECOMENDACIONES.....	102
BIBLIOGRAFÍA CITADA.....	103
BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL.....	105
ANEXOS.....	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO C.....	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO B.....	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO A.....	¡Error! Marcador no definido.
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:.....	106

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Despaletizador Innopal KHS.....	25
Figura 2.2. Desembaladora Serie 7000 de Zepf/ Barry-Wehniller.....	26
Figura 2.3. Lavadora de cajas y lavadora de botellas.....	27
Figura 2.4. Inspector Linatronic 1200.....	28
Figura 2.5. Llenadora EM (V/VF) 132.....	29
Figura 2.6. Tapadora 24.....	30
Figura 2.7 Inspector de Botellas llenas FT 50.....	31
Figura 2.8. Embaladora Serie 9000.....	32
Figura 2.9. Robot Motoman SP160.....	32
Figura 2.10. Paletizador LORD PL 2 BKN 2 KHS Innofill.....	33
Figura 2.11. Lavadora con múltiples tanques y dos extremos. (Aray, 2009) .	35
Figura 2.12. Diagrama del proceso de lavado de botellas indicando puntos de medición de tiempo. (Aray, 2009).....	38
Figura 2.13. Sistema del control de vapor. (Barry-Wehmiller, 1999).....	40
Figura 2.14. Sistema de Control de Nivel (Compartimiento N° 4). (Barry-Wehmiller, 1999).....	41
Figura 2.15. Válvula diafragma. (Caroli, 2006).....	42
Figura 2.16. Proceso de lavado de botellas.....	45
Figura 2.17. Estructura de un PLC.....	58
Figura 2.18. Gráficos de observaciones para el control de calidad.....	59
Figura 2.19. Diagrama de las variables que pueden ser establecidas por las personas que manejan una producción.	60
Figura 2.20. Gráfico representativo de las zonas identificativas de un gráfico de control. (PEPSICO- INC, 2007).....	65
Figura 2.21. Diagrama de toma de mediciones de una variable continua.	66

Figura 2.22. Estructura de Diagrama Causa-Efecto (PEPSICO-INC, 2007) ..	70
Figura 3.1 Diagrama de corrientes involucradas en el Tanque 1 de la lavadora de botellas para la realización de balances de materia.....	74
Figura 3.2 Elementos de un sistema de control automático.	83
Figura 4.1 Gráfica de control de %Concentración de soda, para el tanque 1.....	79
Figura 4.2 Gráfica de control de Temperatura de Panel, para el tanque 1	80
Figura 4.3 Gráfica de control de temperatura de termómetro, de tanque 1 ...	82
Figura 4.4 Gráfica de control de Nivel, de tanque 1	83
Figura 4.5 Gráfica de control de %Concentración de soda, tanque 2.....	84
Figura 4.6 Gráfica de control de temperatura de panel, tanque 2.....	85
Figura 4.7 Gráfica de control de temperatura de termómetro, tanque 2	86
Figura 4.8 Gráfica de control de nivel, tanque 2	86
Figura 4.9 Gráfica de control de %Concentración de soda, tanque 3.....	87
Figura 4.10 Gráfica de control de temperatura de panel, tanque 3.....	88
Figura 4.11 Gráfica de control de temperatura de termómetro, tanque 3	89
Figura 4.12 Gráfica de control de nivel, tanque 3	89
Figura 4.13 Gráfica de control de %concentración de soda, tanque 4.....	90
Figura 4.14 Gráfica de control de temperatura de panel, tanque 4.....	91
Figura 4.15 Gráfica de control de temperatura de termómetro, tanque 4	92
Figura 4.16 Gráfica de control de nivel, tanque 4	93
Figura 4.17. Diagrama Causa-Efecto de la desviación de las variables del proceso de lavado.....	94
Figura 4.18 Diagrama de tuberías e instrumentación de propuesta de automatización para lavadora de botellas.....	98

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Especificaciones de fabricante Barry Wehimiller. (Barry-Wehmiller, 1999).....	33
Tabla 2.2. Condiciones de operación recomendadas por el fabricante Barry Wehimiller. (Barry-Wehmiller, 1999)	35
Tabla 2.3. Tiempo de lavado entre puntos. (PEPSICO-INC, 2004)	37
Tabla 2.4 Rango de temperaturas y concentración para cada tanque de lavado según PepsiCO. (PEPSICO-INC, 2004).....	38
Tabla 2.5. Ejemplo de tabla para la elaboración de gráficos X-R.	67
Tabla 2.6. Coeficientes para subgrupos de hasta 10 mediciones.....	69
Tabla 3.1 Valores de lectura inicial del contador, lectura final del contador y tiempo de consumo de vapor.	73
Tabla 3.2 Valores de lectura inicial del contador, lectura final del contador y tiempo de consumo de soda para las diferentes corridas.	73
Tabla 3.3 Valores de tiempo de llenado con agua del volumen máximo para cada uno de los tanques de la lavadora para las diferentes corridas. ...	73
Tabla 3.4 Valores de temperatura del panel, temperatura de termocuplas, concentración y niveles para el tanque 1	78
Tabla 3.5 Valores de temperatura del panel, temperatura de termocuplas, concentración y niveles para el tanque 1. (<i>Cont.</i>).....	79
Tabla 3.6 Valores de conductividad para distintas concentraciones de Hidróxido de Sodio.....	82
Tabla 3.7 Valores de los subgrupos promedios, valores máximos, mínimos y rangos, para la concentración de soda caustica del TQ1 de la lavadora de botellas.....	91

Tabla 4.1 Valores de flujos de soda de alimentación y su promedio para las tres lecturas realizadas75

Tabla 4.2 Valores de flujos de agua de alimentación para cada uno de los tanques de la lavadora de botellas76

Tabla 4.3 Valores de flujos de soda disuelta para cada uno de los tanques de la lavadora77

Tabla 4.4 Valores de flujos de vapor y su promedio para las lecturas realizadas77

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 PEPSI-COLA VENEZUELA

La empresa PEPSI-COLA VENEZUELA, C.A., comienza desde el año 1948, cuando por medio de una asociación de los Señores José Díaz y Juan Viera inician un negocio de bebidas gaseosas, el cual tuvo por nombre EMBOTELLADORAS GOLDEN CUP, C.A., ubicada en Los Teques estado Miranda, la cual amplía sus actividades productivas con la apertura de la nueva planta en Villa de Cura, estado Aragua. La EMBOTELLADORA GOLDEN CUP, C.A. en 1993 pasa a ser parte de la Organización de Empresas Polar la que adquiere el total de sus acciones, en su afán de diversificar más sus actividades y como una oportunidad de incursionar en la industria refresquera, la cual comienza a desarrollarse fuertemente y más hacia finales de 1996 cuando se asocia con PEPSI-CO INC, es ahí cuando pasa a ser PEPSI-COLA VENEZUELA, C.A.

PEPSI-COLA VENEZUELA, C.A., planta Barcelona, inicia sus operaciones el 30 de octubre de 1998. La misión principal de la compañía es la satisfacción de sus clientes y consumidores, desarrollando para esto una cultura corporativa, emprendedora, innovadora y de excelencia. Proporcionando productos de calidad y marcas líderes, convirtiéndose en la número uno en cada uno de los segmentos en que compete, teniendo siempre presente la integración con la comunidad y el ambiente.

A principios del mes de octubre del año 2000 se cambió la razón social de Presamir, C.A., Presazulia, C.A. y Presandes, C.A, pasando a ser

PEPSI-COLA VENEZUELA, C.A. centralizando el departamento de nómina para todas las plantas. Hoy por hoy, PEPSI-COLA VENEZUELA C.A. continúa en la lucha con inversiones que garantizan la avanzada tecnología de los equipos, capacitando cada día más a su personal y satisfaciendo las necesidades de los clientes.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Pepsi- Cola Venezuela, C.A; Planta Barcelona, se encuentra ubicada en las instalaciones de Cervecería Polar Planta Oriente, en la carretera negra, km. 15, sector Ojo de Agua, vía Naricual. Para el momento cuenta con tres líneas de producción en planta y una cuarta línea ubicada en las instalaciones de Cervecería. Las tres líneas (2, 4 y 5) que se encuentran en planta poseen la versatilidad de envasar Pepsi, 7 Up y sabores Golden en diferentes presentaciones. En las líneas 2 y 5 (PET): 1,5 l en envases no retornables, Línea 4 (embotelladora): 266 ml y 350 ml en botellas retornables y por último en la cuarta línea se produce de acuerdo a las demandas del mercado: Soda Evervess en botellas de 250 ml desechable y sabores Golden latas de 355 ml, contando con un plan de producción mensual aproximado de 1.300.00 cajas en diferentes presentaciones y sabores.

En esta planta sólo tres de las cinco áreas en las que se divide, se encuentran los equipos utilizados para lograr que la empresa obtenga su producto terminado, llamadas sala de jarabe (simple y terminado), área de servicio y el área de producción.

La sala de jarabe está compuesta por una serie de tanques, bombas, sistemas y un ambiente refrigerado, en donde se produce el jarabe terminado; base para el producto final. El área de servicios está compuesta

por equipos y dispositivos que surten de amoníaco, agua de proceso y servicios, aire comprimido, *trimeta sauer* y soda caustica (proveniente de la Cervecería y utilizada para la limpieza de tanques, tuberías y botellas), todos ellos permitiendo llevar a cabo el proceso productivo. En última instancia, se tiene el área de envasado, que a su vez está dividida en las antes mencionadas tres líneas (línea 2,4 y 5).

En relación con lo anteriormente planteado Pepsi-Cola Planta Barcelona ha detectado la concurrencia de paradas imprevistas en la producción de una de sus líneas (línea 4) a consecuencia de uno de los equipos que en ella se encuentra; la lavadora de botellas. Siendo este equipo de vital importancia para el buen funcionamiento del proceso y teniendo la capacidad de lavar 1.100 botellas por minuto. Ésta es una máquina automática que se encarga de lavar las botellas de forma continua a través de una serie de 5 tanques, donde las botellas son lavadas con soda caustica por inmersión y 2 tanques donde son enjuagadas con agua y otras sustancias por inyección.

Mientras la línea se encuentre activa se debe hacer un análisis de soda en cada uno de los tanques de lavado para controlar los valores de concentración cada cuatro horas. En estas muestras se encuentra muy a menudo que dichos valores de soda están fuera de los límites establecidos por las normativas y estándares de PEPSI-CO INC, lo cual requiere que deba adicionarse agua o soda según sea el caso. El problema es que no existe un equipo de control que indique cuanto se debe agregar para satisfacer el déficit o exceso de soda o agua, por lo tanto, de forma manual se van agregando directamente a los tanques desde la tubería y tomando muestras hasta que se indique que se ha alcanzado un valor dentro de especificación. Ésto representa una pérdida para la empresa debido al tiempo que se da uso

para regular dichas variables, dejando de producirse por un tiempo de 10 a 15 min de intervención un aproximado de 8.000 y 12.000 botellas, además de pérdidas de horas-hombre y los costos asociados por las mermas de dichos servicios, por eso es necesario describir el proceso de lavado por inmersión que se lleva a cabo en los primeros cuatro compartimientos, caracterizar las corrientes de dicho proceso para evaluar las posibles causas de las variaciones, elaborar una propuesta para controlar y automatizar tanto los caudales de agua y soda, así como la concentración de la última sin necesidad de invertir tiempo dirigiéndose al laboratorio a tomar muestras y así aumentar la productividad en esta línea.

Desde el punto de vista de actualización y mejoramiento continuo este trabajo resulta de suma importancia, ya que los avances tecnológicos en los procesos se han vuelto con el transcurrir del tiempo en una necesidad, además aumentará la eficiencia de la lavadora para así asegurar el lavado adecuado de las botellas que salen de ella.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1- Objetivo general

Proponer un sistema de control automatizado de agua y soda caustica agregados a los tanques de una lavadora de botellas de vidrio retornable de una planta productora de refresco.

1.3.2- Objetivos específicos

1.- Caracterizar las corrientes involucradas en el proceso de lavado mediante balances de materia en cada tanque.

- 2.- Determinar las desviaciones de las variables operacionales actuales del proceso de lavado de la línea 4 de envasado.
- 3.- Identificar las causas que influyen sobre las variables del sistema de lavado.
- 4.- Establecer un sistema automático de control para el sistema de lavado.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1- ANTECEDENTES

Con el afán de ofrecer un producto de excelente calidad y preocupada porque este llegue al consumidor cumpliendo los parámetros exigidos por el sistema de aseguramiento de calidad, la empresa se rige por un manual de calidad estándares y especificaciones de PEPSI-CO Internacional (1998), además de trabajos que se han realizado en la planta para mejorar el procedimiento local y cumplir con dichos parámetros. Con respecto a este tema se tiene como referencia:

- En el año 2009, Aray M., realizó un informe donde se llevó a cabo la evaluación de velocidad, tiempo de contacto con soda y mantenimiento anual de La lavadora línea 4 en PEPSI-COLA VENEZUELA, planta Barcelona. En él, se mostraba las condiciones de la lavadora comprobando que las variables estudiadas se encontraban en los rangos que establece los mínimos mandatorios por PEPSI-CO. Este trabajo servirá como referencia para conocer y describir el proceso actual de lavado.
- En el 2008, Orellana A., realizó el mejoramiento de la calidad del proceso de lavado en línea de envases domésticos de gas licuado de petróleo, en la planta de envasado de abastible S.A. (Valparaíso-Chile), durante este estudio se llevó a cabo un plan de metodología de mejora que cumplió con lo deseado, permitiendo el aumento de los estándares de calidad de la empresa. Este estudio servirá como

referencia para la elección de los posibles cambios a implementarse en el sistema de control estudiado.

- En el año 2004, Omaña H., llevó a cabo la evaluación del sistema suavizador y sistema de enfriamiento de una planta de vidrios laminados de seguridad. Se llevó a cabo la descripción del sistema para así, por medio de caracterización y balances de materia y energía obtener las causas que originan la desviación del proceso. Este trabajo servirá como referencia para la caracterización y balances de materia del sistema de lavado a evaluar.
- En 1987, Pertejo L., realizó un estudio en donde llevo a cabo la evolución de las soluciones causticas de las lavadoras de botellas en la industria del embotellado de bebidas carbónicas, tratamientos de regeneración de las mismas. En él, se estudio el tiempo de vida útil de las soluciones de soda utilizadas para el proceso de lavado de botellas y se propuso mejoras para los procesos de recuperación de la misma.

2.2- BASES TEÓRICAS

2.2.1- Descripción del proceso de elaboración de refresco

Este proceso comienza con el tratamiento del agua, ésta es tomada directamente del rio Neverí, luego es almacenada para su tratamiento y saneamiento mediante diferentes procesos de filtración y purificación en la Planta de Tratamiento de Aguas Blancas (PTAB) de Cervecería Polar Oriente, la cual suministra el agua según los estándares y especificaciones de PEPSI-CO Internacional. El agua ya procesada es mezclada con azúcar

refinada (siendo ésta previa y cuidadosamente evaluada para verificar su calidad y que dichos valores se encuentren bajo los estándares y especificaciones de PEPSI-CO Internacional) para la elaboración de jarabe simple, este jarabe se controla rigurosamente para que se encuentre dentro de los parámetros y especificaciones exigidas, todo este proceso siendo llevado a cabo dentro de la sala de jarabe simple, donde de manera explícita ocurre que, el azúcar es vaciada en la tolva y posteriormente pasa a un disolutor donde es mezclada con el agua necesaria y mediante un panel se registran los grados Brix de este jarabe simple, de aquí pasa a un tanque buffer que almacena el jarabe simple antes de ser utilizado para la preparación de jarabe terminado donde se le hacen los últimos ajustes y se le agregan los demás ingredientes los cuales se mezclan mediante un sistema de recirculación hasta completar la homogenización del líquido, donde pasa a los tanques de maduración. Esta preparación pasa a la línea correspondiente que se encuentre en producción, y es ahí donde se le agrega el CO₂ a la preparación de jarabe terminado. Este proceso lo realiza un equipo llamado Paramix (Carbo-Cooler) si se refiere a la línea de vidrio o línea 4, y en las líneas PET o líneas (2 y 5); incluyendo la línea 3, lo realiza un equipo denominado Mixer, donde la mezcla esta lista para el proceso de llenado y la obtención del producto final.

Dependiendo de la línea de producción, el proceso de elaboración de refresco varia, la línea de envasado retornable sigue la siguiente forma:

Línea de vidrio (Línea 4): el proceso se inicia cuando se reciben gaveras llenas de botellas vacías que llegan a un equipo denominado despaletizador que es el equipo encargado de desarmar las cajas de botellas sucias y vacías para colocarlas en la vía transportadora de cajas, este equipo es capaz de desmontar dos paletas al mismo tiempo debido a que está conformado por dos cabezales que se desplazan por rieles en la parte

superior, paralelamente existe otro despaletizador que descarga botellas limpias a las vías de botellas limpias a las vías de botellas sucias si hace falta en la vía de botellas. En la figura 2.1 se muestra el despaletizador utilizado en la línea 4.



Figura 2.1. Despaletizador Innopal KHS

Las cajas llenas de botellas sucias y vacías son colocadas en las vías transportadoras que las dirige hacia la desembaladora, equipo que recibe las cajas, retira las botellas de estas cajas utilizando cabezales de sujeción instalados en un ensamblaje de carrusel rotativo de movimiento continuo para asegurar un suave manejo de las botellas y cajas y luego deposita las botellas en un transportador de descarga. Este equipo permite desembalar 50 cajas por minuto y se observa en la figura 2.2.



Figura 2.2. Desembaladora Serie 7000 de Zepf/ Barry-Wehniller

Las botellas y las cajas que salen de la desembaladora se dirigen a la lavadora de botellas y a la lavadora de cajas respectivamente a través de bandas transportadoras. La lavadora de cajas consta de un sistema de inyección de agua caliente y detergente con la cual se elimina cualquier impureza a las cajas.

Las botellas que salen de la desembaladora se dirigen a un equipo denominado lavadora de botellas, ésta se encarga de lavar y eliminar cualquier sucio o impureza con agua caliente, soda caustica y agua fría de enjuague usando una serie de operaciones de inmersión, inyección y enjuague para producir una botella comercialmente estéril y listo para ser llenado. Éste es sometido además a pruebas para descartar que no contenga ningún resto de soda caustica u otro residuo que no la haga apta para ser llenada. En la figura 2.3 se muestra la lavadora de cajas y botellas respectivamente.



Figura 2.3. Lavadora de cajas y lavadora de botellas

Las botellas estériles y limpias salen de la lavadora en las vías hacia el inspector electrónico que recibe el nombre de Linatronic y se observa en la figura 2.4 el cual tiene un sistema avanzado que se encarga de inspección de la superficie total de la botella vacía. En este inspector se utiliza igualmente la tecnología de estado sólido, elementos ópticos, reflectores diseñados con computadoras y sistemas electrónicos de procesamiento de señales digitales para conseguir una ejecución en todo el entorno del embotellado para garantizar que la botella este apta para ser llenada.



Figura 2.4. Inspector Linatronic 1200

Luego que las botellas pasan por esta inspección y se rechazan las botellas no aptas, las que se encuentran en perfecta condición siguen el curso de las vías para llegar a un equipo llamado Video Jet Excel Series 178 que se encarga de la inyección de tinta a la botella limpia con la información necesaria del producto (Fecha preferible de consumo, Planta y hora de elaboración). De aquí pasan a la llenadora (figura 2.5) el cual es el equipo encargado de de llenar las botellas con el producto a envasar con el siguiente procedimiento: las botellas son colocadas en órganos de apriete del carrusel de la llenadora a través del transportador de alimentación por el tornillo sinfín de entrada de la mesa de la máquina. Los órganos de apriete levantan las botellas y la presionan contra las válvulas de llenado. Durante la subida de los órganos de apriete se detecta si hay botellas. Si la hay, se inicia la operación de llenado y se llena la botella. Si una botella falta, la válvula correspondiente permanece cerrada. Después de la operación de llenado los órganos de apriete descienden y las botellas llenas son llevadas

por la estrella de la transferencia de la mesa de la maquina tapadora y ésta las cierra. Las botellas cerradas son transferidas por la estrella de salida al transportador de salida.



Figura 2.5. Llenadora EM (V/VF) 132

Estas botellas ya llenas de producto terminado son selladas por un equipo que se encuentra a la salida de la llenadora, denominado tapadora, máquina que es accionada por un sistema de propulsión principal de la máquina. Las botellas envasadas son dirigidas a la tapadora junto a las piezas de formato. Las tapas de tipo KK (tapas metálicas llamadas corona) son alimentadas, desde el mecanismo clasificador, a través de un disco giratorio, en el canal de tapas, donde éstas son asignadas a los elementos de cierre. Si falta alguna botella, el correspondiente elemento tapador queda sin tapa tipo KK.

Después de cargar las tapas tipo corona debajo del elemento de cierre, son mantenidos en el porta punzón por medio de un imán. Al descender el elemento de cierre, éstos son centrados primero sobre la botella y seguidamente sobre el elemento de cierre. Seguidamente, el anillo de apriete sella la botella y es llevada hacia el transportador de descarga. El equipo se muestra en la figura 2.6.



Figura 2.6. Tapadora 24

Luego que estas botellas salen se dirigen hacia el transportador de descarga y pasan a través de otro inspector de botellas llamado Filtec FT 50, encargado en verificar cualquier anomalía que pudiera haber sufrido la botella y rechazar la botella que no cumpla con los requisitos para salir al mercado como por ejemplo botellas mal tapadas, medio llenas, rotas entre otras. Este equipo se puede ver en la figura 2.7.



Figura 2.7 Inspector de Botellas Llenas FT 50

Las botellas son desplazadas por medio de unas vías transportadoras hasta la embaladora (figura 2.8). Ésta contiene un sistema de multi-etapa completamente automático que alimenta un suministro continuo de botellas hacia la empacadora de cajas, la cual decide y agrupa las botellas entrantes y las coloca en cajas vacías o bandejas mediante cabezales de sujeción instalados de un ensamblaje de carrusel rotativo con movimiento continuo. Su capacidad de embalaje es de 50 cajas por minuto.



Figura 2.8. Embaladora Serie 9000

El proceso está integrado además por un equipo que garantiza que la vía de entrada a la embaladora se encuentre dotada con suficientes cajas limpias y vacías, para esto se cuenta con un deposito o reserva que se mantiene lleno de cajas, el cual se llena cuando hay un exceso de cajas y se vacía cuando hay una escasez de cajas en las vías, el equipo encargado de esta tarea se denomina Robot Motoman SP160. Figura 2.9.



Figura 2.9. Robot Motoman SP160

Las cajas llenas de botellas que salen de la embaladora, se dirigen a través de las vías para ser agrupadas, seleccionadas y ordenadas en paletas conformadas por camadas. Esta organización de las paletas la realiza el paletizador (figura 2.10), que es la máquina que cuenta con dos cabezales que toman ocho cajas cada uno colocándolas sobre una paleta para obtener

una torre de ocho pisos. Estas son llevadas luego al almacén para su posterior distribución a las agencias y luego para que llegue al consumidor.



Figura 2.10. Paletizador LORD PL 2 BKN 2 KHS Innofill

2.2.2- Lavadora de botellas

Es una máquina automática que se encarga de lavar botellas de manera continua a través de una serie de tanques donde las botellas son lavadas con soluciones químicas y enjuagadas con agua, tanto por inmersión e inyección (Gung Ho, 2008). La lavadora de botellas de Línea 4 serial N°6.940 fue diseñada para una velocidad de 1.100 BPM. Contiene 580 cestas de 40 botellas c/u que generan 66.000 BPH equivalentes a 2.750 CPH (PEPSICO-INC, 2004), como se muestra en la tabla 2.1 que muestra todas las especificaciones técnicas del equipo. Por otro lado, posee múltiples compartimientos, una zona de enjuague y otra de pre-enjuague como se muestra en la figura 2.11.

Tabla 2.1 Especificaciones de fabricante Barry Wehmillier. (Barry-Wehmiller, 1999)

N°	Características Particulares	Estadísticas
1	Número total de cestas	580
2	Número total de botellas en la máquina	11.200
3	Tiempo a través de la máquina (minutos)	17,09
4	Botellas sumergidas en soda caustica	10.240
5	Minutos sumergidas en tratamiento con soda caustica	9,3
6	Horsepower (potencia) del motor principal de mando	15
7	Horsepower del motor de la bomba de agua recirculada	10
8	Horsepower del motor de la bomba de power jet de enjuague	10
9	Horsepower del motor conductor de la mesa de carga	1,5
10	Horsepower del conductor del alabe oscilante de la mesa de carga	0,5
11	Horsepower del motor del power jet de enjuague	0,75
12	Horsepower total conectado	37,75
13	Peso de envío de la máquina	100.000 lbs.
14	Peso de operación de la máquina	664.300 lbs.
15	Requerimiento de vapor para la operación	3.000.000 BTU/h

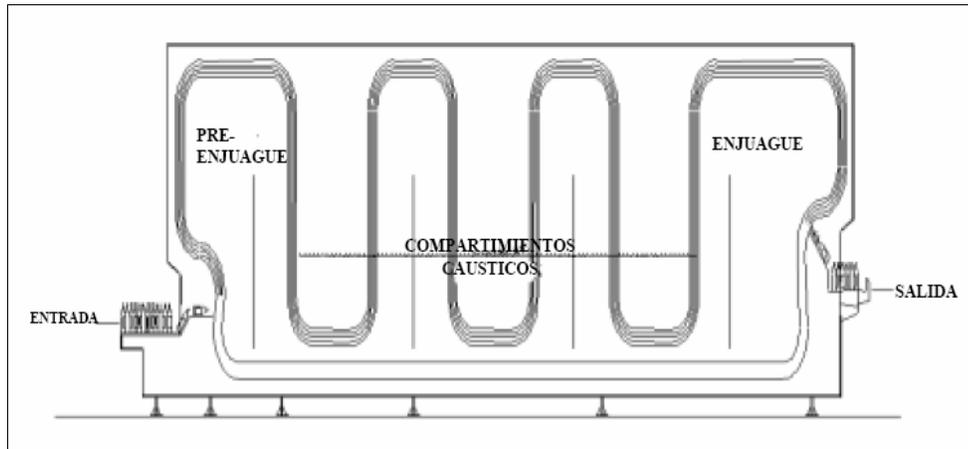


Figura 2.11. Lavadora con múltiples tanques y dos extremos. (Aray, 2009)

Como se muestra a continuación en la tabla 2.2. Cada compartimiento posee condiciones de operación para cada uno, permitiendo éstos el buen funcionamiento del sistema.

Tabla 2.2. Condiciones de operación recomendadas por el fabricante Barry Wehmiller. (Barry-Wehmiller, 1999)

Número de compartimiento	Capacidad (galones)	Temp. (°C)	Conc. de la solución (%)	Nivel de agua mínimo (plg.)	Nivel de agua máximo (plg.)
1	4000	48,9	3	6	9,5
2	4000	73,9	4	6	9,5
3	4000	68,3	4	6	9,5
4	3800	54,4	4	6	9,5
5	1500	37,78	N/A	10	11
6	980	N/A	N/A	N/A	N/A
7	350	N/A	N/A	N/A	N/A

2.2.2.1- Detergente

Es el componente principal usado para el lavado de las botellas (soda caustica 50%), éste facilita:

- Eliminar el sucio.
- Remueve los aceites.
- Elimina las bacterias.
- Es más fácil de enjuagar. (PEPSICO-INC, 2004)

2.2.2.1.1- Componentes del detergente

- a. Soda caustica: Usada para esterilizar, aflojar y eliminar el sucio.
- b. Gluconato de sodio: Se usa para reducir la formación de costra en la sección de la lavadora donde se usa el detergente.
- c. Carbonato de sodio: Se usa para ayudar al escurrimiento del detergente en la botella.

Nota: Cervecería Polar Oriente usa como aditivo para la soda caustica el P3 Stabilon WT y Ferrisol, que contiene los aditivos anteriores, éste evita la formación de espuma, protege el logo de la botella y otorga brillo. (PEPSICO-INC, 2004)

2.2.2.2- Aditivos de enjuague

Son las sustancias adicionadas durante el pre-enjuague para arrastrar con ellas los metales pesados y la soda que pueda quedar contenida dentro de las botellas.

2.2.2.2.1- Componentes de enjuague

- a. Divo le: Aditivo auxiliar del lavado de botellas de vidrio para tratamiento del pre-enjuague final. (PEPSICO-INC, 2004)
- b. Divo ai: Aditivo auxiliar del lavado de botellas de vidrio para tratamiento del arrastre cáustico en el pre-enjuague final. (PEPSICO-INC, 2004)

2.2.2.3- Tiempo

Para que el detergente actúe favorablemente en la eliminación de bacterias, remover el sucio, aceites y otros, es necesario vincularlo con el tiempo de remojo de la botella. A lo largo del equipo, se vinculan puntos a la entrada de cada compartimiento para así determinar el tiempo, la cantidad de cestas y botellas de un punto a otro. Ésto se muestra en la tabla 2.3 y se observa en la figura 2.12. Al aumentar el tiempo de inmersión mejora el efecto del detergente. (PEPSICO-INC, 2004)

Tabla 2.3. Tiempo de lavado entre puntos. (PEPSICO-INC, 2004)

PUNTOS	CESTAS	TIEMPO (min)
A-B	38	1,19
B-C	73	2,56
C-D	73	2,56
D-E	73	2,56
E-F	70	2,56
F-G	85	2,20
G-H	85	4,02

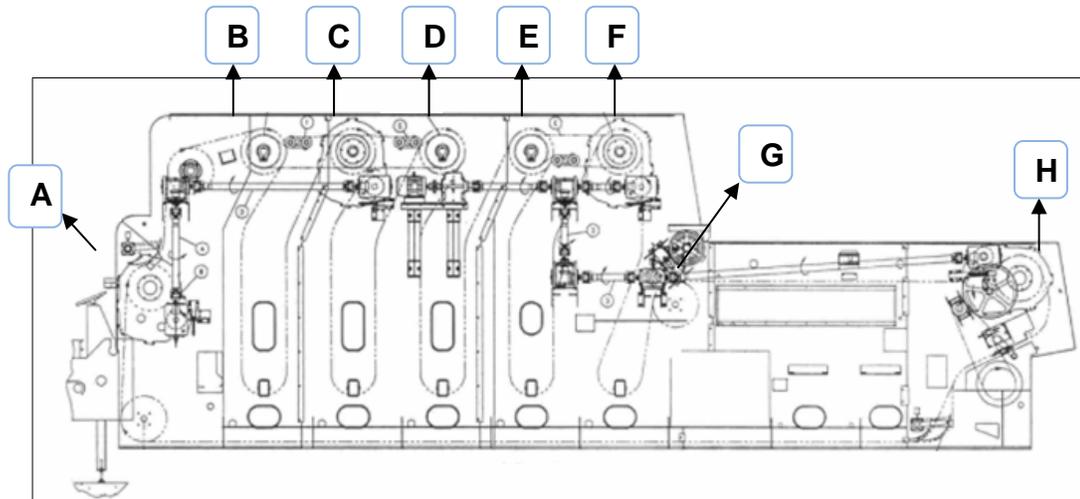


Figura 2.12. Diagrama del proceso de lavado de botellas indicando puntos de medición de tiempo. (Aray, 2009)

2.2.2.4- Temperatura

La temperatura es una variable íntimamente ligada a la acción del detergente. Un aumento de temperatura mejora el lavado de la botella, este aumento de la temperatura está limitado porque puede producir un choque térmico. La diferencia entre dos tanques no debe ser mayor a los 15 °C. [6]

Tabla 2.4 Rango de temperaturas y concentración para cada tanque de lavado según PepsiCO. (PEPSICO-INC, 2004)

TANQUE	TEMPERATURA (°C)	CONCENTRACIÓN (%v/v)
1	55-60	3,0-3,5
2	65-70	2,5-3,0
3	65-70	2,5-3,0
4	40-55	1,0-1,5
5	35-40	<0,4

2.2.2.5- Principios de operación

- Las botellas retornables se enjuagan para remover todos los residuos de bebidas, materiales extraños y cualquier líquido o suciedad.
- Para limpiar y sanear las botellas se utilizan soluciones cáusticas muy concentradas, detergentes cáusticos, o cáusticos con aditivos y elevadas temperaturas.
- Para remover los restos de cáustica y de detergente se emplean chorros de enjuague de agua limpia.
- El uso de la temperatura adecuada y concentraciones cáusticas determinará la limpieza y esterilidad de la botella al salir de la lavadora de botellas. Requisitos básicos: 3,5 % de concentración de soda, temperatura de 66° C (150° F), tiempo de remojo de 7,5 minutos.
- Es necesario minimizar los cambios rápidos y drásticos de temperaturas, que pueden romper las botellas. El diferencial de temperaturas de una etapa de la lavadora a otra no debe exceder en ningún momento los 50° F / 28° C.
- Todas las botellas de vidrio retornables deben ser inspeccionadas después de lavarlas. (PEPSICO-INC, 2004)

2.2.2.6- Control del sistema de vapor

El control de temperatura en cada uno de los cuatro compartimientos de lavado, es logrado mediante el uso de RTD's (detectores de temperatura receptivos), el PLC (controlador lógico programable), y las válvulas diafragma operadas neumáticamente con sus transductores I/P.

El RTD censará la temperatura en cada compartimiento, y enviara una señal de entrada al PLC para fines de control. El PLC procesará la señal y la comparará con la temperatura del punto de ajuste, se enviará una señal

eléctrica al transductor I/P localizado en la válvula de control. El transductor convertirá la señal eléctrica en una señal neumática proporcional de salida.

Esta salida neumática la utiliza la válvula de control para regular el flujo de vapor que pasará a través de ella hacia el intercambiador de calor tipo serpentín, utiliza el vapor descrito, para calentar la solución dentro del tanque. El condensado producido, es recolectado en el sistema de retorno, desde donde se envía al desagüe. (Barry-Wehmiller, 1999). (figura 2.13)

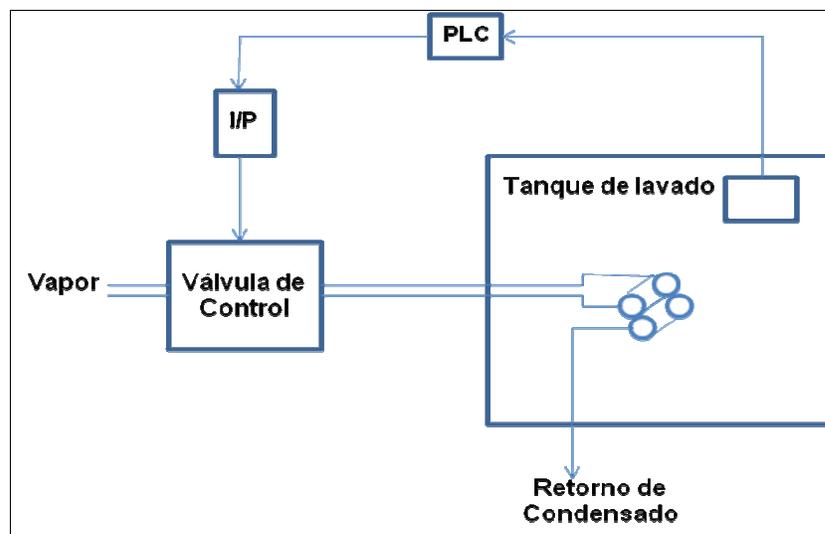


Figura 2.13. Sistema del control de vapor. (Barry-Wehmiller, 1999)

2.2.2.7- Control de nivel

Los niveles de líquido, en el último tanque de remojo y en el tanque de agua recirculada, se mantienen utilizando sistemas de flotadores externos. Cada sistema consta de una válvula diafragma, un orificio neumático y un flotador piloto. La relación del tamaño del orificio entre la válvula diafragma y el orificio de la flota piloto es de 18,5 a 1. Cuando el nivel desciende por

debajo del punto establecido por el flotador piloto, éste baja, provocando un flujo de aire desde el flotador. Esto ocasiona que la presión de aire aplicada al diafragma de la válvula disminuya. Esta válvula es de tipo aire para cerrar, por lo tanto permitirá el paso de agua a través de ella, hacia el tanque. Una vez se alcance el nivel pre-establecido en el tanque, el flotador piloto cerrará, y la presión aplicada al diafragma de la válvula aumentará, provocando el cierre de la misma. (Barry-Wehmiller, 1999). (Figura 2.14.)

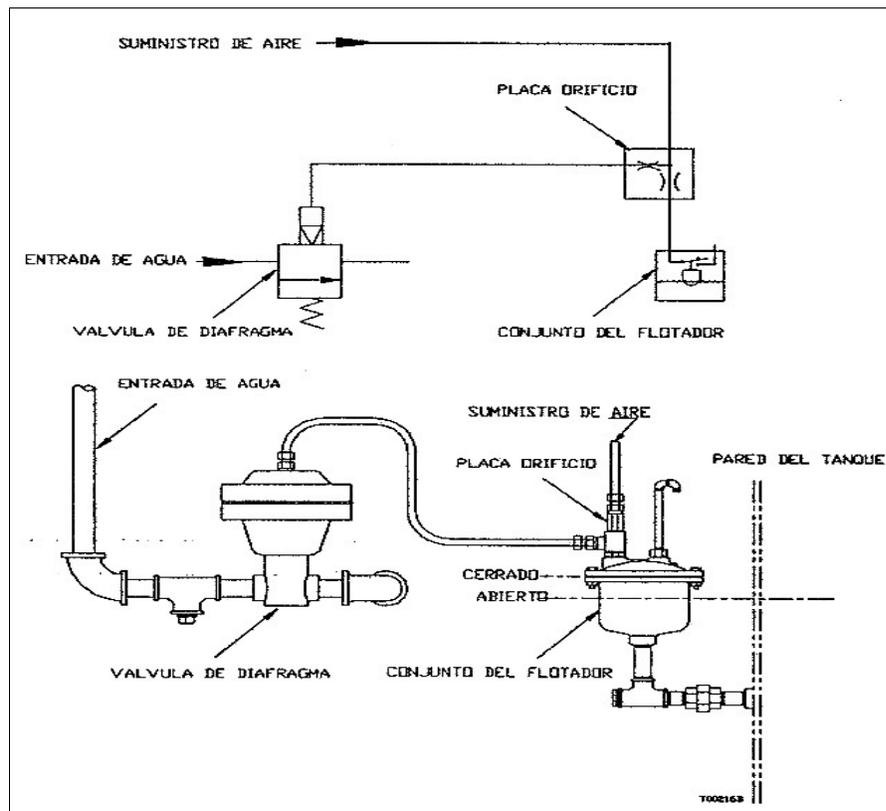


Figura 2.14. Sistema de Control de Nivel (Compartimiento N° 4). (Barry-Wehmiller, 1999)

2.2.2.7.1- Válvula diafragma

Las válvulas de diafragma son de vueltas múltiples y efectúan el cierre por medio de un diafragma flexible sujeto a un compresor. Cuando el vástago de la válvula hace descender el compresor, el diafragma produce sellamiento y corta la circulación, figura 2.15. (Caroli, 2006)

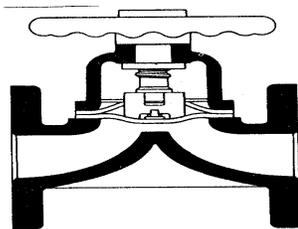


Figura 2.15. Válvula diafragma. (Caroli, 2006)

2.2.3- Descripción del proceso de lavado de botellas

La lavadora de botellas toma las botellas sucias regresadas del mercado y las somete a un pre-lavado con agua y soda cáustica a mínimas concentraciones, períodos de inmersión en soda cáustica caliente y una serie de lavados interiores y exteriores con agua suave, para enviar una botella limpia y sanitaria al transportador que alimenta la llenadora.

Controlando la concentración cáustica y la temperatura de la solución se optimizan la limpieza y la condición sanitaria de la botella. Las concentraciones y temperaturas cáusticas para cada compartimiento son especificadas por el fabricante de la lavadora. Para el vidrio, al menos uno de sus tanques contendrá una concentración cáustica de 3.5 % con una temperatura de 66° C (150° F) mientras que la lavadora garantice un tiempo de inmersión de 7,5 minutos. (PEPSICO-INC, 2004)

De manera detallada lo que ocurre es lo siguiente: en la alimentación de botellas unos “dedos mecánicos” con puntas plásticas empujan las botellas a cada uno de los bolsillos que las transportaran a lo largo de la correa del lavado, estos bolsillos o celdas están montadas de lado a lado de la maquina formando un canasto o hilera que a su vez ocupa todo el ancho del equipo, una vez ocurrido ésto, van subiendo a la cámara de pre-lavado la cual está dispuesta de inyectores para cada celda de la hilera, vale destacar que en esta etapa las botellas se encuentran boca abajo permitiendo que se les inyecte agua a presión proveniente de la recirculación del tanque 6 (Pre-enjuague) para en primera instancia eliminar todos los pitillos, papeles, y material con que éstas vengan.

Hecho esto, las botellas caen en el primer tanque por inmersión, el cual posee la concentración más alta de soda sin poseer el mayor rango de temperatura, permitiendo arrastrar la primera cantidad de suciedad posible que posean. Este mismo procedimiento ocurre para los demás tres siguientes tanques con la salvedad que a medida que las botellas van avanzando la temperatura aumenta (tanques 2 y 3) y las concentraciones de los tanques va en disminución como se mostró en la tabla 2.4. Vale resaltar que el tanque 5 (último de inmersión) debe poseer una cantidad mínima de soda para que no exista arrastre de la misma por parte de las botellas pues al pasar por los tanques siguientes sólo se hace pre-enjuague y enjuague respectivamente por inyección.

La temperatura también debe ser constantemente monitoreada pues se debe evitar el choque térmico, recordando que ya al entrar en los tanques subsiguientes trabajaran con temperatura ambiente. Esto evitará que la botella este sensible térmicamente y al salir de la lavadora no tenga formación de vapor dentro de ella. Por último, éstas son ayudadas

mecánicamente siendo extraídas de los bolsillos de transporte, para ubicarse sobre la mesa de descarga. (Gung Ho, 2008)

Por últimos, es importante resaltar que, cerca de la lavadora se deberá instalar un circuito de dosificación para el agente enjuagador (bomba dosificadora y tambor de servicio). Éste se alimentará directamente en el tanque de pre- enjuague, mejorando la eficacia de esta etapa removiendo compuestos visibles y no visibles, incluyendo niveles bajos de óxidos, hidróxidos, carbonatos, etc (Gung Ho, 2008). El agente enjuagante utilizado por PEPSI-CO es el Divo Le. El proceso puede observarse con detalle en la figura2.16.

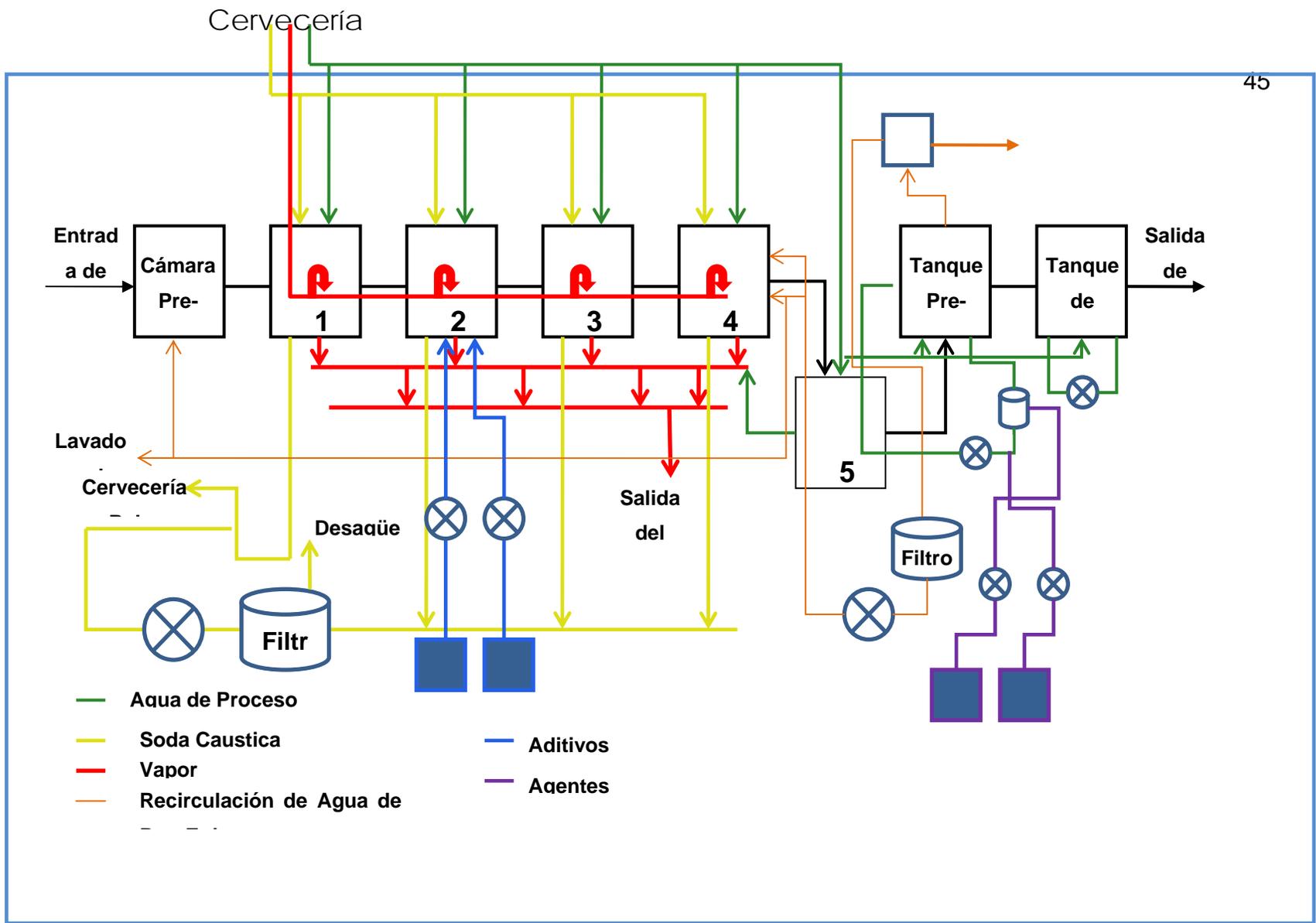


Figura 2.16. Proceso de lavado de botellas

Las lavadoras pueden clasificarse en dos categorías dependiendo del pH del agua de pre-enjuague (antes de agregar cualquier agente enjuagador)

- Bajo arrastre caustico: lavadoras con un pH típico de 9,0 o menos.
- Alto arrastre: lavadoras con un pH de 9,0 o mayores.[5]

La lavadora utilizada en la línea de botellas retornables es clasificada por poseer bajo arrastre caustico, sin embargo, bajo esta condición en el tanque 6, también es necesario adicionar un agente capaz de controlar dicho arrastre y así aumentar la efectividad del agente enjuagante, el aditivo utilizado para este fin es el Divo ai, el cual se encuentra junto al Divo le y es agregado al tanque por medio de una bomba dosificadora de igual forma.

Este se encarga de regular el pH manteniéndolo bajo el rango permitido (7,5 +/- 0,5) para así lograr la efectividad del agente enjuagante y prevenir la corrosión excesiva de la lavadora. (Gung Ho, 2008).

2.2.3.1- Situación actual del proceso de lavado

Para el comienzo del cumplimiento de cada uno de los objetivos, se procedió en primera instancia a conocer cada una de las fallas presentadas por el equipo, así como las especificaciones del mismo por parte del fabricante y además de un seguimiento semi-continuo por tres semanas (para así cubrir todos los turnos y conocer el mecanismo de análisis por parte de cada operador correspondiente) de las concentraciones de soda en cada uno de los tanques. Los análisis fueron tomados cada dos días cada dos horas, el rango de separación de estudio se implementó para conocer los cambios que pueden ocurrir en el proceso cuando no se tiene un monitoreo constante del mismo y fueron comparados con los registros diarios del análisis del

laboratorio de los meses febrero-marzo 2010, los cuales son tomados cada cuatro horas diariamente.

La tabla 2.3 muestra, la cantidad de cestas a lo largo del proceso separados en puntos de medición de tiempo, si se hace una suma de cada uno de los puntos es posible calcular la cantidad de cestas que se encuentran en el equipo mientras éste se encuentre en funcionamiento, obteniéndose un total de 497, a este resultado se debe añadir 12 cestas más que se encuentran desde el último punto de medición de tiempo hasta la salida de las botellas, dando un total de 509 cestas.

Como se mencionó, cada cesta posee 40 bolsillos dispuestos a transportar las botellas, actualmente en la lavadora se encuentran obstruidos dos bolsillos en cada extremo de la misma, esto debido a que faltan bolsillos y piezas mecánicas, es decir que solo funcionan en total 36 bolsillos por cesta. Por lo tanto, si se multiplica la cantidad de cestas por los bolsillos se obtendrá el número de botellas que se encuentran en la maquina durante el proceso de lavado, es decir, 18.324 botellas, dejando de lavarse por esta falla 2.036 botellas de un total de 20.360.

Además de esto, existe una situación irregular con la temperatura del tanque 4 desde la segunda semana de febrero 2010. Ocurre que la temperatura se encuentra continuamente por encima del rango de especificación por lo que se ha tomado la medida desde la directiva de vaciar el tanque cuando ocurra este aumento y llenarlo nuevamente con agua fresca, el inconveniente es que este procedimiento debe llevarse a cabo varias veces por turno (pudiendo presentarse el vaciado 10 veces), lo cual ocasiona pérdida de tiempo y de grandes cantidades de agua.

Se está refiriendo a un tanque de 3.800 galones como puede verse en la tabla 2.2, es decir 14.384,56 litros. El equipo no cuenta con un medidor de flujo de entrada de agua o soda, tampoco es posible conocer por medio de algún equipo la velocidad con que se desaloja el agua, pero por medio del cálculo del volumen con respecto al tiempo se puede determinar. Esto representa pérdidas monetarias a la empresa, ya que con esta medida los consumos mensuales de agua suave han aumentado de manera representativa. Esta situación también representa un grave problema ambiental pues se desperdicia agua apta para uso sanitario en exorbitantes cantidades, este hecho es preocupante debido a la situación actual del planeta con respecto a este recurso.

Para esta medida tomada por la directiva se debe inyectar agua al tanque durante $\frac{1}{2}$ hora, para que retome un valor de temperatura dentro del rango, pero ocurre que en cuestión de minutos vuelve a aumentar teniendo que repetirse el procedimiento. Éste tanque es el único que posee un sistema de control de nivel, el cual consiste en una válvula con diafragma como se muestra en la figura A.8 del anexo A, además de ésta hay otra válvula que trabaja por inyección manual de flujo, por mal información a los operadores; los cuales hacen los vaciados y llenados del tanque a lo largo del turno, se procedía a abrir la válvula manual y la válvula con diafragma al mismo tiempo, ocurrió que el compresor que mide con aire el nivel máximo de agua se inundó y por tanto la válvula no es capaz de cortar la circulación de flujo.

2.2.4- Balances de materia

El balance de una cantidad que se conserva (masa total, masa de una especie determinada, energía, momentum) en un sistema (una sola unidad

de proceso, un conjunto de unidades o un proceso completo) se puede escribir de manera general como: (Felder, 2004)

$$\begin{array}{rcccl}
 \text{Entrada} & + & \text{Generación} & - & \text{Salida} & - & \text{Consumo} & = & \text{Acumulación} \\
 (\text{Entrada a} & & (\text{Se produce} & & (\text{Sale a} & & (\text{Se consume} & & (\text{se acumula} \\
 \text{través de las} & & \text{dentro del} & & \text{través de las} & & \text{dentro del} & & \text{dentro del} \\
 \text{fronteras} & & \text{sistema)} & & \text{fronteras} & & \text{sistema)} & & \text{sistema)} \\
 \text{del sistema)} & & & & \text{del sistema)} & & & & \\
 & & & & & & & & [10]
 \end{array}$$

(Ec. 2.1)

Es posible escribir dos tipos de balances:

2.2.4.1- **Balances diferenciales** o que indican lo que ocurre en un sistema en un instante determinado. Cada término de la ecuación de balance es una velocidad (de entrada, de generación, etc.) y se da en las unidades de la cantidad balanceada dividida entre la unidad de tiempo (personas/año, g de SO₂/s, barriles/día). Éste es el tipo de balance que por lo general se aplica a un proceso continuo. (Felder, 2004).

2.2.4.2- **Balances Integrales** o que describen lo que ocurre entre dos instantes determinados. Cada término de la ecuación es una porción de la cantidad que se balancea y tiene la unidad correspondiente (personas, g de SO₂, barriles). Este tipo de balance suele aplicarse a procesos intermitentes o por lotes, y los dos instantes determinados son: el momento después de que se realiza la alimentación y el momento anterior al que se retire el producto. (Felder, 2004).

Esta idea es la forma satisfactoria a los sistemas cerrados.

Existen formas de expresar esta ley:

- Cuando no hay reacciones químicas:

$$\left(\text{Acumulación} \right) = \left(\text{Entradas} \right) + \left(\text{Salidas} \right) \quad (\text{Ec. 2.2})$$

- Cuando no hay reacciones químicas ni acumulación:

$$\left(\text{Entradas} \right) = \left(\text{Salidas} \right) \quad (\text{Ec. 2.3})$$

2.2.5- Características de un sistema de control

Antes de analizar los sistemas de control, deben definirse ciertos términos básicos:

- Variable controlada y variable manipulada: la variable controlada es la cantidad o condición que se mide y controla. La variable manipulada es la cantidad o condición que el controlador modifica para afectar el valor de la variable controlada. Normalmente, la variable controlada es la salida del sistema. Controlar significa medir el valor de la variable controlada del sistema y aplicar la variable manipulada al sistema para corregir o limitar la desviación del valor medido respecto del valor deseado. (Ogata, 2007)
- Señal de corriente de entrada: considerada como estímulo aplicado a un sistema desde una fuente de energía externa con el propósito de que el sistema produzca una respuesta específica.
- Señal de corriente de salida: respuesta obtenida por el sistema que puede o no relacionarse con la respuesta que implicaba la entrada.

- Conversión: mediante receptores se generan las variaciones o cambios que se producen en la variable.
- *Variaciones externas*: son los factores que influyen en la acción de producir un cambio de orden correctivo.

2.2.6- Control realimentado.

El control realimentado se refiere a una operación que, en presencia de perturbaciones, tiende a reducir la diferencia entre la salida de un sistema y alguna entrada de referencia, y lo realiza tomando en cuenta esta diferencia. Aquí sólo se especifican con este término las perturbaciones impredecibles, ya que las perturbaciones predecibles o conocidas siempre pueden compensarse dentro del sistema. (Ogata, 2007)

2.2.7- Clasificación de sistemas de control

Sistemas de control realimentados: un sistema que mantiene una relación determinada entre la salida y la entrada de referencia, comparándolas y usando la diferencia como medio de control, se conoce como sistema de control realimentado. Un ejemplo sería el sistema de control de temperatura de una habitación. Midiendo la temperatura real y comparándola con la temperatura de referencia (temperatura deseada), el termostato activa o desactiva el equipo de calefacción o de enfriamiento para asegurar que la temperatura. (Ogata, 2007)

Sistemas de control de lazo abierto: un sistema de lazo abierto es aquél donde la salida no tiene efecto sobre la acción de control. En otras palabras, en un sistema de control en lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada. Así, a cada entrada de referencia le

corresponde una condición de operación fija; como resultado de ello, la precisión del sistema depende de la calibración. (Ogata, 2007)

Estos sistemas se caracterizan por:

- Ser sencillos y de fácil concepto.
- Nada asegura su estabilidad ante una perturbación.
- Ser afectado por las perturbaciones. Éstas pueden ser tangibles o intangibles.

Sistema de control de lazo cerrado: estos sistemas también se conocen como sistemas de control realimentados. En un sistema de este tipo, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación, con el fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado (Ogata, 2007). El control en lazo cerrado es imprescindible cuando se da alguna de las siguientes circunstancias:

- Cuando un proceso no es posible de regular por el hombre.
- Una producción a gran escala que exige grandes instalaciones y el hombre no es capaz de manejar.
- Vigilar un proceso es especialmente duro en algunos casos y requiere una atención que el hombre puede perder fácilmente por cansancio o despiste, con los consiguientes riesgos que ello pueda ocasionar al trabajador y al proceso.

Sus características son:

- Ser complejos, pero amplios en cantidad de parámetros.
- La salida se compara con la entrada y le afecta para el control del sistema.

- Su propiedad de retroalimentación.
- Ser más estable a perturbaciones y variaciones internas.

2.2.8- Tipos de control

Control automático: el control automático es el mecanismo básico mediante el cual los sistemas mecánicos, eléctricos, químicos o biológicos, mantienen su equilibrio.

El control automático es una disciplina de la ingeniería, como tal, su progreso está atado estrechamente a los problemas prácticos que necesitan ser resueltos.

Control de procesos: tiene como objetivo mantener una variable controlada en presencia de perturbaciones, operación que se denomina regulación. La solución sólo es concebible si se dispone de información correcta en los instantes oportunos. Esa información debe captarse mediante sensores, realimentarse hacia las unidades o centros de control (controladores) y procesarse allí a los efectos de la emisión de órdenes o señales a través de dispositivos llamados actuadores, cuya función es corregir sobre la marcha los procesos sometidos a control. (Herrera, 2000)

Controlador proporcional integral derivativo (PID): es un sistema de control que, mediante un actuador, es capaz de mantener una variable o proceso en un punto deseado dentro del rango de medición del sensor que la mide. Las tres componentes de un controlador PID son:

P constante de proporcionalidad: se puede ajustar como el valor de la ganancia del controlador o el porcentaje de banda proporcional.

I Constante de Integración: indica la velocidad con la que se repite la acción proporcional.

D constante de derivación: hace presente la respuesta de la acción proporcional duplicándola, sin esperar a que el error se duplique. El valor indicado por la constante de derivación es el lapso de tiempo durante el cual se manifestará la acción proporcional correspondiente a 2 veces el error y después desaparecerá.

Tanto la acción integral como la acción derivativa, afectan a la ganancia dinámica del proceso. La acción integral sirve para reducir el error estacionario.

Control proporcional: la parte proporcional consiste en el producto entre la señal de error y la constante, para que hagan que el error permanente sea casi nulo pero, en la mayoría de los casos, estos valores sólo serán óptimos en una determinada porción del rango total de control, siendo distintos los valores óptimos para cada porción del rango. Sin embargo, existe también un valor límite en la constante proporcional a partir del cual, en algunos casos, el sistema alcanza valores superiores a los deseados.

Control de cascada: mejorar la estabilidad de una variable del proceso aun con una óptima sintonización del controlador en lazo retroalimentado. La aplicación de esta técnica de control, es conveniente cuando la variable no puede mantenerse dentro del valor de set point deseado, debido a las perturbaciones inherentes al proceso.

Para que un sistema de control en cascada esté bien aplicada es necesario que se tomen en cuenta algunos aspectos importantes para su aplicación, estos son:

- Localizar las variables más importantes del proceso.
- Localizar la variable básica a controlar.
- Localizar la variable que introduce la inestabilidad.
- Determinar la velocidad de cambio de ambas señales.
- Hacer un arreglo en cascada, de tal forma que el lazo mayor sea más lento y el controlador también (control maestro).
- El lazo menor deberá contener la variable más rápida y el controlador debe ser de respuesta con retardos mínimos (control esclavo).
- La relación de la constante de tiempo: $T_M/T_E = 5$ ó mayor.
- El controlador del lazo menor deberá sintonizarse con la ganancia más alta posible
- El controlador esclavo se selecciona con set point remoto, mientras que el controlador maestro es de tipo local.

Naturalmente que estas recomendaciones son, basándose en la experiencia que se tiene sobre la dinámica del proceso, sobre el controlador y algo de sentido común.

Control por relación: Controlar el flujo o el volumen de una variable en función de otra. Esta técnica de control, se aplica por lo general a dos cantidades de flujos, que deben mantener una relación prefijada por el usuario.

Por lo general se tiene una línea de flujo de un fluido libre y sobre esta se mide la cantidad del fluido existente en velocidad o volumen, este valor se envía a un controlador que contiene un factor multiplicador o un divisor, cuya señal actúa sobre la válvula de control de otra línea con flujo proporcional al valor censado (flujo controlado).

El flujo libre se llama variable independiente y el flujo controlado se llama flujo dependiente.

Para este tipo de estrategia de control, es muy importante tomar las siguientes consideraciones:

- Ambas señales deben tener las mismas unidades.
- Ambas señales deben estar linealizadas o en forma cuadrática.
- El rango de los controladores deben ser compatibles con las señales recibidas de un 0% a un 100%.
- Tomar en cuenta que en la medición de fluidos la linealidad se pierde en los extremos de la medición.
- Las características de los fluidos deben ser muy similares.

Proporcional integral: el modo de control integral tiene como propósito disminuir y eliminar el error en estado estacionario, provocado por el modo proporcional. El error es integrado, lo cual tiene la función de promediarlo o sumarlo por un periodo de tiempo determinado; luego es multiplicado por una constante I. Posteriormente, la respuesta integral es adicionada al modo proporcional para formar el control $P + I$ con el propósito de obtener una respuesta estable del sistema sin error estacionario.

Proporcional derivativo: la acción derivativa se manifiesta cuando hay un cambio en el valor absoluto del error, el error es la desviación existente entre el punto de medida y el valor consigna. La función de la acción derivativa es mantener el error al mínimo corrigiéndolo proporcionalmente con la velocidad misma que se produce; de esta manera evita que el error se incremente. Se deriva con respecto al tiempo y se multiplica por una constante D y luego se suma a las señales anteriores ($P + I$). Gobernar la respuesta de control a los

cambios en el sistema ya que una mayor derivativa corresponde a un cambio más rápido y el controlador puede responder acordeamente.

Controladores lógicos programables (PLC): es un dispositivo usado para controlar. Este control se realiza sobre la base de una lógica, definida a través de un programa, no sólo controlan la lógica de funcionamiento de maquinas, plantas y procesos industriales, sino que también pueden realizar operaciones aritméticas, manejar señales analógicas para realizar estrategias de control, tales como controladores proporcional integral derivativo (PID). Además pueden comunicarse con otros controladores y computadoras en redes de área local, y son una parte fundamental de los modernos sistemas de control distribuido.

La estructura del PLC es simple y consta de tarjetas de entradas y salidas (I/O), fuente de alimentación, CPU, memorias, programas e interfaz.
Figura 2.17.

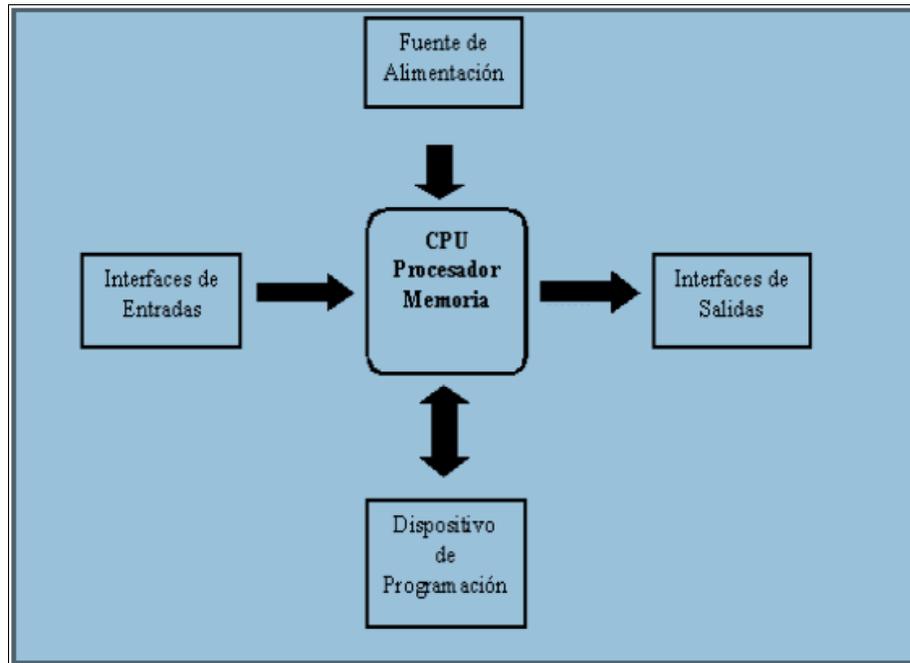


Figura 2.17. Estructura de un PLC.

2.2.9- Gráficos de control

Los gráficos de control o cartas de control son una importante herramienta utilizada en control de calidad de procesos. Básicamente una carta de control es un grafico en el cual se representan valores de algún tipo de medición realizada durante el funcionamiento de un proceso continuo y que sirve para controlar dicho proceso.

Para elaborar estas cartas de control se procede a registrar cada intervalo de tiempo una característica de importancia para la calidad del proceso en estudio, estos datos son graficados en función del tiempo, grafica que da como resultado una línea quebrada irregular que muestra las fluctuaciones de la característica estudiada en función del tiempo, como se

muestra en la figura 2.18 siendo, esta fluctuación esperable, natural del proceso.

Los valores se mueven alrededor de un valor central (el promedio de los datos, representado por la línea roja) o la media aritmética de los mismos, la mayor parte del tiempo cerca del mismo, pero en algún momento puede que aparezca uno o más valores demasiado alejados del promedio.

Con las cartas de control se pueden distinguir si esta fluctuación se trata de una fluctuación natural o si el proceso ya no está funcionando bien, pudiéndose ver en la cantidad de datos que puedan estar alejados del promedio de los mismos.

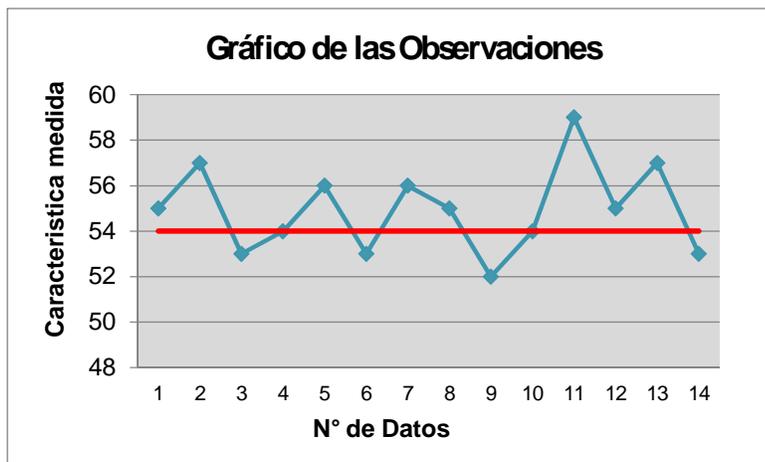


Figura 2.18. Gráficos de observaciones para el control de calidad.

Todo proceso de fabricación funciona bajo ciertas condiciones o variables que son establecidas por las personas que la manejan para lograr una producción satisfactoria, tal como se ilustra en la figura 2.19.

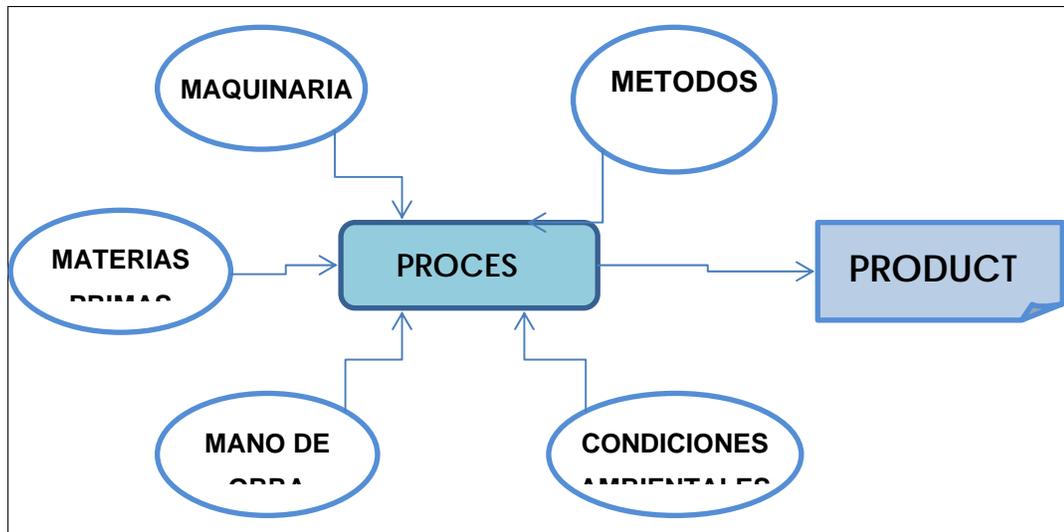


Figura 2.19. Diagrama de las variables que pueden ser establecidas por las personas que manejan una producción.

Cada uno de estos factores está sujeto a variaciones que realizan aportes más o menos significativos. Los responsables de esta fabricación fijan valores de cada una de las variables que se denominan variables controlables, como por ejemplo la temperatura de fusión del plástico, la materia prima, entre otras. Pero un proceso de fabricación es una suma compleja de eventos grandes y pequeños, donde existen una cantidad de variables no controlables como puede ser variaciones en la corriente eléctrica que alimenta la máquina, variaciones en la velocidad del pistón, entre otras.

Los efectos que se producen por las variables no controlables son aleatorios, además que la contribución de estas variables a la variabilidad total es cuantitativamente pequeña y son ellas las responsables de la variabilidad de las características de calidad del producto.

Los cambios en las variables controlables se denominan causas asignables de variación del proceso ya que es posible identificarlas. Las fluctuaciones al azar de las variables no controlables se denominan causas no asignables de variación del proceso, porque estas no son posibles de ser identificadas.

Causas asignables: son causas que pueden ser identificadas y que conviene descubrir y eliminar como por ejemplo la falla de la máquina por desgaste de una pieza. Estas causas provocan que el proceso no funcione como se desea y por tanto es necesario eliminar las causas y retornar el proceso a un funcionamiento correcto.

Causas no asignables: son una multitud de causas no identificadas ya sea por falta de medios técnicos o porque no es económico hacerlo, cada una de las cuales ejerciendo un pequeño efecto en la variación total. Son inherentes al proceso mismo y no pueden ser reducidas o eliminadas a menos que se modifique el proceso.

La función del control estadístico de procesos es comprobar en forma permanente si los resultados que van surgiendo de las mediciones están de acuerdo con lo siguiente:

- Una vez que el proceso está en funcionamiento bajo condiciones establecidas se supone que la variabilidad de los resultados en la medición de una característica de calidad del producto se debe sólo a un sistema de causas aleatorias que es inherente a cada proceso.

- El sistema de causas aleatorias que actúa sobre el proceso genera un universo hipotético de observaciones que tiene una distribución normal.

Si aparecen como uno o varios resultados que contradicen estas condiciones es necesario detener el proceso y comprobar las causas por las cuales el proceso se aparta de su funcionamiento habitual y corregirlas.

Poner en marcha el control estadístico de un proceso implica dos etapas:

- 1 era etapa: Ajuste del proceso.
- 2 da etapa: Control del proceso.

La primera etapa consiste en recoger mediciones con las cuales se calcula el promedio o media y la desviación estándar.

La media: es el promedio numérico obtenido al dividir la suma de todas las medidas individuales por el número de las medidas, está representa el parámetro más utilizado para valorar la tendencia central. Sin embargo, no se considera un estimado robusto porque las medidas extremas, las que son mucho mayores o menores que el resto de los datos, influyen demasiado en el valor obtenido. (Cermeño, 2003)

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X}{n}$$

(Ec. 2.4)

Rango: El rango o recorrido, w , es la diferencia entre los valores más alto y más bajo de un conjunto de datos. (Cermeño, 2003)

$$\text{Rango} = w = X_{\text{mayor}} - X_{\text{menor}}$$

(Ec. 2.5)

Desviación estándar: La desviación estándar absoluta, s , describe la dispersión de las mediciones individuales alrededor de la media y viene dada por la fórmula: (Cermeño, 2003)

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X)^2}{n - 1}}$$

(Ec. 2.6)

Donde X_i es una de las mediciones individuales, y X es la media, a menudo, el valor que se informa es el de la desviación estándar relativa, Sr . La cual se calcula de la forma.

$$Sr = \frac{S}{X}$$

(Ec. 2.7)

Luego se calculan los límites de control de la siguiente manera: [18]

$$\text{Limite Superior} = X + 3,09s \quad (\text{Ec. 2.8})$$

$$\text{Limite Inferior} = X - 3,09s \quad (\text{Ec. 2.9})$$

En el gráfico de control se representan los puntos correspondientes a las observaciones con las que se calcularon los límites de control además límites superior e inferior. Esta prueba se analiza detenidamente para

verificar si está de acuerdo con las hipótesis de que la variabilidad del proceso se debe solo a un sistema de causas aleatorias o si, por el contrario, existen algunas causas asignables de variación.

Luego de construir esta gráfica de control si sólo hay dos o tres puntos fuera de control estos se eliminan y se recalculan la media y la desviación estándar y límites de control con los restantes y se construye un nuevo gráfico de prueba. Cuando las observaciones no siguen un patrón aleatorio indicando la existencia de causas asignables se hace necesario investigar para descubrirlas y eliminarlas. En la segunda etapa las observaciones que van surgiendo del proceso se representan en el gráfico y se controlan verificando que estén dentro de los límites y que no produzcan patrones no aleatorios.

2.2.9.1- Señales de falta de control

Aunque todos los puntos de un gráfico de control estén situados entre los límites de control, si la secuencia de puntos muestra un comportamiento sistemático, y por tanto, no aleatorio, está indicando que actúa sobre él alguna causa especial y en consecuencia existe una señal de falta de control. (PEPSICO- INC, 2007)

2.2.9.2- Zonas del gráfico de control

- **Zona A (zona de peligro):** es la zona más cercana a los límites y por lo tanto la más alejada del valor central. Con solo tener dos de tres puntos consecutivos en el mismo lado del promedio de ésta el proceso se encuentra fuera de control.

- **Zona B (zona de precaución):** es la zona intermedio entre los límites y el promedio. Para que el proceso se encuentre fuera de control en esta zona debe ocurrir que cuatro puntos, de cinco puntos consecutivos, se encuentren en ella.
- **Zona C (zona libre):** a pesar de ser ésta la zona de normalidad, donde se manejan los valores más aceptables, también pueden presentarse en ella comportamientos de los valores que muestren falta del control. Si hay quince puntos consecutivos dentro de ésta por encima y por debajo del promedio (PEPSICO- INC, 2007). Estas tres zonas se muestran en la figura 2.20.

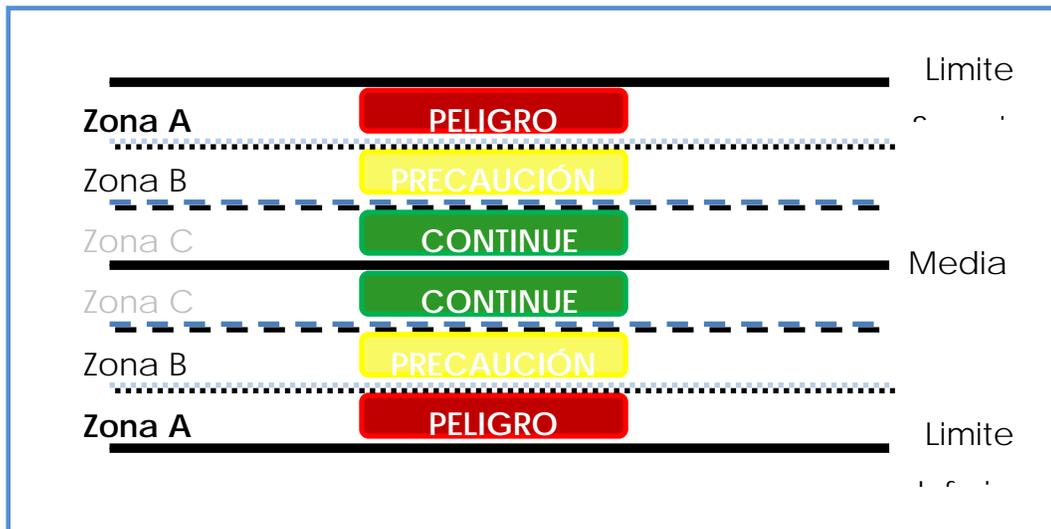


Figura 2.20. Gráfico representativo de las zonas identificativas de un gráfico de control. (PEPSICO- INC, 2007)

2.2.9.3- Tipos de gráficos de control. Gráficos X-R

Los graficas X-R se utilizan cuando la característica de calidad que se desea controlar es una variable continua. Figura 2.21.

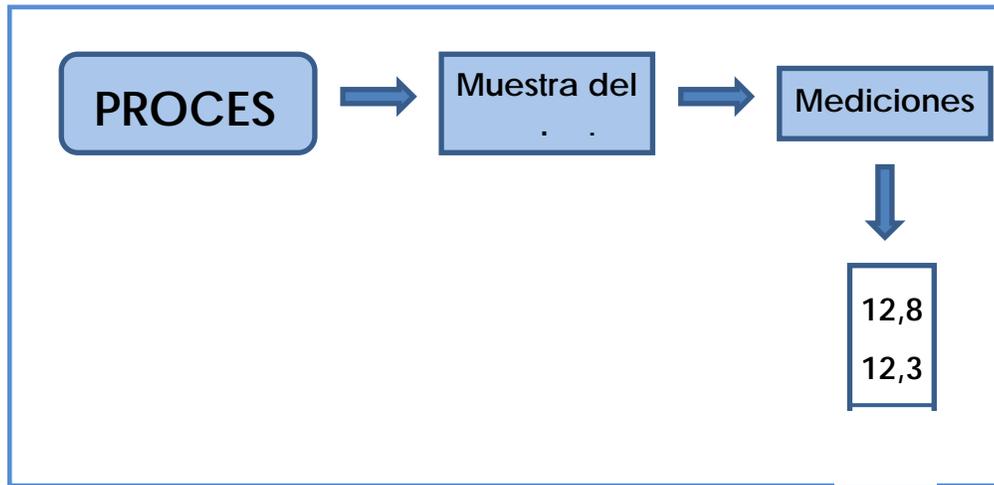


Figura 2.21. Diagrama de toma de mediciones de una variable continua.

En los gráficos X-R se utilizan los términos de subgrupos, esto quiere decir en agrupar las mediciones de un proceso de acuerdo a algún criterio, con la finalidad que de ese modo exista la máxima variabilidad entre subgrupos y la mínima variabilidad dentro de cada subgrupo. En los gráficos X-R es necesario realizar las mediciones de la característica de calidad que se desea controlar en intervalos de tiempo o de acuerdo algún criterio. Para cada uno de los subgrupos se calcula tanto el promedio o media y el rango (Ec. 2.4 y Ec. 2.5). Después de calcular el promedio y rango de cada subgrupo se tendrá una tabla como la siguiente:

Tabla 2.5. Ejemplo de tabla para la elaboración de gráficos X-R.

N° Subgrupo	X	R
1	50,1	0,2
2	50,2	0,1
.	-	-

A partir de esta tabla, se calcula el promedio general de promedios de subgrupos y el promedio de rangos de subgrupos:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{X}_i}{N} \quad (\text{Ec. 2.10})$$

Donde:

\bar{X}_i = Promedio de subgrupo

N = Número de subgrupos

$$\bar{R} = \frac{\sum R_i}{N} \quad (\text{Ec. 2.11})$$

Donde:

R_i : Rango de cada subgrupo

N = Número de subgrupos

La desviación estándar del proceso se puede calcular a partir del rango promedio, utilizando el coeficiente d_2 que depende del número de mediciones en el subgrupo:

$$s = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (\text{Ec. 2.12})$$

Los valores de las constantes d_2 y d_3 se obtienen a partir de las tablas de constantes para grafica de control. Estas constantes dependen del tamaño de la muestra.

Con esto pueden calcularse los límites de control para el gráfico de X:

$$\text{Línea Central} = \bar{\bar{X}}$$

Límite superior de control

$$LSC = \bar{\bar{X}} + \frac{3.s}{\sqrt{n}} \quad (\text{Ec. 2.13})$$

Límite inferior de control

$$LIC = \bar{\bar{X}} - \frac{3.s}{\sqrt{n}} \quad (\text{Ec. 2.14})$$

La desviación estándar del rango se puede calcular utilizando el coeficiente d_3 que también depende del número de mediciones en el subgrupo:

$$S_R = \frac{d_3 \cdot \bar{R}}{d_2} \quad (\text{Ec. 2.15})$$

Y así se pueden calcular los límites de control para el gráfico de R:

$$\text{Línea Central} = \bar{\bar{R}}$$

Límite superior de rango

$$LSR = \bar{\bar{R}} + 3.S_R \quad (\text{Ec. 2.16})$$

Límite inferior de rango

$$LIR = \bar{R} - 3.S_R \quad (\text{Ec. 2.17})$$

La tabla siguiente muestra los coeficientes d_2 y d_3 para subgrupos de hasta 10 mediciones:

Tabla 2.6. Coeficientes para subgrupos de hasta 10 mediciones.

N° de subgrupos	d2	d3
2	1,128	0,853
3	1,693	0,888
4	2,059	0,88
5	2,326	0,864
6	2,534	0,848
7	2,704	0,833
8	2,847	0,82
9	2,97	0,808
10	3,078	0,797

2.2.10- Diagrama Causa-Efecto

Es un diagrama que proporciona a un estudio los medios para explorar sistemáticamente las causas de un problema y categorizarlas gráficamente. Se le conoce comúnmente como diagrama de “Espina de Pescado”, por su forma o “Diagrama de Ishikawa” (su creador).

Las espinas representan los recursos de PEPSI (Personal, Equipos, Procedimientos, Suministros, Información). También se pueden usar las 7

M's (Maquinas, Metodos, Materiales, Medición, Mano de obra, Medio ambiente, Modelo ergonómico.) Esta herramienta se utiliza en la fase de identificación y diagnóstico de las causas de un problema. (PEPSICO-INC, 2007). La representación de este diagrama se muestra en la figura 2.22.

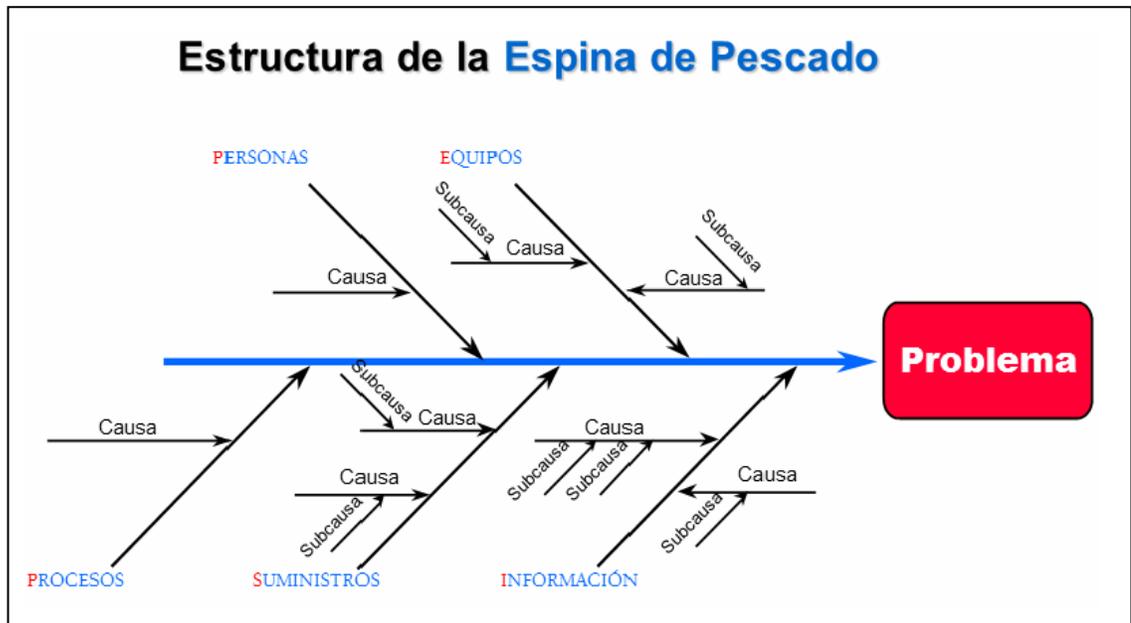


Figura 2.22. Estructura de Diagrama Causa-Efecto (PEPSICO-INC, 2007)

Se debe dibujar el “esqueleto” del diagrama y escribir el problema en la esquina derecha. Una vez hecho esto, se irán añadiendo las categorías primarias (PEPSI), en forma de flecha, apuntando hacia la línea central del diagrama.

Luego, se asigna cada posible causa a su propia categoría, dibujando flechas horizontales como se muestra en la figura anterior. Y por ultimo, en caso de ser necesario, se establece la razón posible de cada una de las causas, y será representada por una flecha diagonal que apunte a la flecha horizontal de cada causa a la que corresponda.

CAPITULO III: DESARROLLO DEL PROYECTO

Para el desarrollo de este trabajo se comenzó por realizar varios recorridos para conocer el proceso en estudio. Paralelamente, recopilar información necesaria para la producción de bebidas carbonatadas en la línea de envases retornables, además de revisar y evaluar las etapas del proceso de lavado y la recopilación de datos necesarios para poder desarrollar cada uno de los objetivos planteados.

3.1- CARACTERIZACIÓN DE LAS CORRIENTES INVOLUCRADAS EN EL PROCESO DE LAVADO MEDIANTE BALANCES DE MATERIA EN CADA TANQUE

Para llevar a cabo este objetivo fue necesario en primera instancia trasladarse a las instalaciones de Cervecería Polar Oriente para el conocimiento de las corrientes de alimentación de la lavadora (agua, soda y vapor), pues es desde allí donde se suministran, pasando por un puente de tuberías hasta llegar a Pepsi-Cola Barcelona.

Conociendo la temperatura y presión del vapor de entrada se podría determinar la naturaleza del mismo (saturado, sobresaturado o sobrecalentado) haciendo uso de la tablas termodinamicas de propiedades de vapor.

El flujo de entrada fue posible conocerlo mediante un visor de flujo volumétrico encontrado a la entrada de la planta. Este medidor forma parte de la tubería principal de vapor, que luego se ramifica a las distintas áreas,

sin embargo, no se cuenta con otro medidor a la entrada de la lavadora, por lo tanto para llevar a cabo los balances se toma como referencia el flujo principal, siendo este el máximo a la cual estaría la corriente.

Por otro lado, era importante validar la concentración de alimentación para la corriente de soda caustica, siendo ésto posible a través de los certificados de calidad del proveedor pues no se posee procedimiento de análisis de la misma a la recepción.

Para conocer los flujos de entrada para cada tanque se hizo uso de un contador de consumo que se encuentra ubicado en la tubería principal, el cual refleja la diferencia de hectolitros que se consumen cada vez que se adiciona soda a los tanques.

En cuanto a las corrientes de entrada de agua para cada tanque fue necesario realizar corridas para determinar dicho flujo, conociendo el valor del volumen de cada tanque y tomando tiempos de llenado se obtuvo dicho flujo, es importante mencionar que esta medición se llevo a cabo en tres oportunidades para obtener un promedio.

Cada uno de los cuatro tanques se encuentra atravesado por un serpentín por donde pasa el flujo de vapor, este serpentín posee cuatro válvulas de entrada, una para cada tanque y a su vez cuatro tuberías de alivio por donde sale el condensado.

Para cada una de las variables fueron tomados valores para obtener los flujos de entrada a cada tanque y así poder desarrollar los balances de materia de cada uno. A continuación se muestran las tablas para los valores encontrados.

Tabla 3.1 Valores de lectura inicial del contador, lectura final del contador y tiempo de consumo de vapor.

Corrida	Lectura Inicial (Kg)	Lectura final (Kg)	Tiempo (s)
1	4.491.826	4.491.827	5
2	4.491.940	4.491.945	20,2
3	4.894.324	4.894.333	35,8

Tabla 3.2 Valores de lectura inicial del contador, lectura final del contador y tiempo de consumo de soda para las diferentes corridas.

Corrida	Lectura Inicial (HL)	Lectura final (HL)	Tiempo (s)
1	1.993	2.001	240,62
2	2.092	2.100	191,94
3	2.121	2.126	138,29

Tabla 3.3 Valores de tiempo de llenado con agua del volumen máximo para cada uno de los tanques de la lavadora para las diferentes corridas.

Corridas	Tiempos de llenado TQ1 (s)	Tiempos de llenado TQ2 (s)	Tiempos de llenado TQ3 (s)	Tiempos de llenado TQ4 (s)
1	1462,2	1868	1861,5	1906,4
2	1638,6	1704,6	1827	1701
3	1558,6	1768,4	1858,5	1837,9

Una vez realizado el diagrama completo del proceso como se muestra en la figura 2.16 del capítulo 2, es necesario separar cada uno de los tanques para la realización de cada uno de los balances de los mismos (figura 3.1).

Para comenzar con el balance, es necesario indicar que cada una de las corrientes de salida de los tanques es una disolución de la soda al 50% y el agua que se agrega, cada tanque maneja un rango permisivo de concentración de soda y éste variará de acuerdo a la adición. Los valores que se manejan de esta concentración serán observados más adelante. Por lo tanto, lo manejado en los balances de materia será sólo los flujos de los tanques.

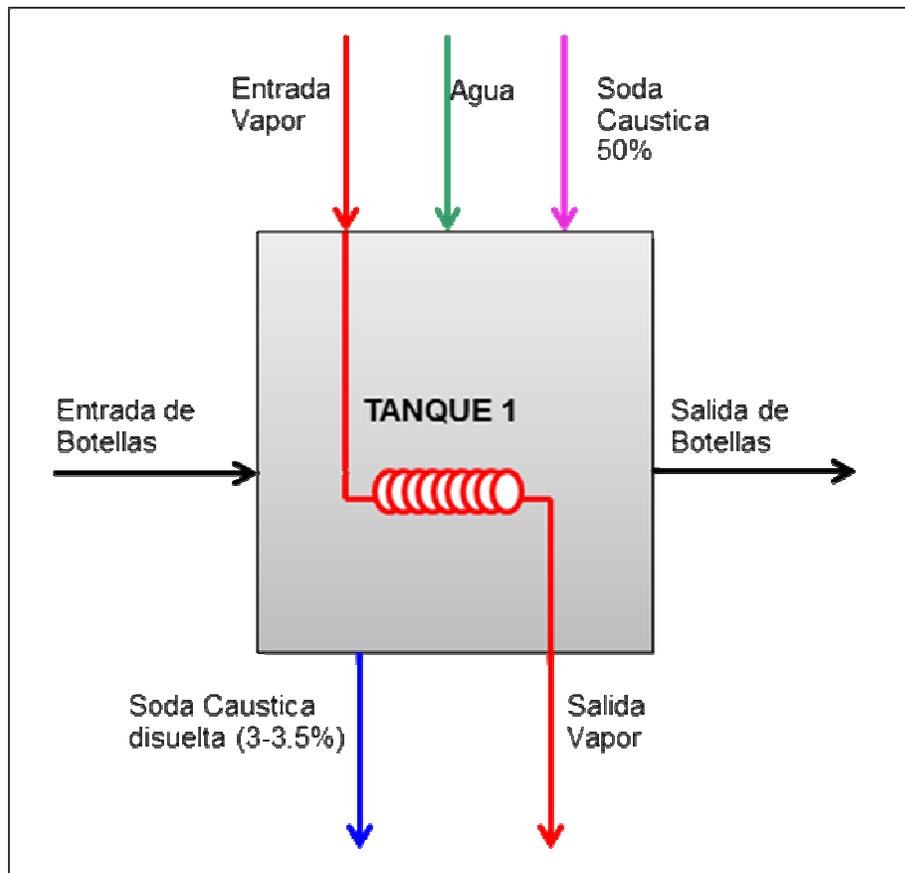


Figura 3.1 Diagrama de corrientes involucradas en el Tanque 1 de la lavadora de botellas para la realización de balances de materia.

El balance de las corrientes viene dado por la siguiente fórmula:

Flujo de Soda Caustica Disuelta= Flujo de Agua + Flujo de Soda Caustica
(50%) (Ec. 3.1)

La entrada y salida de botellas no se tomará en cuenta pues esta es una entrada por salida constante y las botellas pasan a través de cada tanque y duran dentro de cada uno 2 minutos por tanque. El vapor atraviesa un serpentín por el cual entra con una presión de 3 a 4 bar y una temperatura de entre 120-135 °C. Éste, entra como vapor saturado y por no poseer ningún tipo de fuga, el flujo de entrada será igual al de salida, con la salvedad que en la salida éste se condensa en su totalidad. Por lo tanto, la ecuación que define esta corriente es:

Flujo de entrada de vapor = flujo de salida de vapor (Ec. 3.2)

Una vez obtenidos los flujos correspondientes, será posible obtener un rango de valores máximos y mínimos que pueden manejarse a la hora de la elección de los equipos necesarios para la automatización.

3.2- DETERMINAR LAS DESVIACIONES DE LAS VARIABLES OPERACIONALES ACTUALES DEL PROCESO DE LAVADO DE LA LÍNEA 4 DE ENVASADO

Para el desarrollo de este objetivo se procedió al análisis de los procedimientos experimentales por parte de PEPSICO que se encuentran en los manuales de calidad, estos son realizados por el personal que se encuentra en la lavadora cada cuatro horas y los resultados son revisados por los analistas de calidad para la verificación y dosificación de soda o agua bien sea el caso.

El procedimiento que se llevó a cabo es el siguiente:

3.2.1- Procedimiento experimental

3.2.1.1- Lavado de botellas: concentración caustica.

Principio de operación

Al añadir ácido y un indicador sensible al pH a la solución cáustica, se puede determinar su concentración.

Equipo

- 2 buretas de 50 ml.
- 1 cilindro graduado de 10 ml.
- 1 vaso de precipitados (beaker) de vidrio de 150 ml o matraz Erlenmeyer.
- 1 termómetro.

Reactivos/ químicos

- Solución de cloruro de bario al 10 %, con no más de 3 meses de preparada.
- Ácido sulfúrico a 2,5 N; con no más de 4 meses de preparada.
- Indicador de fenolftaleína, con no más de 3 meses de preparado.
- Agua destilada.

Preparación del equipo

1. Enrasar la bureta con ácido sulfúrico 2,5 N.
2. Abrir la llave de la bureta y descargar el ácido en el beaker vacío. Descartar el ácido. Esto eliminará el aire en la bureta y llenará la llave y la punta de la bureta con ácido.
3. Enrasar la bureta.

Preparación de la muestra

1. Tomar la muestra cáustica en un envase de vidrio limpio y seco, después de descargar los primeros 150 a 200 ml de la solución cáustica.

2. Verificar la temperatura. La temperatura debe coincidir con la lectura del termómetro del compartimiento.
3. Medir 10 ml de solución cáustica con un cilindro graduado.
4. Transferir exactamente 10 ml de muestra de cáustico a un beaker de vidrio limpio y seco de 150 ml o un matraz Erlenmeyer. Permitir que el cilindro graduado se drene completamente.
5. Añadir 10 ml de agua destilada al cilindro graduado y transferir a un beaker o matraz. (Esto es para asegurar la transferencia total del cáustico. El agua no afectará la titulación).
6. Repetir el paso 5 una vez más.

Procedimiento de análisis

1. Añadir 5 ml de cloruro de bario al 10% de la bureta a la muestra cáustica. Un precipitado blanco aparecerá en la muestra.
2. Añadir de 3 a 5 gotas de indicador de fenolftaleína, y agitar. Si hay cáustico presente, la solución se tornará rosa.
3. Colocar el beaker de muestra o matraz directamente bajo la bureta con ácido sulfúrico, para evitar salpicaduras. Abrir la llave de la bureta, y añadir ácido a la muestra, gota a gota, agitando lentamente para mezclar.
4. Continuar añadiendo ácido hasta que la solución color rosa desaparezca completamente con la adición de una gota más de ácido.
5. Los mililitros utilizados de ácido sulfúrico para titulación equivalen al porcentaje cáustico en la muestra. Leer, con apreciación de una cifra decimal de mililitro más cercano, en el fondo del menisco. Ejemplo: la titulación con 4,2 ml, equivale a una concentración cáustica de 4,2 %.
6. Registrar los resultados.

El sistema de lavado cuenta con un lazo de control para medir la temperatura de cada tanque, estos valores son registrados en un panel principal que es manipulado por el personal para el registro de fallas, reinicio de la máquina, entre otras. Estas temperaturas fueron comparadas con los valores de los termómetros analógicos incorporados en la lavadora

Los datos necesarios para conocer la desviación de las variables fueron tomados durante tres semanas, dos días de cada semana alternado, cada dos horas, siendo esta frecuencia mayor a la del análisis realizado a diario por los operadores, los valores obtenidos para cada tanque son los siguientes:

Tabla 3.4 Valores de temperatura del panel, temperatura de termocuplas, concentración y niveles para el tanque 1

Tanque	Temperatura de panel (°C)	Temperatura termómetro (°C)	% Concentración de soda	Nivel de la solución (pulg.)
T A N Q U E 1	59,5	55	2,7	6,9
	62,8	57	2,6	10,4
	62,5	57	3,3	7,4
	62,5	57	3,4	6,4
	60,1	56	3,3	9,7
	61,3	55	3,1	5,4
	61	56	3	5,9
	60,7	56	3	6
	61,6	56	2,9	9,6
	61,3	57	2,8	9,6
	60,4	56	2,4	7,2

Tabla 3.5 Valores de temperatura del panel, temperatura de termocuplas, concentración y niveles para el tanque 1. (Cont.)

Tanque	Temperatura de panel (°C)	Temperatura termómetro (°C)	% Concentración de soda	Nivel de la solución (plg.)
T A N Q U E 1	61,9	57	2,6	9,5
	59,8	55	2,9	10,1
	59,2	55	2,8	10,5
	61,6	56	2,7	10,6
	61	55	2,2	9,5
	60,7	56	2,2	9,5
	60,4	55	2,3	9,5
	59,8	55	2,2	10,1
	61,2	56	2,1	10,3
	61,9	57	2,7	7,3
	60,7	54	2,7	6,8
	61,3	56	2,6	6,1
	62,8	57	3,7	10,3
	61	55	3,6	10,2
	59,5	55	3	2,9
	59,5	53	2,8	7,2
	65,2	56	2,8	7,2
	61,9	56	2,8	4,2
61	55	2,7	9,9	

Es importante resaltar que los valores de concentración obtenidos son provenientes de muestras tomadas directamente en el mismo momento en

que se tomaron las demás variables, para así garantizar la relación de las variables en el tiempo. El resto de las tablas correspondientes a los valores obtenidos para los demás tanques se encuentran en el anexo B.

3.3- IDENTIFICAR LAS CAUSAS QUE INFLUYEN SOBRE LAS VARIABLES DEL SISTEMA DE LAVADO.

El completo análisis del proceso así como también de las variables y su desviación, permitió identificar las causas raíces que ocasionaban la falta de control del proceso.

Haciendo uso de un diagrama de causa-efecto fue posible agrupar por categorías (utilizando la metodología de la empresa para el diagnóstico de problemas), cada una de estas causas y de esa manera identificar la influencia de cada una de ellas sobre el sistema de lavado.

Se dibujó el “esqueleto” del diagrama y una vez hecho esto, se fueron añadiendo las categorías primarias (PEPSI), lo que permitió que se pudiese ordenar las áreas que desglosan el proceso, y a cada una de estas se asignó sus posibles causas, para de esta manera dar respuesta a la raíz de cada una de las desviaciones presentadas.

3.4- Establecer un sistema automático de control para el sistema de lavado

Para el desarrollo de esta etapa fue necesario analizar los equipos que ayudarían al sistema a mantenerse en control durante el tiempo, así como también que permitiera la optimización de los recursos y su automatización.

En primera instancia se estudió la variable de concentración caustica para determinar de qué manera podía ser medida y controlada. Tomando como referencia los sistemas de control empleados en las lavadoras de Cervecería Polar Oriente, se optó por relacionar la variable de concentración de soda caustica con su conductividad. A su vez, se determinó mejorar la relación temperatura y % de concentración, pues como se mencionó anteriormente, la concentración de soda trabaja más efectivamente a mayores temperaturas, por lo tanto deberán hacerse cambios en los parámetros de control de temperatura que posee el sistema y manejarse de igual forma como lo muestra el fabricante y que la empresa invierte, tablas 2.2 y 2.4, capítulo 2.

De este punto radicaría entonces todo el proceso de automatización. Fue necesario conocer los valores de las conductividades a las diferentes concentraciones, y para ello se realizaron muestras de las mismas a través de una solución madre al 50% de hidróxido de sodio, igualmente preparada.

Para la solución de 50% de NaOH m/v se pesó 50 gr de pellets de NaOH, y se adicionó agua hasta obtener 100 ml de solución, recreando la solución de entrada a la lavadora (solución madre). Para las demás concentraciones (3,5% hasta 0,1%) se procedió a disolver la solución madre y haciendo uso de la siguiente ecuación fueron calculados los volúmenes de solución madre a utilizar para obtener cada una de las concentraciones.

$$V_c * C_c = V_d * C_d \quad (\text{Ec. 3.3})$$

Dónde:

V_c = Volumen Concentrado. (ml)

C_c = Concentración concentrada. (%)

Vd= Volumen diluido. (ml)

Cd= Concentración diluida. (%)

A cada solución preparada le fue medida su conductividad por medio de un conductímetro de laboratorio. Los valores obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 3.6 Valores de conductividad para distintas concentraciones de Hidróxido de Sodio.

Solución	Concentración NaOH (% m/v)	Conductividad (μS)
1	50	547,1
2	3,5	221,7
3	3	191,9
4	2,5	167,3
5	2	140,7
6	1,5	110,8
7	1	76,7
8	0,5	43,3
9	0,1	8,19

Los valores obtenidos en las tablas 3.2 y 3.3 permitieron conocer los rangos de trabajo que tendrán los demás equipos del sistema de automatización en cuestión a la medición de los flujos para la entrada y salida de agua y soda.

Para la propuesta de control, en primera instancia, fue necesario identificar las variables que lo componen (% concentración de soda,

temperatura, flujo de agua y niveles máximos de solución para cada tanque), para de esta manera conocer cuales equipos serán los necesarios para medir y finalmente controlar el sistema.

La base del proceso, radica en el % de concentración de soda de cada uno de los tanques, indicando que ésta es la variable a controlar en el sistema. Por otro lado, y de acuerdo a la propiedad asociada a la soda caustica, la variable de medición será entonces la conductividad y los valores que se encuentran en la tabla 3.6 servirán de referencia para el cálculo del error que dictaminará la decisión del controlador del sistema.

Ahora bien, para eliminar las perturbaciones del sistema, las variables manipuladas serán los flujos de agua y soda de alimentación, haciendo uso de válvulas de control neumáticas. Estas variables de igual manera deberán ser medidas pues también pudiesen presentar variaciones, siguiendo el esquema que se presenta a continuación.

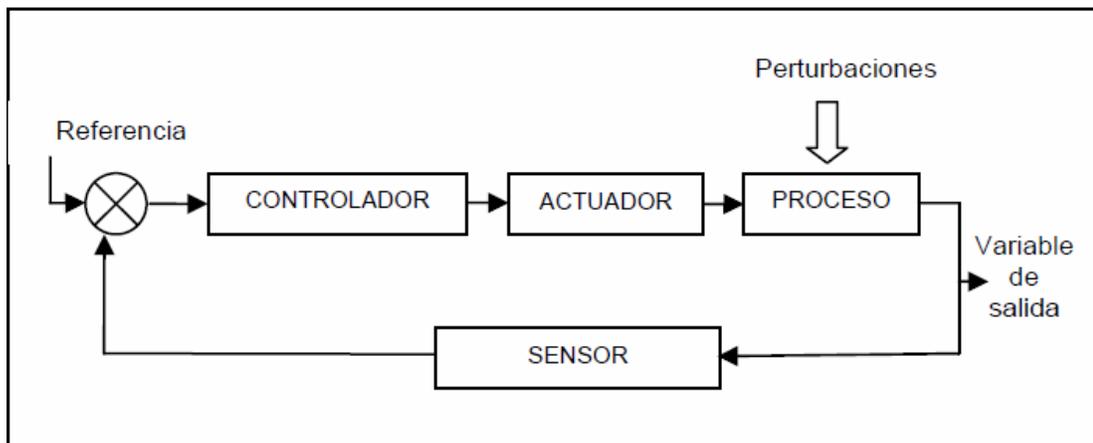


Figura 3.2 Elementos de un sistema de control automático.

La elección de los equipos se basó en tres aspectos: compatibilidad con el sistema, rapidez y rango de acción.

Para los equipos de medición de los flujos, se dispuso utilizar un tipo para el flujo de alimentación de soda y otro para la entrada de agua. Para el flujos de soda se optó por un flujometro electromagnético, ya que una de las características más resaltantes de este equipo es que es recomendado para soluciones ligeramente conductoras, además de su alta precisión poseyendo una exactitud de $\pm 0.5\%$. Una de sus desventajas es su alto costo.

Para la medición del flujo de agua, se hará uso de medidores de placas de orificio con placa concéntrica, estos medidores son los más utilizados a nivel industrial por su bajo costo y su efectividad.

En cuanto a la conductividad, serán necesarios sensores, éstos deben ser capaces de manejar rangos de conductividad baja, y que posean la capacidad de trabajar con soluciones que posean sólidos suspendidos, ya que estos deberán estar en contacto directo con el flujo que se encuentra dentro de los tanque de la lavadora y por regularidad esta solución tiene consigo todos aquellos sólidos que desprenden las botellas mientras se lavan.

Con respecto a los visores de nivel, éstos seguirán siendo los que posee el sistema, sólo que deberán ser limpiados y se colocaran nuevos flotadores que sean capaces de medir el máximo y mínimo de nivel.

Por último, las válvulas de control a utilizar, serán de diafragma neumático éstas actuarán a través de los reguladores de nivel que se

encuentran en cada tanque y seguirían el mismo patrón de funcionamiento que ya posee la válvula diafragma instalada en el tanque 4.

3.5.- MUESTRA DE CÁLCULO

3.5.1 Método de cálculo para las corrientes de soda, agua y vapor de los tanques de la lavadora de botellas

Utilizando los valores de las tablas 3.2 y 3.3 se procede a calcular los flujos para cada corrida tanto para la soda como para el agua y luego un promedio de los mismos. Para esto, se hace uso de las siguientes ecuaciones

$$\text{Flujo de soda caustica (50\%)} = \frac{\text{Lectura final (HL)} - \text{lectura Inicial (HL)}}{\text{Tiempo (s)}} \quad (\text{Ec. 3.4})$$

$$\text{Flujo de Agua } TQ_{1.1} = \frac{\text{Volumen } TQ_1}{\text{Tiempo de llenado}_1 \text{ (s)}} \quad (\text{Ec. 3.5})$$

$$\text{Flujo de Vapor} = \frac{\text{Lectura final (Kg)} - \text{lectura Inicial (Kg)}}{\text{Tiempo (s)}} \quad (\text{Ec. 3.6})$$

Es importante mencionar que existe un flujo de agua para cada tanque de la lavadora, pues éstos dependen del volumen de cada uno, que se pueden observar en la tabla 2.2 del capítulo 2 y del tiempo de llenado del mismo.

Sustituyendo en la ecuación 3.4 para la primera corrida, se tiene:

$$\text{Flujo de Soda caustica (50\%)}_1 = \frac{(2001-1993) \text{ HL}}{240,62 \text{ s}}$$

$$\text{Flujo de Soda caustica (50\%)}_1 = 0,03324 \text{ HL/s}$$

Para obtener el flujo en litros se tiene que 1 L = 0,01 HL, por lo tanto se tiene:

$$\text{Flujo de Soda caustica (50\%)}_1 = 0,03324 \text{ HL/s} * \frac{1 \text{ L}}{0,01 \text{ HL}} = 3,324 \text{ L/s}$$

De igual manera se procede con los demás valores de las otras dos corridas y una vez obtenidos los flujos de cada experiencia se procede a calcular un promedio de ellos, esto permitirá conocer el rango de flujo manejado a la entrada de soda caustica.

Por medio de la siguiente ecuación se obtiene el promedio:

$$\text{Flujo prom. de soda caustica (50\%)} = (\text{Flujo de soda caustica}_1 + \text{Flujo de soda caustica}_2 + \text{Flujo de soda caustica}_3) / 3 \quad (\text{Ec. 3.7})$$

Donde:

Flujo de soda caustica₁ = Flujo de soda caustica para la 1era corrida.

Flujo de soda caustica₂ = Flujo de soda caustica para la 2da corrida.

Flujo de soda caustica₃ = Flujo de soda caustica para la 3era corrida.

$$\text{Flujo promedio de soda caustica (50\%)} = \frac{3,324 \text{ L/s} + 4,168 \text{ L/s} + 3,616 \text{ L/s}}{3}$$

Flujo promedio de soda caustica (50%)= 3,703 L/s

Para obtener los flujos de agua se procede a hacer uso de la ecuación 3.5, sustituyendo desde la tabla 3.3:

$$\text{Flujo de agua } TQ_{1,1} = \frac{4.000 \text{ galones}}{1.462,2 \text{ s}}$$

Flujo de agua $TQ_{1,1} = 2,736$ galones/s

Para obtener el flujo en litros se tiene que 1 galón= 3,785 Litros, por lo tanto se tiene:

$$\text{Flujo de agua } TQ_{1,1} = 2,736 \text{ galones/s} * \frac{3,785 \text{ L}}{1 \text{ galón}} = 10,354 \text{ L/s}$$

Luego de obtenerse los tres flujos provenientes de los tiempos de llenado para cada tanque, se calcula el promedio de estos de igual forma para cada tanque, haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$\text{Flujo promedio de agua } TQ_1 = (\text{Flujo de agua } TQ_{1,1} + \text{Flujo de agua } TQ_{1,2} + \text{Flujo de agua } TQ_{1,3})/3 \quad (\text{Ec. 3.8})$$

Donde:

Flujo de agua $TQ_{1,1}$ = Flujo de agua para el 1er tiempo de llenado para TQ1.

Flujo de agua $TQ_{1,2}$ = Flujo de agua para el 2do tiempo de llenado para TQ1.

Flujo de agua $TQ_{1,3}$ = Flujo de agua para el 3er tiempo de llenado para TQ1.

Sustituyendo,

$$\text{Flujo promedio de agua } TQ_1 = \frac{10,354 \text{ L/s} + 9,240 \text{ L/s} + 9,714 \text{ L/s}}{3}$$

$$\text{Flujo promedio de agua } TQ_1 = 9,770 \text{ L/s}$$

Se procede de igual forma para los demás tiempos de llenado de los tanques restantes.

En cuanto a la obtención del flujo de vapor y haciendo uso de la tabla 3.1, se sustituye en la ecuación 3.6 para la primera corrida:

$$\text{Flujo de Vapor}_1 = \frac{(4.491.827 - 4.491.826) \text{ Kg}}{5 \text{ s}}$$

$$\text{Flujo de Vapor}_1 = 0,2 \text{ Kg/s}$$

De igual forma se procede con las demás valores encontrados, para luego obtener un promedio por la siguiente ecuación:

$$\text{Flujo promedio de Vapor} = (\text{Flujo de Vapor}_1 + \text{Flujo de Vapor}_2 + \text{Flujo de Vapor}_3) / 3 \quad (\text{Ec. 3.9})$$

$$\text{Flujo promedio de Vapor} = \frac{0,2 \text{ Kg/s} + 0,248 \text{ Kg/s} + 0,251 \text{ Kg/s}}{3}$$

$$\text{Flujo promedio de Vapor} = 0,233 \text{ Kg/s}$$

3.5.2 Cálculos de los balances de materia para los tanques de la lavadora de botellas

Para los balances de materia de cada uno de los tanques se hizo uso de los valores obtenidos en el método de cálculo de las corrientes de agua, soda y vapor siendo éstos, los valores de alimentación del sistema. Haciendo uso de la ecuación 3.1 y sustituyendo para el tanque N° 1, se tiene:

$$\text{Flujo de Soda Caustica Disuelta } TQ_1 = 9,770 \text{ L/s} + 3,703 \text{ L/s.}$$

$$\text{Flujo de Soda Caustica Disuelta } TQ_1 = 13,473 \text{ L/s}$$

De la misma forma se procede para los demás 3 tanques, haciendo la observación que el flujo de entrada de la soda caustica (50%) será el mismo para todos, por lo tanto sólo se irá variando el flujo de agua.

En el caso del vapor se sustituye en la ecuación 3.2 el valor del flujo de vapor obtenido en la parte anterior, siendo este el de la entrada:

$$\text{Flujo de entrada de vapor} = 0,233 \text{ Kg/s}$$

Como se explicó, el flujo es constante a lo largo del serpentín variando solo el estado en el que se encuentra el mismo, pasando de vapor saturado a 3-4 bar y 120 °C a liquido condensado, el cual estará sujeto al rango de temperaturas que maneja cada tanque como se muestra en la tabla 2.4 del capítulo 2.

3.5.3 Cálculos para la realización de los gráficos de control X-R de las concentraciones, temperaturas y niveles para cada tanque

Para llevar a cabo este cálculo, en primera instancia, se deben organizar los datos en subgrupos, tal como se explica en el capítulo 2, y se muestra en las tablas del anexo C, tomando como criterio los días de estudio como patrón de tiempo. Posteriormente, se obtienen para cada uno de ellos, el promedio de cada subgrupo, haciendo uso de la siguiente ecuación. Por ejemplo, con los datos de concentración de soda del TQ1 correspondiente al subgrupo 1, tomando los datos de la tabla 3.7 se calcula el promedio de la manera siguiente:

$$X_p = \frac{2,7+2,6+3,3+4+3,3}{5}$$

$$5$$

$$X_p = 3,06$$

Luego se calcula el rango utilizando la ecuación 2.5:

$$R = 4 - 2,6$$

$$R = 0,8$$

De igual manera se realiza con cada subgrupo hasta obtener una tabla que muestra los valores de los promedios de los subgrupos y sus rangos correspondientes como se explica en el capítulo 2, y como se observa en la tabla siguiente donde se encuentran los valores de % de concentración de soda caustica para el TQ1 medidos, los valores de cada subgrupo, sus promedios y además sus rangos calculados.

Tabla 3.7 Valores de los subgrupos promedios, valores máximos, mínimos y rangos, para la concentración de soda caustica del TQ1 de la lavadora de botellas.

%Conc.	Subgrupo1	subgrupo2	subgrupo3	subgrupo4	subgrupo5	subgrupo6
T Q 1	2,7	3,1	2,4	2,2	2,7	3
	2,6	3	2,6	2,2	2,7	2,8
	3,3	3	2,9	2,3	2,6	2,8
	3,4	2,9	2,8	2,2	3,7	2,8
	3,3	2,8	2,7	2,1	3,6	2,7
Xp	3,06	2,96	2,68	2,2	3,06	2,82
Max	3,4	3,1	2,9	2,3	3,7	3
Min	2,6	2,8	2,4	2,1	2,6	2,7
R	0,8	0,3	0,5	0,2	1,1	0,3

Donde,

%Conc.: Concentración de soda caustica.

Xp: Promedio de cada subgrupo

Máx.: Valor máximo de cada subgrupo.

Mín.: Valor mínimo de cada subgrupo.

R: Rango de cada subgrupo.

A partir de esta tabla se calcula el promedio general de promedios de subgrupos haciendo uso de la ecuación 2.10 y el promedio general de los rangos de subgrupos, como se muestra:

$$X = \frac{3,06 + 2,96 + 2,68 + 2,2 + 3,06 + 2,82}{6}$$

6

$$X = 2,797$$

Para el rango se sustituye en la ecuación 2.11

$$R = \frac{0,8+0,3+0,5+0,2+1,1+0,3}{6}$$

$$R = 0,533$$

Siendo este valor el Rango general de los subgrupos

Para poder graficar los valores en el gráfico de control X-R posteriormente, es necesario calcular la desviación estándar, la cual se calcula según la ecuación 2.12 utilizando los valores correspondientes del coeficiente para el número de subgrupos en estudio que se encuentran en la tabla 2.6 del capítulo 2, y el promedio general de rango de los subgrupos calculado anteriormente, se sustituye de la siguiente forma.

$$s = \frac{0,533}{2,534}$$

$$s = 0,210$$

Con estos valores se puede calcular los límites de control para el gráfico de X, siguiendo las ecuaciones 2.13 y 2.14 del capítulo 2, teniéndose:

$$\text{Línea Central} = \bar{X}$$

Para el límite de control superior, tenemos:

$$\text{LSC} = 2,797 + 3 \frac{0,210}{\sqrt{6}}$$

$$LSC=3,054$$

Para el límite inferior de control:

$$LIC= 2,797 -3 \frac{0,210}{\sqrt{6}}$$

$$LIC=2,540$$

De igual manera se realizó para cada una de las variables medidas para cada tanque, los resultados se muestran en las tablas de resultados del anexo B

3.5.4 Cálculos para la preparación de las soluciones de NaOH a diferentes concentraciones para la medición de su conductividad

Para determinar la conductividad a las distintas concentraciones que se manejan en los tanques de la lavadora de botellas fue necesario, como se mencionó anteriormente, recrear soluciones con dichas concentraciones. Sustituyendo en la ecuación 3.3, es posible demostrar cómo fueron calculados los volúmenes necesarios de solución madre (solución 50%) para obtener las distintas concentraciones deseadas. Es importante resaltar que se prepararon 100 y 500 ml de las solución disueltas, despejando entonces el volumen de concentrado.

Para la concentración 3,5%

$$V_c = \frac{V_d * C_d}{C_c}$$

$$V_c = \frac{100 \text{ mL} * 3,5\%}{50\%}$$

$$V_c = 7 \text{ mL}$$

De igual manera se obtuvieron el resto de los volúmenes necesarios para la concentración, estos se muestran en la tabla A.1 del anexo A

CAPITULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 ANALISIS DE RESULTADOS

4.1.1- Caracterización de las corrientes involucradas en el proceso de lavado mediante balances de materia en cada tanque

Para tener pleno conocimiento del proceso antes de su automatización era sumamente importante conocer los valores máximos y mínimos encontrados en cada uno de los tanques a su entrada y salida, siendo esto posible a través del estudio de cada uno, como se explicó en el capítulo anterior. En la tabla 4.1 se dan a conocer los valores obtenidos de flujo de soda de alimentación, pudiéndose observar que estos flujos poseen valores similares, lo que nos indica que a la hora del control de la misma pueden mantenerse con comportamientos con pocas oscilaciones.

Tabla 4.1 Valores de flujos de soda de alimentación y su promedio para las tres lecturas realizadas

Lectura	flujo (HL/s)	Flujo en (L/s)	Promedio (L/s)
1	0,0332	3,324	3,703
2	0,0417	4,168	
3	0,0362	3,616	

Estos valores permitieron a través de su promedio, realizar los balances de materia en cada uno de los tanques, para así conocer los valores de los flujos a la salida de los mismos.

De igual forma, se realizó una práctica similar con el agua para encontrar los flujos de entrada para cada uno. En la tabla 4.2 se observan los valores obtenidos luego de calcular los volúmenes de cada tanque con los tiempos de llenado.

Tabla 4.2 Valores de flujos de agua de alimentación para cada uno de los tanques de la lavadora de botellas

Tanque	Flujo₁ (Galones/s)	Flujo₂ (Galones/s)	Flujo₃ (Galones/s)	Flujo₁ (L/s)	Flujo₂ (L/s)	Flujo₃ (L/s)	Flujo prom. (L/s)
1	2,736	2,441	2,566	10,354	9,240	9,714	9,769
2	2,141	2,347	2,262	8,105	8,882	8,561	8,516
3	2,149	2,189	2,152	8,133	8,287	8,146	8,189
4	1,993	2,234	2,068	7,545	8,456	7,826	7,942

Estos valores obtenidos, permitieron realizar los balances de masa y obtener los diferentes flujos para la salida de cada uno de los tanques. Es importante mencionar que los balances de materia solo fueron realizados en base a los flujos de entrada sin tomar en cuenta las concentraciones de soda a la entrada y salida, pues a la salida, este es un valor que no se mantiene

constante en el tiempo sino que por consecuencia de la dilución este va variando.

Los valores obtenidos en los balances se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 4.3 Valores de flujos de soda disuelta para cada uno de los tanques de la lavadora

Tanques	Flujo de Soda disuelta (L/s)
1	13,472
2	12,219
3	11,892
4	11,645

Por otro lado, como se explicó en el capítulo anterior, se tomaron lecturas de los consumos de vapor con sus respectivos tiempos. Esto, permitió obtener valores de flujos para luego calcular un promedio el cual como ya se mencionó sería igualado al flujo de salida, por tratarse de un serpentín. En la tabla 4.4, se muestran estos valores.

Tabla 4.4 Valores de flujos de vapor y su promedio para las lecturas realizadas

Lectura	flujo (kg/s)	Flujo Prom. (kg/s)
1	0,2	0,233
2	0,248	
3	0,251	

De esta manera se pudo tener un punto de partida para el conocimiento del comportamiento del proceso, pues anteriormente ninguno de los valores obtenidos eran conocidos. Además, estos serán los valores referenciales para los equipos de control que se disponga en la propuesta establecida que se verá más adelante.

4.1.2- Determinar las desviaciones de las variables operacionales actuales del proceso de lavado de la línea 4 de envasado

Haciendo énfasis en el procedimiento para la dosificación de soda caustica y agua actual, fue posible estudiar las variables de operación en cada uno de los tanques. Encontrándose que los valores de dichas variables oscilaban en los extremos de especificación. Muchas de ellas manteniéndose fuera de la especificación sin que se corrigiera la desviación, los valores pueden observarse en el anexo **B** y pueden ser comparados con los valores de la figura 2.2 del capítulo 2.

Para comprobar si esas oscilaciones estaban bajo control estadístico, se realizaron gráficos de control X-R, para así obtener cual de las variables necesita mayor atención y verificar en que tanque se encuentran las desviaciones más notorias.

Como se mencionó en el capítulo 3, se hizo necesario llevar a cabo el procedimiento de análisis de dosificación de soda a los tanques. Para el tanque 1 se realizaron los cálculos respectivos introduciendo los datos correspondientes a las tablas 3.4, 3.5 y la tabla 3.7 siguiendo el procedimiento que se expone en la muestra de cálculo 3.4.3 y así obtener los promedios de cada subgrupo, los límites superior de control (LSC) e inferior de control (LIC) además del límite central (LC); estos límites permiten obtener

el rango donde se debería encontrar la variable en medición para comparar si el proceso se encuentra o no bajo control estadístico.

Con estos resultados se obtuvo una gráfica en la cual también se incluyó los límites de especificaciones exigidos por la empresa Pepsi-Cola Venezuela como mínimo mandatorio de seguridad alimentaria. Límite superior de especificación (LSE) e inferior de especificación (LIE) y así estudiar el comportamiento del % de concentración mediante esta gráfica. En ella, se puede observar un comportamiento irregular encontrándose 3 puntos fuera de los límites de control, aunado a esto se nota claramente como los valores se encuentran por debajo de los límites de especificación. Se puede observar además, como entonces en el punto 1 y 5 donde se encuentran fuera del límite superior de control se acepta en cuanto los valores de especificación, por lo tanto, siendo estos dos únicos puntos los que se encuentran bajo especificación, pero fuera de control estadístico.

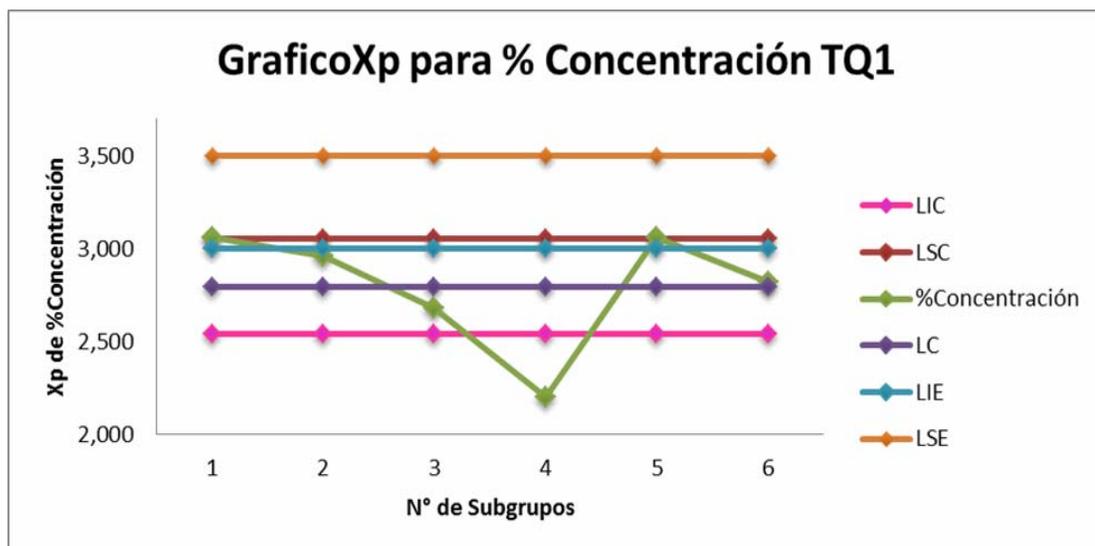


Figura 4.1 Gráfica de control de %Concentración de soda, para el tanque 1

Así se procedió con las demás variables operacionales para cada tanque. Con los datos que se tienen en las tablas del anexo C, se calculó para cada variable por tanque los límites y se graficaron para obtener la gráfica de control correspondiente a cada una de ellas, esto dio como resultado todas las graficas que se muestran a continuación.

La figura 4.2 corresponde a la gráfica de control de la temperatura de panel para el tanque 1, observándose todo lo contrario al caso anterior, los valores obtenidos se encuentran dentro del control durante su trayectoria, sin embargo muy por encima del valor máximo de especificación, inclusive se muestra como se superponen los valores del límite superior de especificación (LSE) y límite inferior de control (LIC). Esto debido a que a la válvula de entrada de vapor de este tanque no responde con la rapidez demandada a la hora de su cierre, como consecuencia de la falta de mantenimiento que posee.

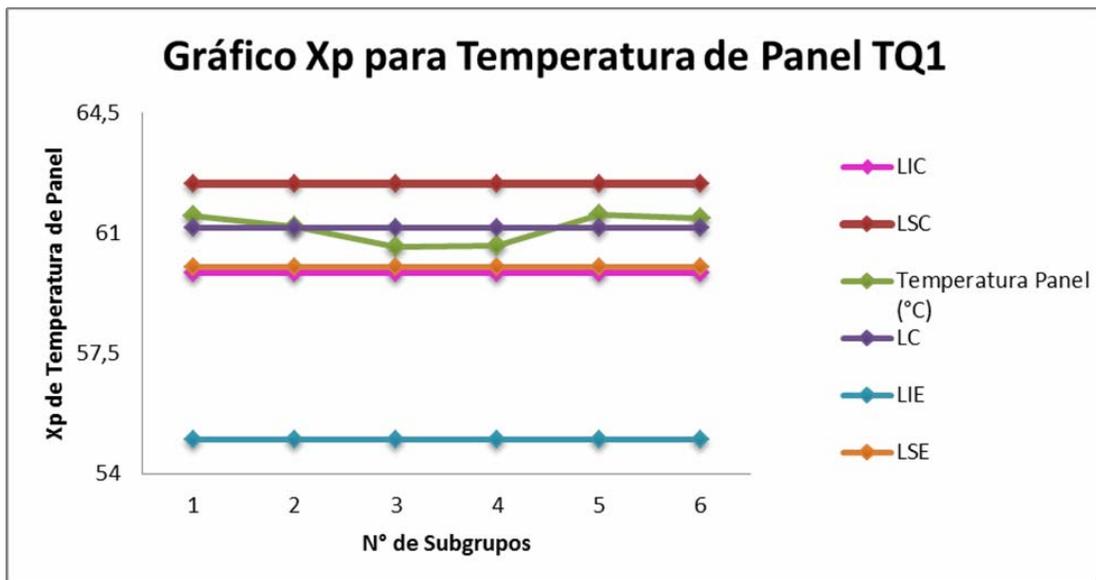


Figura 4.2 Gráfica de control de Temperatura de Panel, para el tanque 1

En la figura 4.3 se muestra la gráfica de control para la temperatura del termómetro incorporado al tanque 1, el comportamiento de la misma se encuentra a lo largo de los límites de control y de especificación, observándose como el punto 6 se encuentra en el límite inferior de especificación (LIE), pero todavía dentro del límite inferior de control (LIC). Es importante mencionar que los valores de la variable de temperatura fueron tomados desde estos dos puntos de control, para así hacer una comparación entre los valores obtenidos y mostrar la diferencia que hay entre ellos. Como se observa, la gráfica 4.3 muestra valores dentro de control y especificación, hay que resaltar que estos son valores provenientes de equipos que no han sido calibrados en los últimos 3 años y que por ende podrían arrojar lecturas erróneas. Cuando se refiere a temperatura de panel, se habla de la lectura que arroja el PLC que le envían las PT-100 (sensores de temperaturas por resistencias) incorporadas al sistema de control de temperatura de la lavadora.

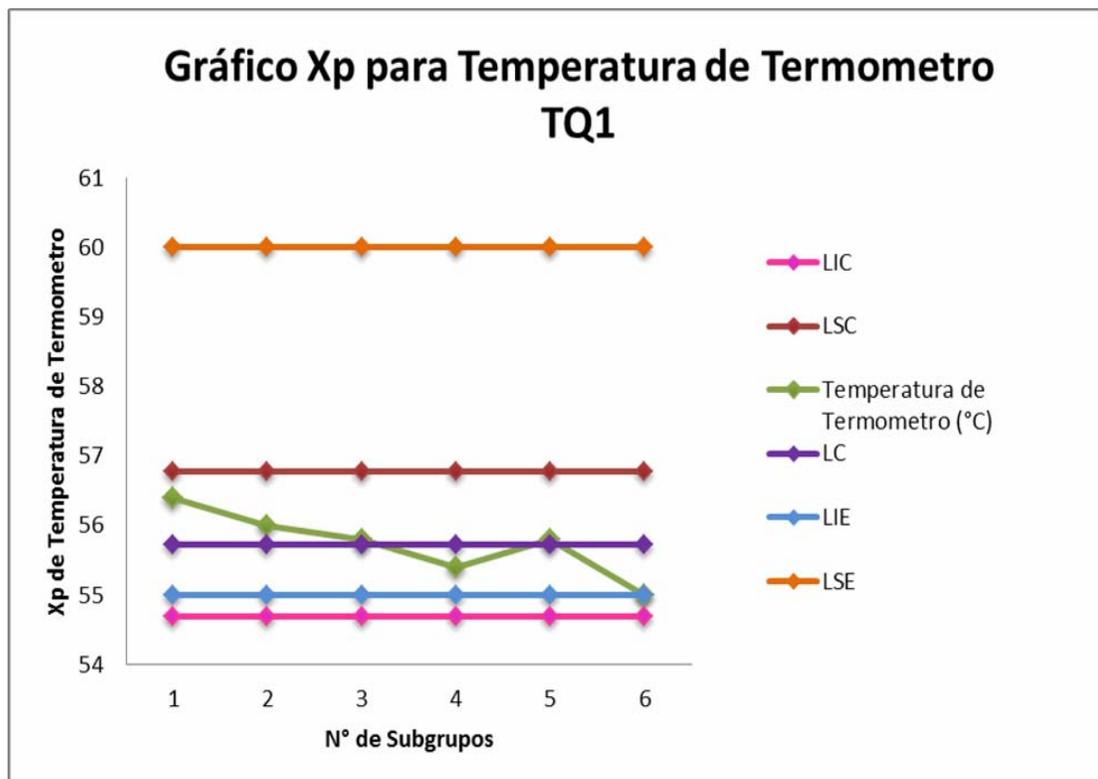


Figura 4.3 Gráfica de control de temperatura de termometro, de tanque 1

La figura 4.4 corresponde a la gráfica de nivel para el tanque 1, en ella se puede observar como los valores se mantienen dentro los limites de control a lo largo de su trayectoria, donde el punto uno se muestra en el limite central (LC) y el 6 en el limite inferior de control (LIC). A su vez, se mantienen tambien dentro de los limites de especificación, exceptuando el punto 3 que se encuentra en el limite superior de especificación (LSE) y el 4 que se encuentra fuera de él.

Es importante mencionar que estos valores de nivel y su especificación fueron tomados de los valores recomendados por el fabricante, como se muestra en la tabla 2.2, donde éstos se observan en un visor ubicado en la parte superior de cada tanque, que posee 3 franjas para

indicar el nivel, sin embargo la empresa no realiza una medida, sino que por evaluación cualitativa de las franjas (minimo, target y maximo) se registran los niveles. Al momento de la medición se evidencio que la franja que representa el target para la evaluación, corresponde en realidad al valor minimo de especificación del fabricante, esto ocurre para los demas tanques.

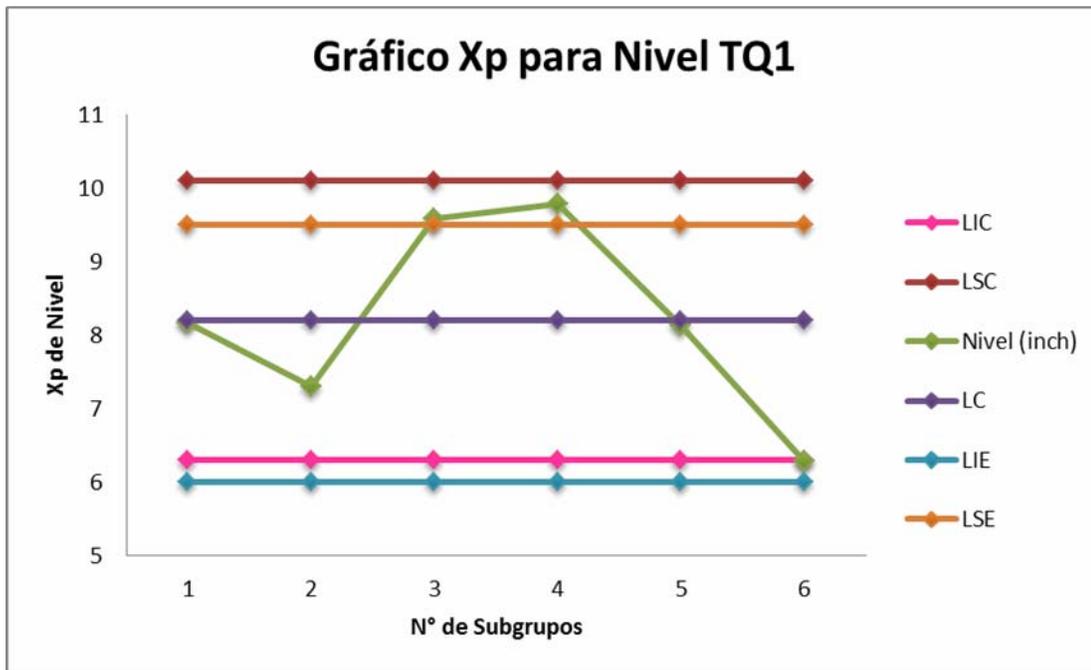


Figura 4.4 Gráfica de control de Nivel, de tanque 1

Así mismo, en la gráfica 4.5, se observa el comportamiento del %Concentración de soda ahora para el tanque 2, donde éste se mantiene dentro de los límites tanto de control como de especificación a todo lo largo de la trayectoria, siendo el punto 2 el único punto que se encuentra en el límite superior de control (LSC).

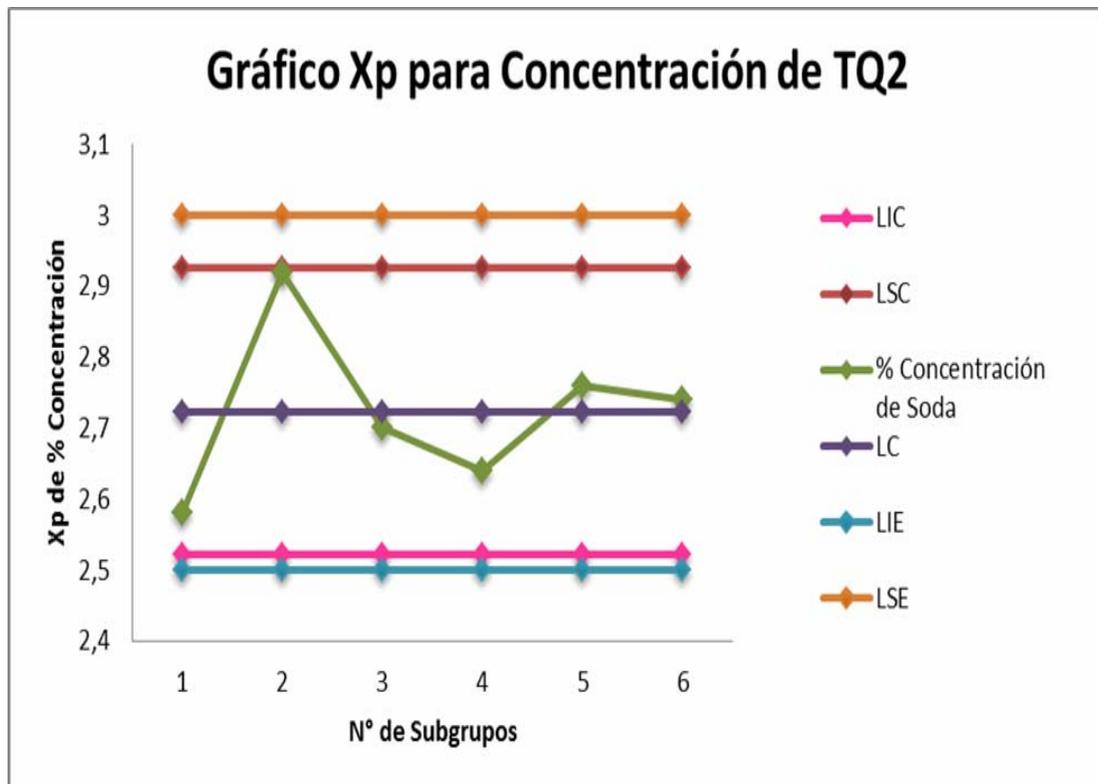


Figura 4.5 Gráfica de control de %Concentración de soda, tanque 2

La figura 4.6, muestra la gráfica de control de temperatura de panel para el tanque 2, el comportamiento de la misma muestra valores que se encuentran dentro de los límites de control y más aún de especificación en todo lo largo de la misma ubicando los puntos 3 y 5 en el límite central (LC).

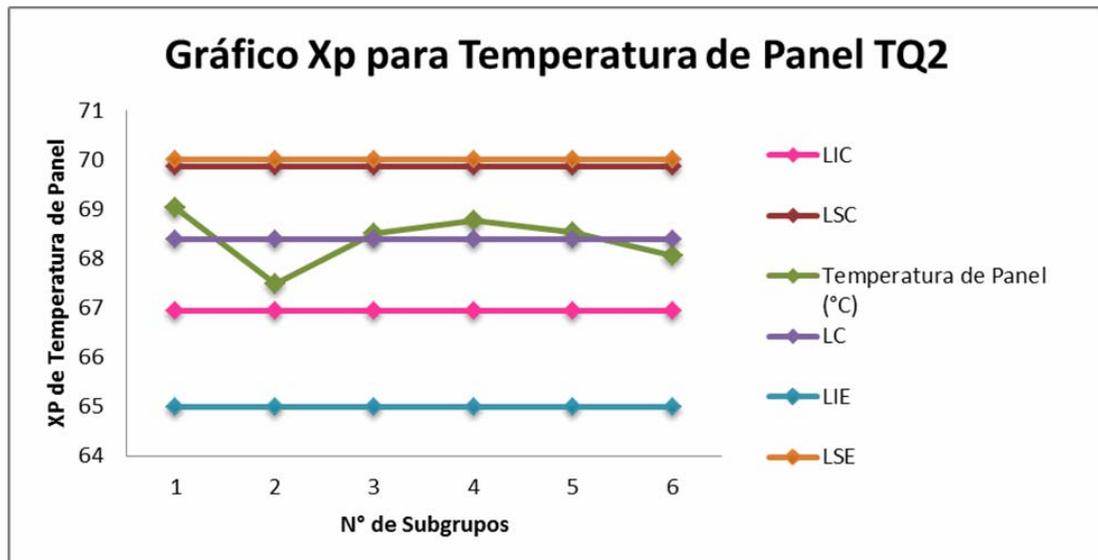


Figura 4.6 Gráfica de control de temperatura de panel, tanque 2

En la figura 4.7, se muestra la gráfica correspondiente al control de temperatura de termómetro para el tanque 2, donde puede observarse que los valores se encuentran en su mayoría dentro de los límites de control, exceptuando el punto 2 que sale del límite inferior de control (LIC), a su vez, se muestra que solo los puntos 1, 3 y 4 se encuentran dentro de los límites de especificación, estando el límite inferior de especificación (LIE) por encima del límite central de control (LC) y el límite superior de especificación (LSE) muy por encima.

Esta desviación se debe de igual manera a la falta de mantenimiento que poseen las válvulas de entrada de vapor, que no son capaces de responder con la efectividad necesaria.

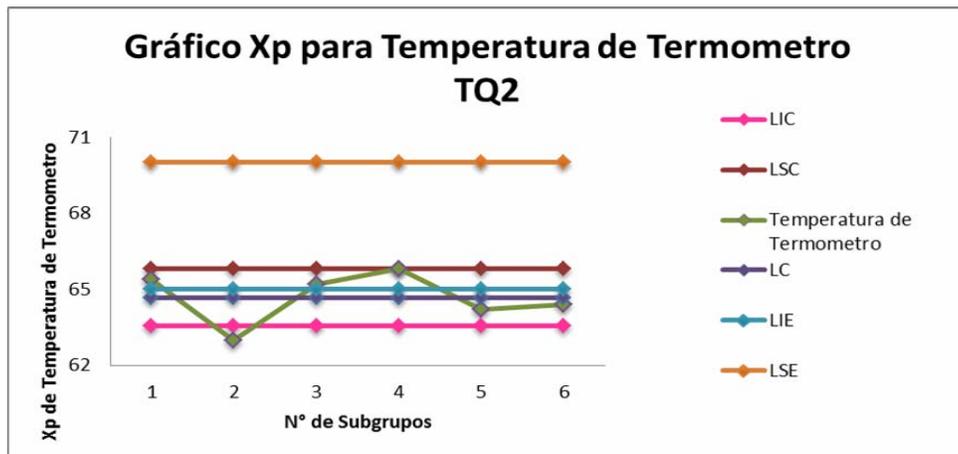


Figura 4.7 Gráfica de control de temperatura de termómetro, tanque 2

La gráfica 4.8, corresponde a la gráfica de control de nivel para el tanque 2, en ella se muestra un comportamiento sostenido dentro de los límites de control y de especificación, exceptuando el punto 3 el cual se encuentra en el límite superior de control (LSC), pero por encima del límite superior de especificación. Esto demuestra que se logra mantener el nivel de requerido en este tanque a lo largo del tiempo.

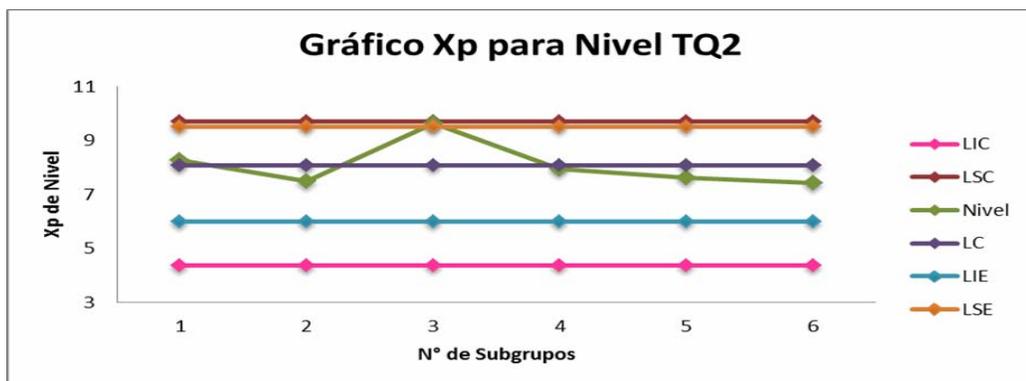


Figura 4.8 Gráfica de control de nivel, tanque 2

De igual manera, en la figura 4.9, correspondiente a la gráfica de control de %concentración de soda para el tanque 3, se observa como los valores se desplazan dentro de los límites de control, sin embargo, en cuanto a los límites de especificación se muestra como los puntos 1 y 2 se encuentran en el límite inferior de especificación (LIE) y los puntos 5 y 6 fuera de éste. Encontrándose solo dos de los seis puntos dentro de especificación.

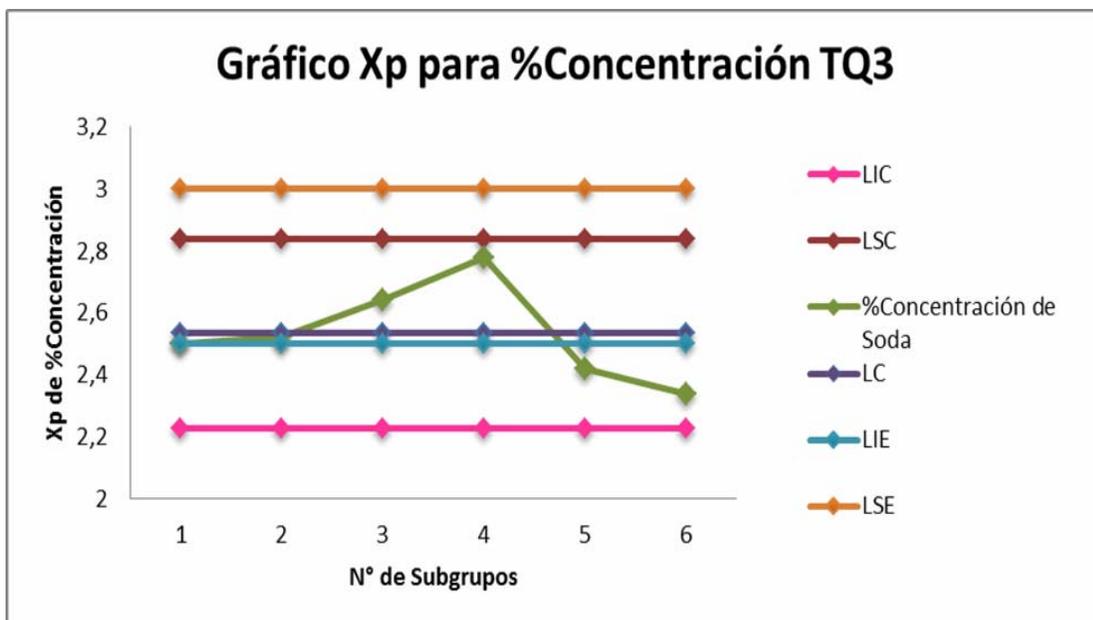


Figura 4.9 Gráfica de control de %Concentración de soda, tanque 3

La gráfica 4.10, muestra los valores correspondientes a la gráfica de control de temperatura de panel para el tanque 3, en ella se observa que la trayectoria de los valores se encuentra dentro de los límites de control y especificación. Donde solo los puntos 4 y 5 se encuentran en los límites superior e inferior de especificación y control, respectivamente. Este resultado nos muestra un proceso controlado de temperatura en el tanque en esta variable.

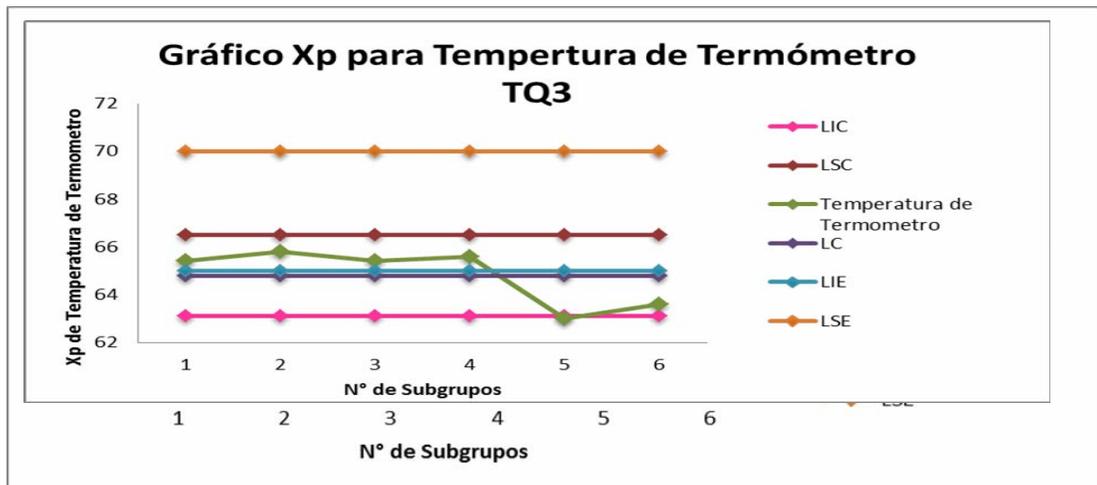


Figura 4.10 Gráfica de control de temperatura de panel, tanque 3

Para la figura 4.11, se muestra la gráfica de control de temperatura de termómetro para el tanque 3, donde los puntos se desplazan a lo largo del recorrido dentro de los límites de control, viéndose como el punto 5 se encuentra en el límite inferior de control (LIC), en cuanto a los valores de especificación se observa cómo se encuentran por encima de los valores de los límites de control respectivamente, mostrándose solo 4 de los 6 puntos dentro de especificación, pero sin embargo todos ellos muy cercanos al límite inferior de especificación (LIE).

Figura 4.11 Gráfica de control de temperatura de termómetro, tanque 3

En la figura 4.12, se encuentran los valores de la gráfica de control de nivel para el tanque 3, observándose como éstos se encuentran dentro de los límites de control, exceptuando al punto 4 que se encuentra en el límite inferior de control (LIC) y el punto 6 que esta fuera del límite superior de control (LSC). En cuanto a los límites de especificación poder verse como los primeros valores se encuentran muy cerca del límite inferior de especificación (LIE) para luego en el punto 4 salirse del mismo.

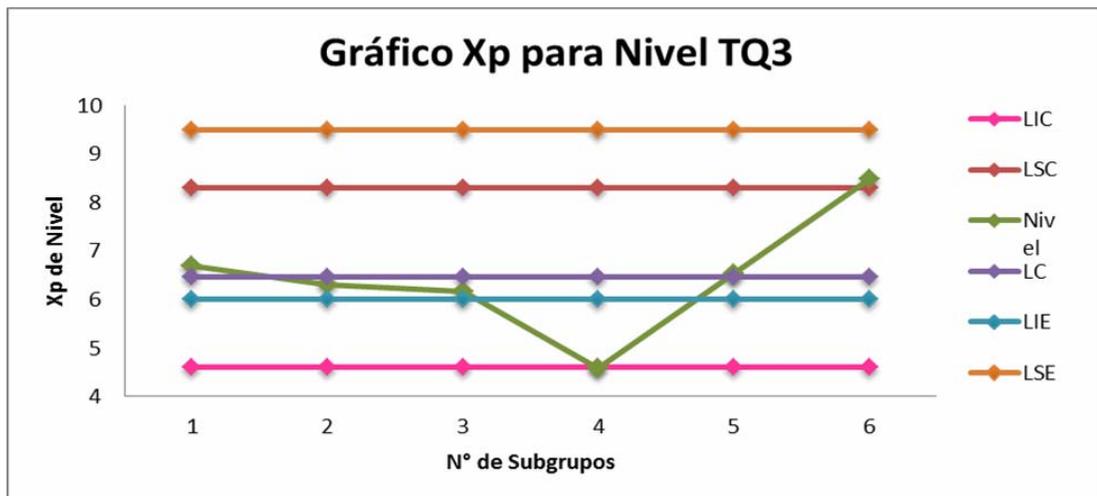


Figura 4.12 Gráfica de control de nivel, tanque 3

Así mismo, en la figura 4.13, se muestra la gráfica de control de %concentración de soda para el tanque 4, donde se puede observar como los valores se encuentran en todo momento muy por debajo de los límites de especificación, mostrando valores de %concentración de soda muy bajos. En cuanto a los límites de control, se muestra un comportamiento dentro de los

mismos, sin embargo, esta situación se comporta de manera irregular, ya que demuestra que no se tiene el control sobre el proceso pues éste no se encuentra ni remoto a su especificación. Esto, debido a la decisión de vaciado del tanque.

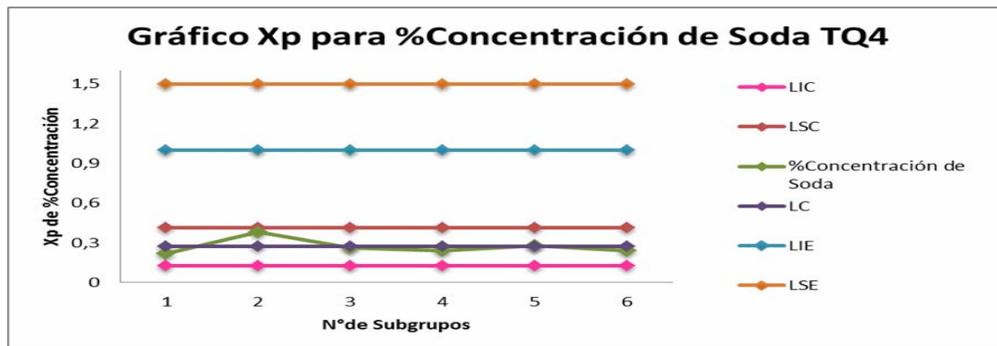


Figura 4.13 Gráfica de control de %concentración de soda, tanque 4

Igualmente en la figura 4.14, se encuentra la gráfica de control de temperatura de panel tanque 4, en ella, los valores de los puntos 1-4 se muestran muy oscilantes, con una subida de temperatura que coloca al punto 2 fuera del límite superior de control (LSC) y luego de una bajada recae el punto 4 en el límite inferior de control (LIC) estos cambios súbitos nos indican que el proceso no se encuentra controlado, además, se ve como en lo que encierran los límites de especificación solo se manejan 4 puntos y los dos primeros, por encima del límite superior de especificación (LSE). Este comportamiento viene dado por los aumentos imprevistos de temperatura en el tanque, y que para bajarlos se decidió inyectar agua fresca de la tubería de alimentación en el momento que la temperatura rebasara el límite superior de especificación.

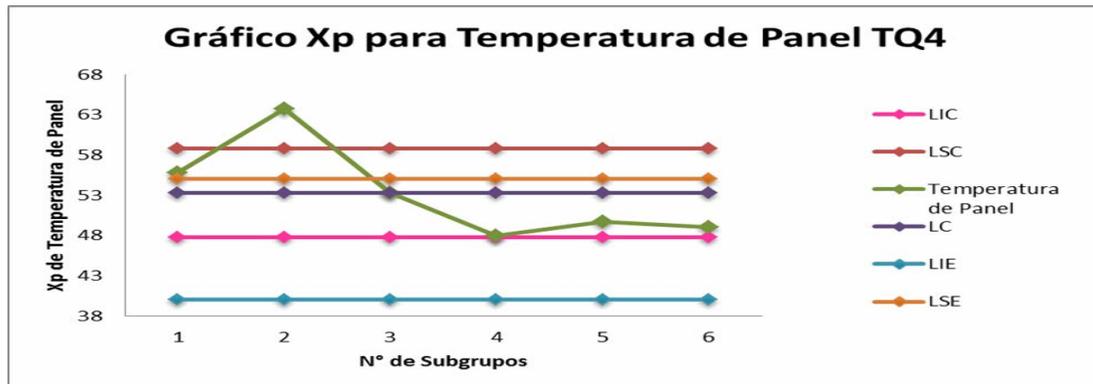


Figura 4.14 Gráfica de control de temperatura de panel, tanque 4

La figura 4.15, corresponde a la gráfica de control de temperatura de termómetro para el tanque 4, en ella se observa en primera instancia como se superponen los límites superior de control y especificación, el punto 2 se encuentra fuera de ambos y el 4 por debajo del límite inferior de control, mostrándose como en la figura anterior ascensos y descensos súbitos de temperatura.

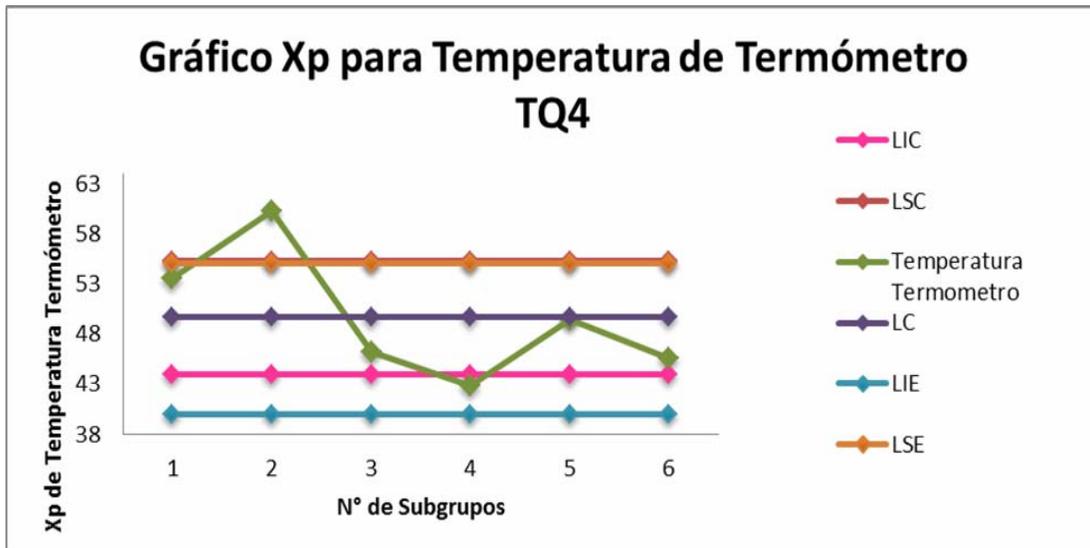


Figura 4.15 Gráfica de control de temperatura de termómetro, tanque 4

Y por último, la figura 4.16, muestra la gráfica de control de nivel para el tanque 4, observándose como la trayectoria se encuentra dentro de los límites de control, exceptuando al punto 4 que se encuentra en el límite inferior de control (LIC) y el punto 5 que está en el límite superior de control (LSC), Ahora bien, en cuanto a los límites de especificación, se evidencia la falta de control, pues solo un punto (5) se encuentra dentro de estos, esto consecuencia también de las inyecciones constantes de agua al tanque.



Figura 4.16 Gráfica de control de nivel, tanque 4

4.1.3 Identificar las causas que influyen sobre las variables del sistema de lavado

Luego del estudio del comportamiento de cada una de las variables que se ven involucradas en los distintos tanques de adición de soda de la lavadora, y analizando cada uno por separado es posible conocer cuáles son las variables que se encuentran fuera de control y de especificación. Lo que indica que el proceso no es un proceso controlado.

Haciendo uso de la herramienta utilizada por la empresa para el conocimiento de las causas de un problema, pudieron estar correctamente enfocadas por categorías cada una de las causas asociadas a la desviación de las variables del proceso de lavado, en la figura 4.17, se observa dicho diagrama donde se refleja la categoría proceso que más afecta a la desviación del proceso; los equipos, donde el principal problema que se presenta es la falta de calibración.

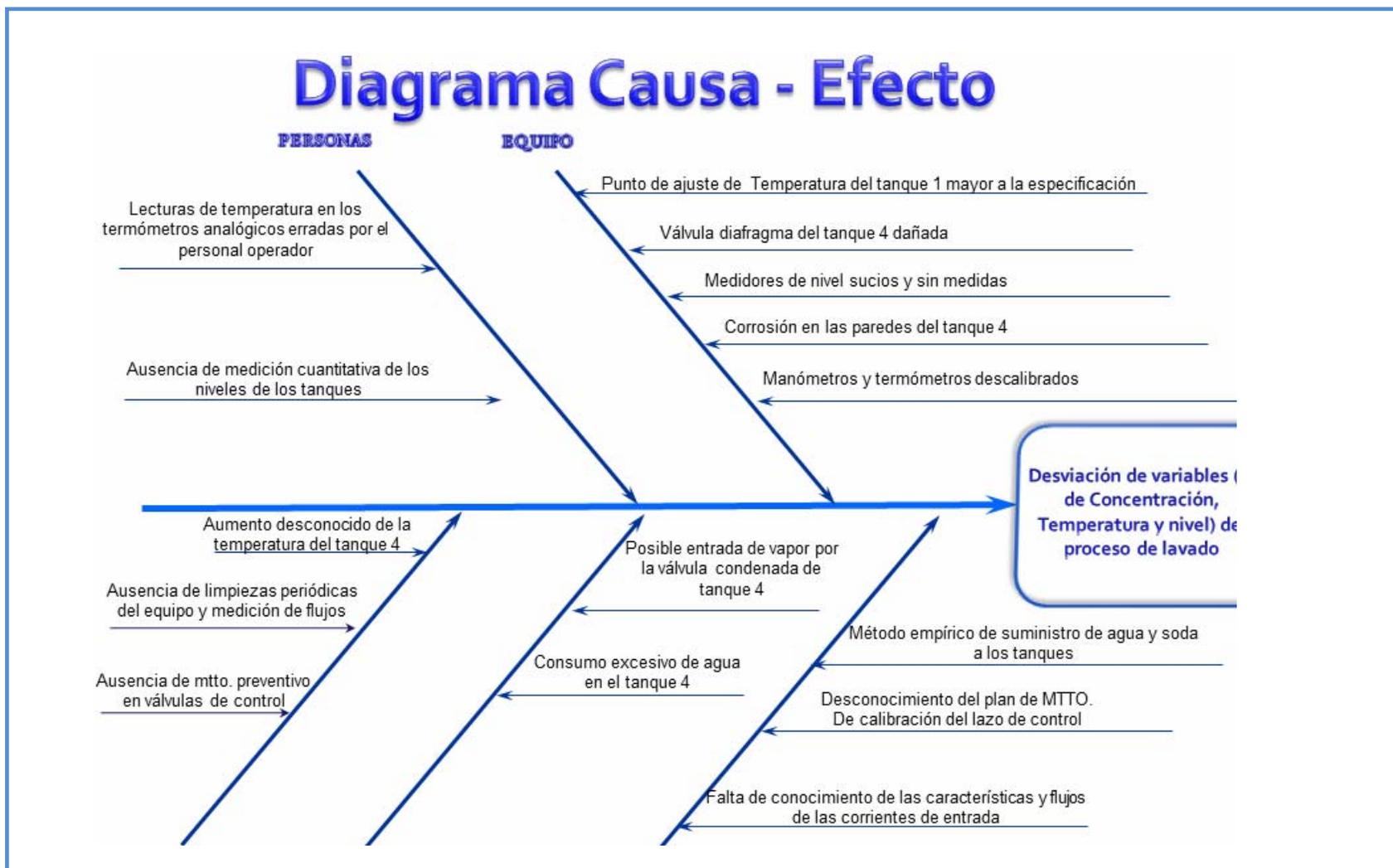


Figura 4.17. Diagrama Causa-Efecto de la desviación de las variables del proceso de lavado

En el tanque 1, se evidenció para su primera variable (%Concentración de soda) como ésta se encuentra por debajo de la especificación, la causa de esta falta de control, en los cuatro tanques, es la falta de conocimiento, bien sea en cuanto a tiempo en que empíricamente el personal agrega la soda o la cantidad de flujo a agregar al tanque al momento de la adición de soda o agua por parte de los analistas. El procedimiento a seguir es totalmente empírico, donde se agrega soda (en caso de que el tanque carezca) por cierto tiempo, si el tiempo de adición no es suficiente se agrega nuevamente para así llegar a la concentración deseada. Otra causa que puede influir en esta variable es la constante inyección de botellas que puedan contener en ellas trazas de bebida, agua o cualquier algún otro líquido que puedan contribuir con su dilución.

En cuanto a la temperatura de este primer tanque, se observa como en la figura 4.2 en donde se muestra la medición del panel, los valores se encuentran muy por encima de la especificación y esto es debido además a que el controlador lógico programable (PLC) con que trabaja el sistema de vapor posee en su configuración un valor de especificación mayor al exigido por la empresa. Por otro lado, en cuanto a las temperaturas registradas por el termómetro como se muestra en la figura 4.3 los valores se mantienen dentro de la especificación.

Es importante resaltar que la especificación para ambas medidas es la misma, y que todas las mediciones realizadas por ambos métodos se realizaron en los mismos instantes y donde los valores de la temperatura para el panel podían cambiar seguido de la apertura de las válvulas ajustadas automáticamente. Lo que no ocurría con el termómetro el cual no variaba tan fácilmente de temperatura. Esta diferencia es crucial para el proceso, pues los operadores pueden tomar las lecturas de los termómetros

y registrarlas, dejando valores por asentados que son lecturas falsas de un equipo que no se encuentra calibrado (termómetro). Por lo tanto, se estableció que hasta tanto no se calibrarán los termómetros incorporados a los tanques no se tomarían lecturas para los registros diarios de los mismos, siendo los valores de temperatura de panel los mas confiable pues la calibración de las PT-100 se hace cada 6 meses.

En cuanto al nivel de este tanque, la empresa no posee sistema de medición para el mismo, por lo tanto para obtener los valores, se uso una cinta métrica con el fin de saber si realmente el flotador de nivel indicaba estar dentro de la especificación. Como se muestra en la figura 4.4, los valores se manejan a lo largo de la especificación pues una de las tareas a la hora de hacer el reporte de variables por parte de los operadores, es de vaciar el tanque en caso de que éste se encuentre por encima de la marca sugerida como máximo y de informar al analista en caso de que este por debajo de la marca de mínimo para que sea adicionada agua o soda en caso de que lo requiera.

De igual forma, para el tanque 2, se evidenció que todas sus variables se encuentran controladas utilizando las mismas técnicas ya antes mencionadas.

Para el tanque 3, se observo por medio de la figura 4.9 como sus valores de concentración de soda oscilan en la parte baja de la especificación, indicando que no se tiene un control total de la misma en este punto, la causa de esto, es la ya mencionada con respecto al procedimiento empírico de adición. Donde los mismos valores muestran que no se logra aumentar la concentración por medio de esta técnica fácilmente. Lo que

implica tiempo y el hecho de que las botellas no tengan el contacto con la cantidad de soda necesaria.

En cuanto al nivel de este tanque, se observó en la figura 4.12 como al principio mantiene valores muy bajos (cercaos al límite inferior de especificación) y luego de un decremento súbitamente van en aumento, lo que nos indica la clara falta de control de esta variable en este punto. La causa original de esta condición es que existe un pase de agua por la pared que comunica al tanque 3 con el 4.

Antes de indicar las causas de la desviación de las variables del tanque 4, se debe hacer referencia de la situación que se presenta en el mismo, donde se manejan aumentos súbitos de temperatura sin causa aparente lo que ocasiona que por esas altas temperaturas exista condensación dentro de las botellas siendo estas rechazadas al momento de pasar por el detector de botellas vacías. La medida tomada para aplacar esta situación fue, vaciar el tanque en el momento en que la temperatura se saliera de rango y agregar agua fresca para llenarlo nuevamente hasta que bajara dicha temperatura a un valor dentro de parámetro.

Como consecuencia de esta acción se ha dejado de adicionar soda al tanque para evitar un aumento del consumo en algo que debe desecharse constantemente, esto ha sido la raíz para que la corrosión dentro del mismo haya ido en aumento y esto a su vez ha causado la abertura del pase de agua entre este tanque y el tanque 3.

Ahora bien, todo lo antes mencionado se valida al ver el comportamiento de la figura 4.13 que muestra los valores de concentración para este tanque obtenidos donde se encuentran muy por debajo de los límites de especificación. Por otro lado, las graficas de temperaturas

mostradas en las figuras 4.14 y 4.15 indican el intento de controlar dichos aumentos súbitos de temperatura.

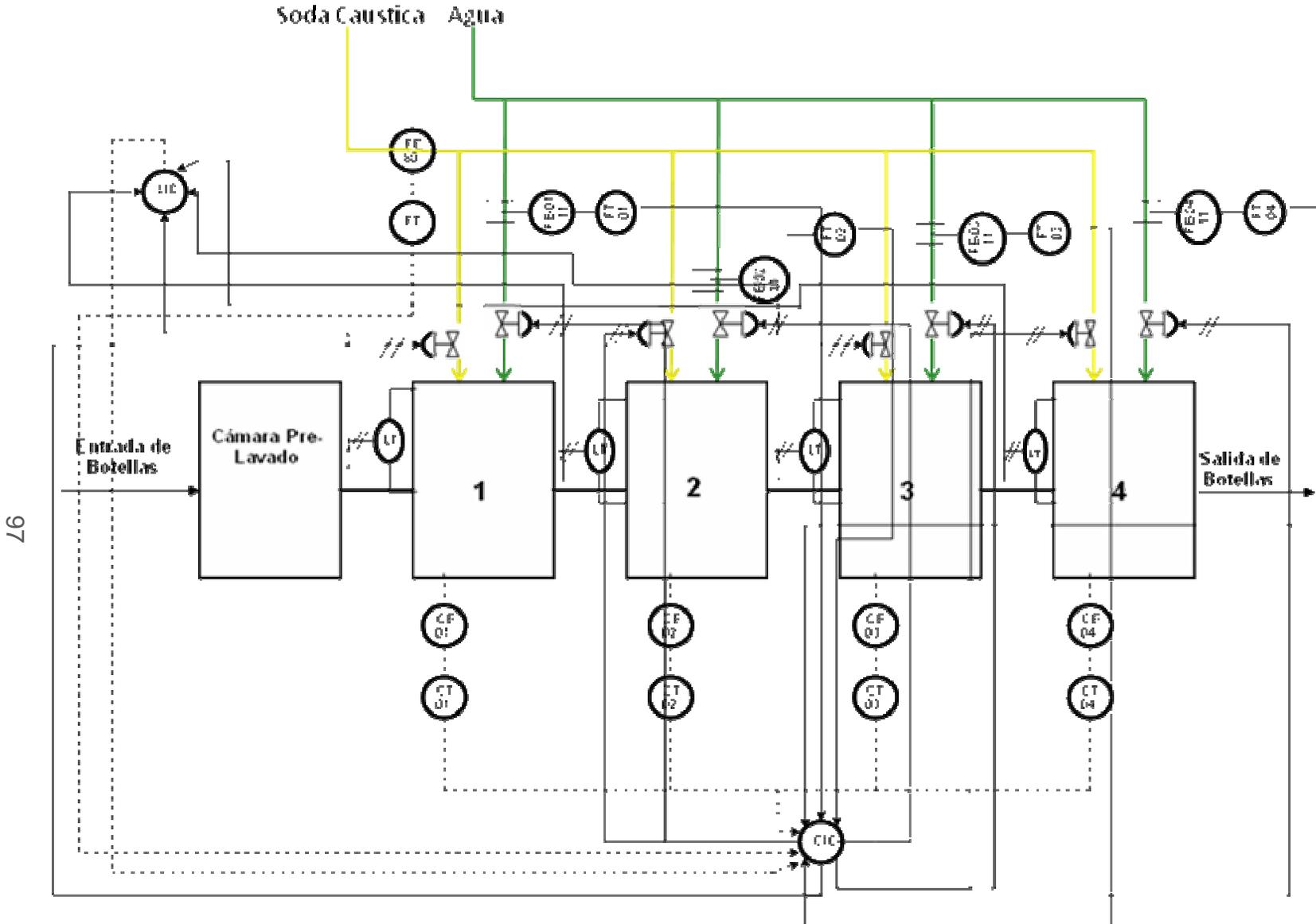
Es importante mencionar que durante este estudio, se realizaron pruebas para determinar la razón de dicho aumento pero no fue posible encontrar respuesta a esta causa, la válvula que permite el paso de vapor a este tanque se encuentra condenada, es decir no permite bajo ninguna circunstancia el paso de vapor al tanque, además se verificó con las compuertas del tanque abiertas y éste completamente vacío, la posible existencia de fuga del serpentín, no hallándose fuga alguna.

En la figura 4.16, se evidencia claramente la causa de que la variable no se mantenga dentro de especificación y es los contantes vaciados por turno que se realizan. Ocasionando esta medida, que las botellas pasen por el tanque sin tener en muchas oportunidades el último contacto con soda y menos con agua.

4.1.4 Establecer un sistema automático de control para el sistema de lavado

Para el control del sistema se eligió un PLC para controlar la variable de concentración y conectado por relación a los sensores de los niveles de los tanques. De esta manera todas las variables que influyen en cualquier tipo de perturbación, estarían conectadas. El software a instalar para ambos PLC's se basaría en los comandos de respuesta para eliminar el error en el momento en que aparezca.

En la figura 4.18, se muestra el diagrama de tuberías instrumentación para las tuberías y la conexión del sistema automatizado, en el se muestran las entradas y las salidas que posee cada controlador.



97

Figura 4.18 Diagrama de tuberías e instrumentación de propuesta de automatización para lavadora de botellas

Donde,

FE 80= Medidor magnético de flujo.

FE-01 11= Medidor placa y orificio para TQ1.

FE-02 11= Medidor placa y orificio para TQ2.

FE-03 11= Medidor placa y orificio para TQ3.

FE-04 11= Medidor placa y orificio para TQ4.

CE 01= Elemento primario de conductividad para TQ1.

CE 02= Elemento primario de conductividad para TQ2.

CE 03= Elemento primario de conductividad para TQ3.

CE 04= Elemento primario de conductividad para TQ4.

FT= Transmisor de flujo para medidor electromagnético.

FT 01= Transmisor de flujo para placa y orificio TQ1.

FT 02= Transmisor de flujo para placa y orificio TQ2.

FT 03= Transmisor de flujo para placa y orificio TQ3.

FT 04= Transmisor de flujo para placa y orificio TQ4.

CT 01= Transmisor de sensor de conductividad para TQ1.

CT 02= Transmisor de sensor de conductividad para TQ2.

CT 03= Transmisor de sensor de conductividad para TQ3.

CT 04= Transmisor de sensor de conductividad para TQ4.

LT= Transmisor de nivel con flotador externo.

CIC= Controlador indicador de conductividad.

LIC= Controlador indicador de nivel.

Además de todos estos equipos, la propuesta cuenta con 8 válvulas de control de operación neumática, dos por cada tanque, una por cada corriente de agua y soda de alimentación.

Ahora bien, la propuesta tendrá dos controladores, uno de ellos (que será el principal) tomará decisiones de acuerdo a las mediciones de

conductividad que arrojen cada uno de los sensores de los tanques. Éstos sensores estarán conectados a transmisores los cuales convertirán la señal emitida por el sensor en una lo suficientemente intensa para enviarla al controlador. El controlador de conductividad además, estará conectado a sensores de flujo para la soda y agua, ya que estas variables pueden variar con el tiempo e influir en la variación de la variable controlada que es el % de concentración de soda.

Por otro lado, y para optimización del proceso, la propuesta contará con otro controlador, pero de nivel. El cual, mantendrá dentro de los parámetros exigidos los niveles de cada uno de los tanques. Este controlador estará conectado en red con el de conductividad, para que exista una comunicación y enlace de variables en todo el sistema.

El controlador de conductividad contará con 10 entradas, y por ser un controlador lógico programable, se podrán crear todas las combinaciones necesarias para mantener el proceso en control. Los valores que se obtuvieron en el capítulo 3 de la tabla 3.6 serán los valores de referencia para el sistema. Éste, tendrá 8 entradas de salida que corresponderán a la acción final de control, como lo son las válvulas, en este caso dos en cada tanque una de soda y una de agua.

Las entradas del controlador de nivel serán 4, correspondientes a cada uno de los transmisores de nivel y poseerá una sola salida que será la de comunicación con el controlador de conductividad.

Los niveles podrán ser modificados de forma manual por el operador en caso de que los valores fluctúen. Esto, ya que como se evidenció en el

punto anterior que los niveles pueden manejarse dentro de parámetro, exceptuando al tanque 4, por la situación especial en la que se encuentra.

En cuanto a inversión, será necesario hacer una gran inversión pues no se posee ninguno de estos equipos, sin embargo, la inversión disminuirá los tiempos de parada por falta de % de concentración de soda en la lavadora, así como también aumentar la capacidad del proceso.

4.2 CONCLUSIONES.

- 1.- La falta de conocimiento de los flujos de las variables afectan la adecuación de % de concentración de soda a los tanques.
- 2.- Los valores de temperatura de los termómetros de los tanques no son lecturas confiables.
- 3.- La temperatura del panel para los tanques 1, 2 y 3 no se aleja de manera notoria de las especificaciones exigidas por la planta.
- 4.- La variable operacional que se encuentra en mayor desviación es el % de concentración de soda para el tanque 1 y 4.
- 5.- La capacidad del proceso es muy variante lo que ocasiona que este fuera de control.
- 6.- Los límites de control calculados no coinciden con los límites establecidos por la planta.
- 7.- La propuesta de automatización controlara el error, permitiendo que en todo momento el proceso se mantenga en control.

4.3 RECOMENDACIONES

- 1.- Realizar estudio minucioso de condiciones de temperatura del tanque 4.
- 2.- Calibrar los termómetros, manómetros, PT-100 y válvulas de vapor cada 6 meses.
- 3.- Realizar limpieza profunda de la lavadora mensualmente y validar tiempos de llenado para verificar que no existan incrementos o decrementos del flujo.
- 4.- Realizar estudio para el diseño del sistema de control a implementar así como la elección del tipo de control (derivativo o integral derivativo).
- 5.- Revisar las especificaciones de cada tanque para % de concentración de soda y temperaturas sugeridas por el fabricante para su aplicación en el sistema.
- 6.- Invertir en la construcción o adecuación de un tanque con el volumen de NaOH con concentración de 50% para facilitar la operación del lavado de botellas.
- 7.- Realizar análisis de costos a la propuesta realizada.
- 8.- Estudiar el diseño de sistema de control por cascada o relación.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- 1.- Aray, M. *Evaluación de velocidad, tiempo de contacto con soda y mantenimiento anual de la lavadora Línea 4*. Barcelona: Autor.
- 2.- Orellana, A. (2008). *Mejoramiento de la calidad del proceso de lavado en línea de envases domésticos de gas licuado de petróleo, en planta de envasado de abastible* [Tesis en línea]. Universidad Técnica Federico Santa María, Chile. Consultada el 11 de febrero de 2010 en: <http://www.monografias.com/trabajos-pdf/mejoramiento-calidad-lavado-envases-gas/mejoramiento-calidad-lavado-envases-gas.shtml>
- 3.- Omaña, H. (2004). *Evaluación del sistema suavizador y sistema de enfriamiento de una planta de vidrios laminados de seguridad*. Tesis de Grado. Universidad de Oriente, Puerto La Cruz.
- 4.- Pertejo, L. (1987). *Evolución de las soluciones causticas de las lavadoras de botellas en la industria del embotellado de bebidas carbónicas, tratamientos de regeneración de las mismas* [Tesis en línea]. Universidad Autónoma de Madrid, España. Consultada el 12 de febrero de 2010 en: http://www.cibernetia.com/tesis_es/CIENCIAS_TECNOLOGICAS/INGENIERIA_Y_TECNOLOGIA_QUIMICAS/PROCESOS_QUIMICOS/7
- 5.- GUNG HO C. A.(2008). *Principios Básicos de Lavadora de Botellas*.
- 6.- PEPSI-CO INC. (2004), Manual de Calidad. Volumen 1.

- 7.- Barry- Wehmiller (1999). *Manual de Operación y mantenimiento con el listado de partes.*
- 8.- <http://www.monografias.com/trabajos11/valvus/valvus.shtml>
- 9.- PEPSI-CO INC. (2004), Manual de Calidad. Volumen 2.
- 10.- Felder, R. (2004). *Principios Elementales de los Procesos Químicos.* (3^{era} ed.). Mexico: Limusa.
- 11.- Ogata, K. (2007). *Ingeniería de Control Moderna.* (4^{ta} ed.). Madrid: Pearson Prentice Hall.
- 12.- [http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema de control.](http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_control)
- 13.- “Control Automático de Procesos: Perspectiva histórica”:
<http://www.herrera.unt.edu.ar./controldeprocesos/regimen/ToPa.pdf>.
- 14.- [http://es.wikipedia.org/wiki/proporcionalintegralderivativo.](http://es.wikipedia.org/wiki/proporcionalintegralderivativo)
- 15.- “Controlador Lógico Programable”:
[http://es.wikipedia.org/wiki/ControladorL%C3%B3gico_programable.](http://es.wikipedia.org/wiki/ControladorL%C3%B3gico_programable)
- 16.- “Manual de control estadísticos de procesos”
- 17.- Cermeño, J. (2003). *Estadística aplicada y diseño de experimentos.* (2^{da} ed.). Anzoátegui: Fondo Editorial UDO.
- 18.- “Manual de control estadísticos de procesos”
www.ilustrados.com/publicaciones/EpZKMyxq.php.
- 19.- PEPSI-CO INC. (2007). *Control Estadístico de la Calidad.*

BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL

- Pérez C., Marcos A. "Control Systems Principles" División de Electrónica y Computación. Universidad de Guadalajara, Mexico.
- Mendiburu D., Henry A. "Instrumentación Virtual Industrial" Primera edición, Editorial Indecopi, Perú (2006).
- Smith, Carlos A. "Control Automático de Procesos" Primera Edición, Editorial Limusa, Mexico (1991).

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y

ASCENSO:

TÍTULO	PROPUESTA DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO DE AGUA Y SODA CAUSTICA AGREGADOS A LOS TANQUES DE UNA LAVADORA DE BOTELLAS DE VIDRIO RETORNABLE DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE REFRESCO
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
YANESKA MARÍA MACERO AVIS	CVLAC: 17.910.160 EMAIL: yaneskamacero.11@gmail.com
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

Sistema, Control, Automatizado, Agua, Soda Caustica, Tanques,
Lavadora de botellas de vidrio, Refresco

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÁREA	SUBÁREA
<u>Ingeniería y Ciencias Aplicadas</u>	<u>Ingeniería Química</u>

RESUMEN (ABSTRACT):

En el presente trabajo se propuso un sistema de control automatizado de agua y soda caustica agregados a los tanques de una lavadora de botellas de vidrio retornable de una planta productora de refresco. Para ello, se recopiló información de las fallas del proceso, de las variables operacionales, las fallas presentadas y los procedimientos de control. Se caracterizaron las corrientes involucradas en el proceso de lavado mediante balances de materia en los tanques 1, 2, 3 y 4. Además, se determinaron las desviaciones de las variables operacionales actuales del proceso de lavado. Se identificaron las causas que influyen sobre las variables del sistema y se estableció un sistema automático de control. Se llevó a cabo el estudio de los límites de control estadísticos del proceso para cada una de las variables en cada uno de sus tanques, observándose, que los valores obtenidos no coinciden con los límites de especificación exigidos por la empresa en el 93,75% de los casos. Se evidenció que la falta de conocimiento de los flujos de las variables afectan la adecuación del porcentaje de concentración de soda a los tanques, así como también que la variable operacional que se encuentra en mayor desviación es el porcentaje de concentración de soda para el tanque 1 y 4. La propuesta establecida de automatización, basada en la inclusión de un PLC e incluyendo medidores de las variables de cada uno de los tanques controlará el error ocasionado por las fluctuaciones de concentración de soda a lo largo del tiempo, permitiendo que en todo momento el proceso se mantenga en control, aumentando su capacidad.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**CONTRIBUIDORES:**

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
Raven C, Hernan R.	ROL	CA	AS-X	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Salas, Yraima	ROL	CA	AS	TU	JU-X
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Arias, Ronald	ROL	CA	AS	TU	JU-X
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2011	11	11
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE: SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**ARCHIVO (S):**

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
Tesis.SistemadeControlAutomatizado.doc	Application/msword

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H I J K L
M N O P Q R S T U V W X Y Z . a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z . 0 1 2
3 4 5 6 7 8 9 .

ALCANCE

ESPACIAL: PEPSI-COLA VENEZUELA, C.A (OPCIONAL)TEMPORAL: 3 meses (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero Química

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pre-Grado

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de Química

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente, Núcleo Anzoátegui.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**DERECHOS**

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de trabajos de grado:

“Los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la

Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados para otros fines

con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá

participarlo previamente al Consejo Universitario, para su Autorización”.

AUTOR 1

Yaneska M. Macero A.

AUTOR 2

AUTOR

TUTOR

Hernan R., Raven C.

JURADO 1

Yraima Salas

JURADO

Ronald Arias

POR LA SUBCOMISION DE TESIS
