

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN DE ADITIVOS UTILIZADOS EN EL PROCESO DE LAVADO DE BOTELLAS RETORNABLES EN CERVECERÍA POLAR. DISEÑO DEL EQUIPO PILOTO DE LAVADO PARA LA EVALUACIÓN DE ADITIVOS A NIVEL DE LABORATORIO

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Kawka D., Viktor.
Para optar al Título
de Ingeniero Químico

Caracas, 2009

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN DE ADITIVOS UTILIZADOS EN EL PROCESO DE LAVADO DE BOTELLAS RETORNABLES EN CERVECERÍA POLAR. DISEÑO DEL EQUIPO PILOTO DE LAVADO PARA LA EVALUACIÓN DE ADITIVOS A NIVEL DE LABORATORIO

TUTORES: Lic. Carolina Wehrmann (Tutora Industrial)
Profesor Armando Vizcaya (Tutor Académico)

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Kawka D. Víktor.
Para optar al Título
de Ingeniero Químico

Caracas, 2009

Kawka D. Viktor V.

EVALUACIÓN DE ADITIVOS UTILIZADOS EN EL PROCESO DE LAVADO DE BOTELLAS RETORNABLES EN CERVECERÍA POLAR. DISEÑO DEL EQUIPO PILOTO DE LAVADO PARA LA EVALUACIÓN DE ADITIVOS A NIVEL DE LABORATORIO

Tutor Académico: Prof. Armando Vizcaya. Tutora Industrial: Lic. Carolina Wehrmann. Tesis. Ciudad, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. 2009, n° pág. 152

Palabras Claves: ADITIVOS, SOLUCIÓN DE LAVADO, BOTELLAS RETORNABLES, EQUIPO PILOTO, CONTROL DE CALIDAD.

Resumen

En la industria cervecera el control de calidad es una de las actividades más importantes que se llevan a cabo día a día, la búsqueda de la mejora continua en sus procesos y materias primas es fundamental para ofrecer productos de excelente calidad en un mundo altamente competitivo. El presente trabajo se realiza con la finalidad de evaluar nuevos aditivos de la solución de lavado de botellas retornables y compararlos con los actualmente utilizados para este fin. Además se presenta una propuesta de mejora, en el diseño del equipo utilizado para la evaluación de estos aditivos a nivel de laboratorio que permitirá simular e incluir el efecto mecánico de lavado producido por los sistemas de inyección en las lavadoras a escala industrial.

Caracas, Junio 2009

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Química, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Víktor Kawka Díaz, titulado:

“Evaluación de Aditivos Utilizados en el Proceso de Lavado de Botellas Retornables en Cervecería Polar. Diseño del equipo piloto de lavado para la evaluación de aditivos a nivel de laboratorio”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Químico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

Prof. Javier Acosta
Jurado

Prof. Trino Romero
Jurado

Prof. Armando Vizcaya
Tutor Académico

Lic. Carolina Wehrmann
Tutor Industrial

DEDICATORIAS

A mis queridos padres Maria Díaz de Kawka y Pedro Vicente Kawka por todo su amor, sus enseñanzas, sus consejos y sus sacrificios a lo largo de todos estos años para que sus hijos logren todas sus metas propuestas y sigan siempre por buen camino. No existen palabras para describir cuán importantes son para mi. A ustedes les dedico mi vida.

A mi hermanita Vikmar por todos los bonitos momentos que compartimos desde niños, por ser una gran hermana, amiga y consejera tanto en las alegrías como en las tristezas, con mucho cariño te dedico este trabajo.

Viktor Vicente Kawka Díaz

AGRADECIMIENTOS

He reunido en mi haber personas maravillosas, grandes amigos, duras enseñanzas, valiosos recuerdos que de una u otra manera me han llevado a este momento en mi vida, ya sea porque no pueda colocarlos a todos y no se vean nombrados en estas hojas sabrán que forman un recuerdo imborrable en mi memoria...

Agradezco...

A Dios todopoderoso que siempre me acompaña.

A la Universidad Central de Venezuela por darme la oportunidad de pertenecer a esta gran familia orgullosamente llamada Ucevistas.

A mis tutores, Lic. Carolina Wehrmann y el Prof. Armando Vizcaya por su dedicación y guía para poder llevar a cabo este trabajo. Les estaré eternamente agradecido.

A mis padres y a mi hermana por todos los momentos vividos.

A las familias Barroeta Campins y López Zerpa por su apoyo incondicional durante toda la carrera, por tratarme como uno más de la familia. Mil gracias los aprecio mucho.

A mis tíos Javier, Miryam, Gerlando, Tulio, Betty, Heinrich que siempre estuvieron pendientes de nuestros progresos, apoyándonos tanto intelectualmente como académicamente desde nuestros inicios. Gracias tío Javier por todos los libros que me obsequiaste a pesar de las dificultades económicas, los atesorare toda la vida.

A todos los miembros integrantes de los Laboratorios Corporativo, y de Calidad y Envasado por darme la oportunidad de trabajar junto a ustedes. Gracias por sus enseñanzas y la experiencia vivida.

A mi gran amigo Eduardo López “Waldo” por siempre estar presente en las buenas y en las malas. Te quiero mucho hermano.

A mis compañeros pasantes: Carlos, Mary, Ximena, Jennifer, Raúlín, María Gracia y también al loco de Antonio por los momentos alegres que vivíamos a diario en el comedor.

A nuestros profesores que construyeron los pilares fundamentales de nuestra formación como ingenieros.

A los Ingenieros de Empresas Polar: Alexis Díaz y Alexander Serra por su guía en los aspectos técnicos de ingeniería en la industria cervecera.

Al señor Armando del Laboratorio de Operaciones Unitarias, su dedicación al trabajo, el servicio a los demás y su conocimiento es digno de admiración. Usted se merece un honoris causa en ingeniería espero que algún día se haga realidad.

A mi plumífera, verde y eterna compañera CoyaK por hacerme reír todos los días.

Ustedes han sido cada uno a su estilo un ejemplo de alegría y admiración para mí por eso....

Mil Gracias!!!

Viktor Vicente Kawka Díaz

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
OBJETIVOS	3
Objetivos Generales	3
Objetivos Específicos.....	3
CAPITULO II: ANTECEDENTES	4
CAPITULO III: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	6
PROCESO DE ENVASADO DE BOTELLAS RETORNABLES EN CERVECERÍA POLAR	6
LAVADO DE BOTELLAS RETORNABLES.....	9
Principios básicos del lavado de botella retornables	9
Tiempo de contacto	9
Efecto Químico	10
Temperatura	10
Efecto Mecánico.....	11
LAVADORA DE BOTELLAS.....	11
Tipos de lavadoras de botellas.....	12
TIPOS DE LAVADORAS DE BOTELLAS CERVECERÍA POLAR PLANTA LOS CORTIJOS	13
Proceso de lavado de botellas en Cervecería Polar	14
Soluciones detergentes	17
Detergencia en superficies sólidas	17
Tipos de sucios presentes en las botellas retornables	19
Solución detergente de lavado en las botellas retornables.....	20
Tipos de aditivos utilizados en la solución de lavado	21
SUCIO ESTÁNDAR Y EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LAVADO	22
BOTELLAS DE VIDRIO RETORNABLES.....	23
FENÓMENO DE DESGATE EN BOTELLAS RETORNABLES	23
Scuffing.....	24
Corrosión por ataque químico en la superficie de las botellas de vidrio retornables.....	25
MÉTODO Y HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS.....	26
HERRAMIENTAS DE ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS	27
HERRAMIENTAS DE ESTADÍSTICAS INFERENCIAL	28
CAPITULO IV: MARCO METODOLÓGICO	33
METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE ADITIVOS	33
EFICIENCIA DE LAVADO	35

RAYADO Y PÉRDIDA DE MASA.....	37
RESISTENCIA DEL PIROGRABADO.....	41
ESTABILIDAD DE LA ESPUMA.....	42
EVALUACIÓN DE COSTOS Y COMPARACIÓN GENERAL DE LOS ADITIVOS.....	43
DISEÑO PRELIMINAR DEL EQUIPO SIMULACIÓN DE EFECTO MECÁNICO POR INYECCIÓN.....	44
CAPITULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	47
PRUEBA DE EFICIENCIA DE LAVADO.....	47
PRUEBA DE RESISTENCIA DEL PIROGRABADO.....	50
PRUEBA DE ANILLO DE RAYADO Y PÉRDIDA DE MASA.....	51
PRUEBA DE ESTABILIDAD DE LA ESPUMA.....	55
EVALUACION DE COSTOS.....	58
COMPARACIÓN GENERAL DE LOS ADITIVOS.....	59
SISTEMA DE SIMULACIÓN DEL EFECTO MECANICO DE LAVADO.....	61
Bases y criterios de diseño.....	61
Características recomendadas del proceso de tratamiento.....	61
Materiales de construcción.....	62
Descripción General del equipo.....	63
Descripción y Características del Tanque de Lavado.....	65
Descripción y características del Sistema de inyección.....	67
Descripción y características del equipo hidroneumático.....	69
Descripción y características la válvula de control.....	70
Descripción y características del motoreductor.....	71
Descripción de los demás componentes del equipo.....	72
Descripción y características del PLC (Programable Logic Controller).....	73
Descripción del proceso de lavado para la programación del PLC.....	75
Configuración de los interruptores de señales de entradas del PLC en proceso de lavado del equipo.....	76
Instructivo de operación del equipo proceso de lavado a nivel de laboratorio.....	83
CAPITULO VI: CÁLCULOS DE DISEÑO.....	89
Consideraciones y datos adicionales.....	107
Materiales y equipos.....	108
Equipos Seleccionados para el equipo de simulación de lavado a nivel de laboratorio.....	110
CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	121
CAPITULO VIII: APÉNDICES.....	¡Error! Marcador no definido.
CAPITULO IX: BIBLIOGRAFÍA.....	125

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Proceso general de envasado de botellas retornables en Cervecería Polar C.A.	8
Figura 3.2 Circulo Cinagético: Variables influyentes en el proceso de lavado.....	9
Figura 3.3 Lavadora de botellas acabado simple	12
Figura 3.4 Lavadora de botellas acabado doble	13
Figura 3.5 Mecanismo de carga de botellas	14
Figura 3.6 Esquema de la lavadora de botellas retornable Planta los Cortijos.....	15
Figura 3.7 Sistema de inyección de soda Planta los Cortijos.....	16
Figura 3.8 Mecanismo de descarga de botellas.....	17
Figura 3.9 Porcentaje de costos de los componentes de una paleta de cerveza.....	23
Figura 3.10 Roce entre botellas y bandas en las líneas de envasado.....	24
Figura 3.11 Nivel de anillo de rayado.....	25
Figura 3.12 Proceso de deterioro en botellas retornables.....	26
Figura 3.13. Histograma de Frecuencia y diagrama de caja (Realizado con software Minitab 14 ®) ...	28
Figura 3.14 Regiones o intervalos de rechazo y aceptación.....	31
Figura 4.1 Equipo de simulación de lavado por inmersión	34
Figura 4.2 Metodología empleada para la determinación de la eficiencia de lavado a nivel de laboratorio mediante Sucio Estándar.....	36
Figura 4.3 botellas impregnadas con sucio estándar	37
Figura 4.4 Metodología para la evaluación del rayado y pérdida de masa (Libretti 2005).....	40
Figura 4.5 Metodología para la evaluación de la estabilidad de la espuma	43
Figura 5.1 Intervalos de confianza para la eficiencia de lavado obtenidas por aditivo	48
Figura 5.2. Comprobación de los supuestos de Normalidad, Varianza constante e Independencia.....	49
Figura 5.3 Resistencia del Pirograbado secciones de botellas.....	51
Figura 5.4 Resumen estadístico descriptivo de la población de botellas seleccionadas aleatoriamente.....	52
Figura 5.5 Comparación del anillo de rayado generado según el aditivo utilizado.....	52
Figura 5.6 Extrapolación del anillo de rayado generado según el aditivo utilizado.....	53
Figura 5.7 Pérdida de masa en las botellas según el aditivo utilizado.....	54
Figura 5.8 Relación pérdida de masa - anillo de rayado.	55
Figura 5.9 Tiempo de colapso de espuma por el Método NIBEM.....	57
Figura 5.10 Esquema básico del Equipo de lavado a nivel de laboratorio	64
Figura 5.11 Vista en 3D del tanque de inmersión.	65
Figura 5.12 Ubicación de los detectores de posición	66
Figura 5.13 Sistema de inyección del Equipo de lavado a nivel de laboratorio	68

Figura 5.14 Esquema del proceso de lavado completo del equipo.....	77
Figura 5.15 Posición de inyección he inmersión del tren de copas.....	78
Figura 5.16 Diagrama de flujo del programa proceso lavado con programación de giro en un sentido... ..	79
Figura 5.17 Diagrama de flujo del proceso de lavado con programación de giro en ambos sentidos....	80
Figura 5.18 Esquema del proceso de reseteo o finalización del proceso de lavado	81
Figura 5.19 Diagrama de flujo del programa de reseteo o finalización del proceso de lavado.....	82
Figura 5.20. Esquema y diagrama de flujo del programa de parada de emergencia del proceso de lavado.....	89
Figura 6.1 Dimensiones de las caras del tanque de lavado.	90
Figura 6.3 Vista lateral del equipo de lavado y sus accesorios.	96
Figura 6.4 Dimensiones generales del equipo respecto al nivel del suelo.....	102
Figura 6.5 Dimensiones generales del armazón de inyección.....	105
Figura C.1. Rugosidad relativa de los materiales de las tuberías	140
Figura C.2. Coeficientes de resistencia para cambios en la sección transversal	141
Figura C.3. Coeficientes de resistencia para válvulas	143
Figura C.4. Coeficientes de resistencia para codos y conectores	144
Figura C.5. Factor J para cálculo de pérdida de cabezal en distribuidores.....	145

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1. Concentración de aditivo recomendado por los Proveedores.....	35
Tabla 4.2. Condiciones de operación del Proceso de Lavado	39
Tabla 5.1 Resultados Generales Eficiencia de lavado.....	47
Tabla 5.2 Resultados estadísticos obtenidos.	49
Tabla 5.3 Evaluación del tiempo de colapso de la espuma en descender 30 mm para cada aditivo	56
Tabla 5.4 Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales.	57
Tabla 5.5 Costos de adquisición anuales de aditivos.	58
Tabla 5.6 Porcentaje de mejora o desmejora por factor evaluado respecto al Stabilon WT.	59
Tabla 5.7 Matriz ponderada de comparación.	60
Tabla 5.8. Resistencia de materiales a ambientes corrosivos.....	63
Tabla 6.1 Resumen de consideraciones y datos de diseño	108
Tabla 6.2 Lista de materiales de construcción	109
Tabla 6.3 Hoja de especificación del motoreductor.	110
Tabla 6.4 Hoja de especificación del Filtro de malla.	111
Tabla 6.5 Hoja de especificación del Sistema hidroneumático.....	112
Tabla 6.6 Hoja de especificación de la válvula solenoide.....	113
Tabla 6.7 Hoja de especificación de las resistencias electrosumergibles.....	114
Tabla 6.8 Hoja de especificación del controlador de temperatura.	115
Tabla 6.9 Hoja de especificación del PLC.	116
Tabla 6.10 Hoja de especificación de los reles de contacto.	117
Tabla 6.11 Hoja de especificación de los detectores de posición.....	118
Tabla 6.12 Hoja de especificación del manómetro de Bourdon.....	119
Tabla 6.13 Hoja de especificación del sello mecánico rotativo.	120
Tabla B.1 Eficiencia de lavado utilizando el aditivo INTEGRA HD®	133
Tabla B.2 Eficiencia de lavado utilizando el aditivo Stabilon WT®	134
Tabla B.3 Eficiencia de lavado utilizando el aditivo VIDRAL II-LST®	135
Tabla B.4 Anillo de rayado en las botellas utilizando el aditivo VIDRAL II-LST®.....	136
Tabla B.5 Pérdida de masa en las botellas utilizando el aditivo VIDRAL II-LST®	137
Tabla C.1. Dimensiones de tubos de acero calibre 80.....	138
Tabla C.2. Dimensiones de tubos de acero calibre 40.....	139
Tabla C.3. Longitudes equivalentes en diámetro de tuberías para válvulas.....	142

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Empresas Polar es una corporación líder en los mercados de bebidas y alimentos, cuya orientación fundamental es brindar bienestar a consumidores, clientes, distribuidores, suplidores, trabajadores, accionistas y a la sociedad en general; por tal motivo la constante supervisión que asegura la calidad integral de todos sus productos, desde las materias primas hasta el producto final, es una de las actividades más importantes que se llevan a cabo a diario en todas sus plantas de producción.

Uno de los pilares fundamentales de esta corporación es Cervecería Polar C.A., la cual utiliza, en su mayoría, botellas retornables para el transporte y distribución de cerveza, sin embargo el costo de estos contenedores, además del costo asociado al lavado de los mismos, es considerablemente elevado y en conjunto representa mas del cuarenta por ciento del costo total de la producción de cerveza. Debido a la importancia económica que tiene el envase de vidrio retornable, Cervecería Polar realiza estudios continuos con la finalidad de mejorar las condiciones de proceso que permitan proteger y extender la vida útil de estos envases, garantizando que sus productos estén dentro de las especificaciones de calidad. En un interés por el aumento de la productividad y alcanzar los perfiles de competitividad y calidad requeridos; se realizarán una serie de estudios a nuevos aditivos químicos de la solución de lavado utilizada en las botellas retornables y se procederá a evaluarlos de manera comparativa con los actualmente utilizados en las distintas plantas de producción de cerveza y malta a nivel nacional, con respecto a los siguientes factores: Eficiencia de Lavado, Pérdida de Masa en la Botella, Anillo de Rayado, Resistencia del Pirograbado, Estabilidad de la espuma, y Costos de Aditivos; que de una u otra manera afectan tanto en la presentación del envase, calidad del producto, tiempo de vida útil, y en los costos de producción asociados. Para estos estudios sobre el efecto químico de lavado se utilizarán paquetes estadísticos de Microsoft Excel[®],

conjuntamente a los contenidos en el software estadístico Minitab 14 como herramientas de evaluación de datos, permitiendo de manera rápida y sencilla diagnosticar, evaluar y proponer acciones para el mejoramiento del proceso de lavado.

Finalmente, el equipo utilizado actualmente en Cervecería Polar para realizar la mayoría de las pruebas antes mencionadas solo evalúa el efecto químico de lavado que producen estos aditivos a una temperatura establecida. Las máquinas de lavado industriales también usan un sistema de inyección de la solución de lavado que ayuda a que la limpieza sea mas efectiva debido al efecto mecánico producido, es por tanto deseable poder evaluar el efecto combinado (químico-mecánico) para tener datos mas precisos al momento de decidir o no un cambio del aditivo utilizado, por tal motivo, se diseñará un equipo que permita simular y evaluar el uso de inyectores en el proceso de lavado, mediante el cual se podrán hacer futuros estudios con el objetivo del mejoramiento continuo del proceso de lavado en general.

OBJETIVOS

Objetivos Generales

- (a) Evaluar aditivos de la soda cáustica utilizados en el proceso de lavado de botellas retornables.
- (b) Diseñar el equipo piloto de lavado para la evaluación de aditivos a nivel de laboratorio.

Objetivos Específicos

- (a) Establecer los fundamentos prácticos y teóricos, que definirán la base de conocimientos necesarios para la realización de este proyecto.
- (b) Evaluar los distintos aditivos seleccionados en cuanto a los factores: Eficiencia de Lavado, Pérdida de Masa en la Botella, Anillo de Rayado, Resistencia del Pirograbado, Estabilidad de la espuma, Costos de Aditivos y compararlos con los actualmente utilizados en la empresa.
- (c) Aplicar herramientas estadísticas descriptivas e inferenciales, en el análisis de datos de los distintos factores a estudiar.
- (d) Diseñar un equipo a nivel de laboratorio que permita además evaluar el efecto químico de lavado, poder simular el efecto mecánico producido por los inyectores de la máquina lavadora industrial.
- (e) Desarrollar el instructivo de operación del equipo para la evaluación futura del efecto mecánico a nivel de laboratorio.

CAPITULO II

ANTECEDENTES

La búsqueda de la mejora continua en el proceso de lavado de botellas retornables en Cervecería Polar ha permitido la realización de varios trabajos de investigación y desarrollo afines al tema en cuestión. Se presenta a continuación un resumen de algunos de estos trabajos que servirán de apoyo para la realización del presente Trabajo Especial de Grado.

Carolina Caballero realizó en el año 2001, el Trabajo Especial de Grado titulado “*Evaluación de la eficiencia y funcionamiento de las lavadoras de botellas en las cuatro plantas de Cervecería Polar*” Presentado a la Universidad Simón Bolívar, en el cual su objetivo principal fue evaluar el funcionamiento de las lavadoras de botellas que operan en todas las plantas de Cervecerías Polar en Venezuela, así como la medición de la eficiencia de lavado a nivel industrial a partir de una preparación de sucio estándar a base de maicena y tierra infusoria. Este estudio permitió detectar que tipo de sucio era el más común según la localización geográfica de la planta Cervecera, además de errores en el procedimiento utilizado para la aditivación de la solución de lavado, y problemas de arrastre de soda e incrustaciones en las lavadoras de algunas de las plantas. Caballero recomendó una serie de medidas y procedimientos a llevar a cabo para reducir los principales problemas detectados.

Lenine T. De Sousa en el año de 2002, desarrolló el Trabajo Especial de Grado de Título: “*Mejoramiento del proceso de lavado de botellas de Cervecería Polar del Centro C.A.*”, presentado a la Universidad de Carabobo. El objetivo principal de ese proyecto fue obtener un estudio, con bases estadísticas, en el que se señalen las condiciones de operación que permitan que el proceso de lavado se lleve a cabo con mayor eficiencia y calidad. El estudio se enfocó en las variables de temperatura de operación y concentración de soda en la solución de lavado

permitiendo obtener en base a métodos estadísticos los rangos óptimos de estas variables para un mejoramiento efectivo del proceso de lavado en un 7,6% luego de aplicadas las medidas recomendadas, además se recomendó el uso de sucio estándar en base a Levadura de Cerveza como material mas acorde y similar a la mayoría de sucio presente en las botellas retornables.

Para el 2005 se realizaron dos Trabajos Especiales de Grado afines al tema el primero realizado por Maurizio Libretti de Título *“Diseño de una metodología para la evaluación de aditivos utilizados en el proceso de lavado de botellas. Evaluación de dos productos industriales.”* El autor propuso una serie de metodologías para la evaluación de aditivos para la soda cáustica enfocándose principalmente en el efecto de estos sobre la apariencia de las botellas (Anillo de Rayado y pérdida de masa), se evaluaron dos productos industriales para el lavado de botellas y un producto enmascarante del anillo de rayado. Además, se creó un tanque experimental que simula las condiciones de operación de temperatura en el lavado de las botellas retornables. El segundo trabajo fue realizado por Astrid Fra de Título *“Evaluación de aditivos en el lavado de botellas. Diseño de una metodología para la eficiencia de lavado”* donde el trabajo fue enfocado principalmente en el desarrollo de una metodología que permitiera evaluar los aditivos industriales a nivel de laboratorio, la autora integró el uso del tanque de simulación diseñado por Libretti (2005) y el sucio estándar recomendado por De Sousa (2002) para evaluar el efecto químico de lavado en la eficiencia de lavado de los aditivos para la soda cáustica.

CAPITULO III

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

PROCESO DE ENVASADO DE BOTELLAS NO RETORNABLES EN CERVECERÍA POLAR

El proceso de envasado el cual se ilustra en la figura 2.1, es la etapa subsiguiente al proceso de elaboración de cerveza, su principal objetivo es el de llenar las botellas retornables, no retornables y latas con los productos elaborados ya sea cerveza o malta, consta de diversas etapas:

(a) Despaletizado:

Los envases vacíos regresan al Centro de producción agrupados en gaveras sobre paletas de madera, estas gaveras son extraídas y colocadas en las diversas líneas de producción.

(b) Desembalado:

Las botellas son extraídas de las gaveras a través de unas máquinas desembaladoras y son colocadas en cintas transportadoras que las conducen hacia las máquinas lavadoras de botellas.

(c) Lavado:

En el proceso de lavado, los envases son sometidos a un tratamiento con detergente a altas temperaturas y luego se enjuagan con agua pura, previamente tratada. Los envases abandonan las lavadoras limpios y microbiológicamente aptos para ser llenados con la cerveza proveniente del proceso de elaboración.

(d) Sistemas de Inspección:

Al salir de las lavadoras las botellas pasan por una serie de inspectores electrónicos, que automáticamente rechazan envases de otras marcas (extraños), en

mal estado o con objetos en su interior evitando de esta manera que estos lleguen a ser incorporados al proceso de llenado.

(e) Llenado y Tapado

Luego de pasar por los inspectores de botellas vacías, los envases entran a las máquinas llenadoras, donde el producto es envasado a velocidades de hasta 2600 botellas por minuto de acuerdo al nivel de líquido indicado en cada presentación, inmediatamente pasan a la tapadora donde son cerradas herméticamente.

(f) Pasteurización

Luego de verificar el correcto tapado y nivel de líquido en el inspector de botellas llenas, y antes de abandonar la línea, el producto envasado es sometido a un proceso de pasteurización cuyo principal objetivo es evitar la posible descomposición biológica y prolongar la calidad del producto de envasado.

(g) Embalado

Mediante máquinas automatizadas se colocan las botellas en gaveras plásticas, y estas pasan nuevamente por un inspector que verifica que estén completas antes de efectuarse el proceso de paletizado y despacho.

(h) Paletizado

Las gaveras con el producto terminado son transportadas a una máquina que las agrupa en un determinado patrón y las coloca sobre una paleta de madera, finalmente, mediante montacargas las paletas son montadas en camiones para su despacho.

Paralelamente a este proceso se realiza la limpieza de las gaveras plásticas, así como también, el continuo control y supervisión de la calidad del producto envasado, con el objetivo de la detección de posibles fallas en el proceso en general y tomar las acciones necesarias para que estas sean corregidas inmediatamente, de esta manera se asegura que el producto salga al mercado con los más altos estándares de calidad.

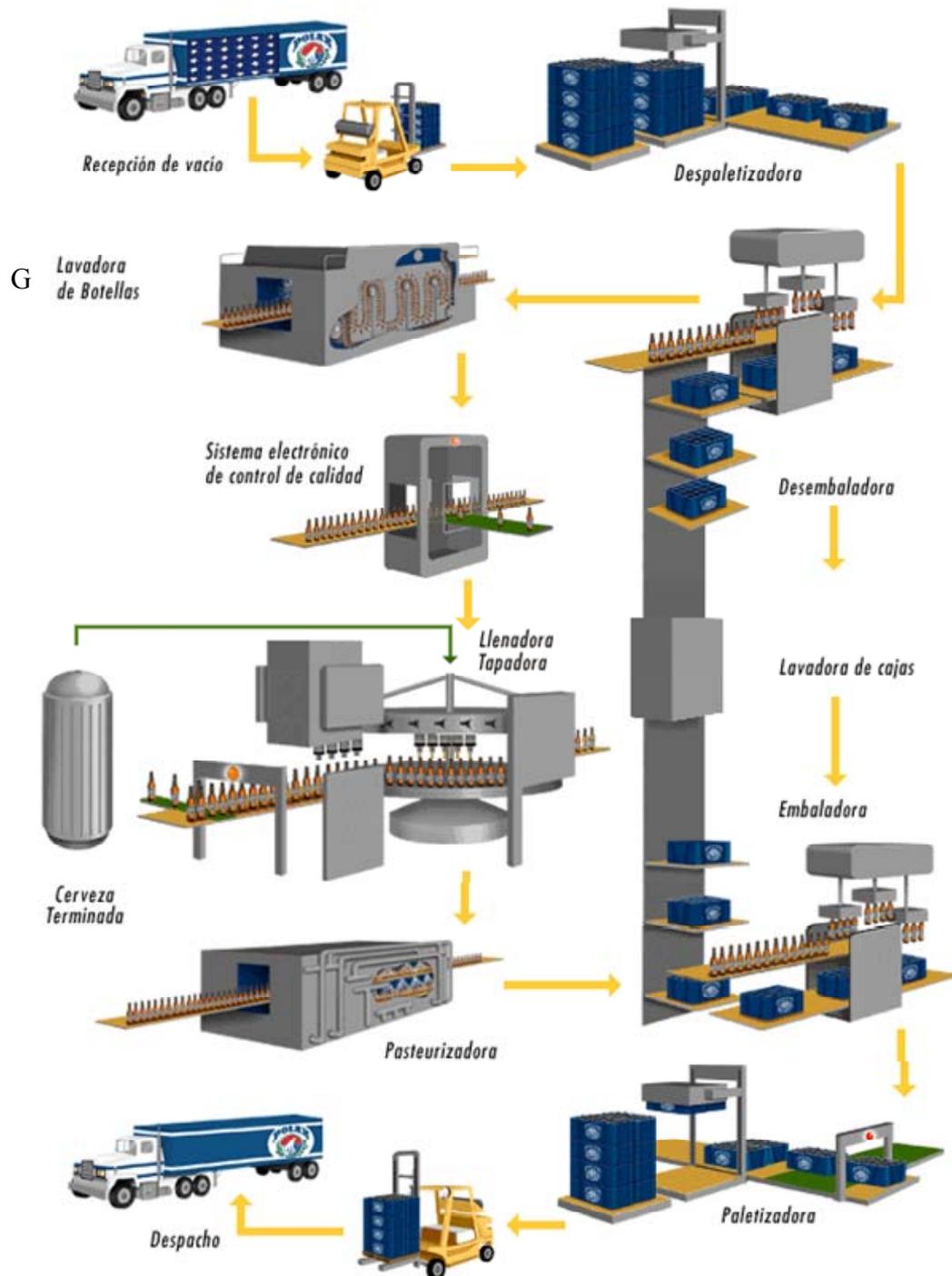


Figura 3.1 Proceso general de envasado de botellas retornables en Cervecería Polar C.A.

LAVADO DE BOTELLAS RETORNABLES

Principios básicos del lavado de botella retornables

El principal objetivo del proceso de lavado de botellas retornables, es asegurar que las botellas estén físicas y biológicamente limpias antes de pasar al proceso de llenado, (Kappele y Laishley en Broderick, 1982), para cumplir con este objetivo la lavadora debe ser capaz de remover: polvo, barro, residuos del producto, olores, etiquetas, insectos, larvas, hongos, bacterias, levaduras y cualquier otro contaminante (Jones en Browne, 2001).

El lavado de botellas está basado principalmente en el efecto combinado de cuatro factores como lo son: el tiempo de contacto, el efecto químico de la solución de lavado, el efecto mecánico y la temperatura de lavado.

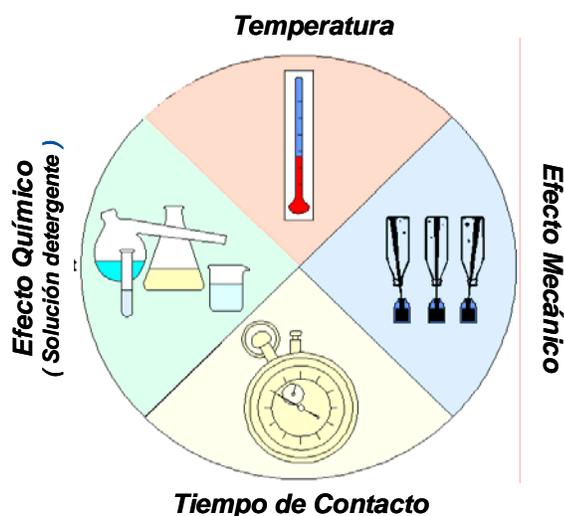


Figura 3.2 Circulo Cinético: Variables influyentes en el proceso de lavado.

Tiempo de contacto

Un mayor tiempo de contacto entre la solución de lavado y la botella, permite que esta última penetre más en el sucio obteniéndose una mayor remoción, sin embargo, deben ser evitados los tiempos de contacto prolongado debido al ataque químico corrosivo por parte de la solución de soda cáustica a la superficie del vidrio.

El tiempo ideal de lavado es una variable que se determina en base a las condiciones de proceso y para el caso de lavado de botellas retornables por inmersión, este se encuentra entre los 10 y 30 minutos (Kunze, 1999).

Efecto Químico

Generado por el uso de soluciones detergentes (Soda + agua + aditivos). El efecto químico de la solución de lavado está relacionado a su habilidad para dispersar el sucio adherido a la superficie de la botella y evitar su redeposición. Detergentes alcalinos como la soda cáustica son los generalmente utilizados en el lavado de botellas debido a sus propiedades germicidas. La eficiencia de lavado aumenta con el incremento de la concentración de soda, pero esta comienza a disminuir después que una óptima concentración es alcanzada (Kunze, 1999), este nivel óptimo depende del tipo de agente de limpieza utilizado así como también la cantidad de sucio presente en las botellas, por esta razón el detergente es usado a conveniencia, sin embargo por razones económicas es mejor utilizarlo junto a un aditivo que aumente su poder de limpieza.

Temperatura

La temperatura debe ser alta para destruir bacterias y cualquier otro microorganismo presente, como regla se tiene que un aumento de 5,5 °C incrementa el poder germicida de la solución de lavado de igual manera que un incremento de 50% en la concentración del detergente (Kunze, 1999). El efecto químico de limpieza también aumenta con el incremento de temperatura debido a que el detergente se hace más activo, acelerando las reacciones fisicoquímicas que ayudan a remover el sucio presente. Existe una menor capacidad de adhesión de algunos tipos de suciedades como consecuencia de una disminución de su viscosidad y un aumento en la solubilización de los componentes solubles de la suciedad debido al aumento de temperatura en la solución, sin embargo, también incrementa los costos energéticos asociados. Para el lavado principal de botellas de vidrio retornables la temperatura óptima recomendada está entre 80 y 83°C (Jones en Browne, 2001). Con el fin de

minimizar el choque térmico que puede causar rupturas en las botellas, esta es incrementada por pasos, la diferencia de temperatura entre los tanques de la lavadora no debe exceder los 35 °C al momento de calentar y los 23 °C al momento de enfriar. (Kunze, 1999).

Efecto Mecánico

Para separar la suciedad de la superficie de la botella se debe vencer la fuerza de adherencia entre el sucio y las paredes de la botella, por medios químicos y térmicos puede reducirse esta adhesión, pero para completar la eliminación total de la suciedad es necesario la aplicación de fuerzas mecánicas. Estas fuerzas son producidas en las máquinas lavadoras por la inyección a presión de solución de lavado a través de inyectores en el interior y exterior de la superficie de las botellas, seguidos de varias etapas de inmersión en tanques de soda a diferentes concentraciones y temperaturas, generando turbulencia al momento de vaciar y llenar la botella (efecto Dupre's) aprovechando de esta manera la energía cinética del líquido limpiador como elemento mecánicamente efectivo (Kappele y Laishley en Broderick, 1982).

LAVADORA DE BOTELLAS

La lavadora de botellas es el equipo encargado de realizar el lavado de botellas vacías antes de ser llenadas con cerveza o malta. Está diseñada para aceptar botellas de tamaños previamente especificados. El lavado se realiza por inmersión de las botellas en la solución detergente e inyectando a presión la solución en el interior de las botellas, esta doble acción favorece la eliminación del sucio más resistente. La soda cáustica en solución actúa como detergente y ejerce una fuerte acción sobre los residuos orgánicos disolviéndolos y despegando el sucio de las botellas, generalmente contiene un aditivo especial que evita la formación de espuma, la acumulación de residuos en las paredes de la máquina, la formación de películas y manchas en la paredes de la botella, dejando las botellas brillantes, transparentes, y aptas

microbiológicamente para el proceso de llenado (Kappele y Laishley en Broderick, 1982).

Tipos de lavadoras de botellas

En el mercado existen múltiples tipos de lavadoras de botellas, las diferencias de diseño se basan principalmente en el grado de énfasis que estas tengan en algunos de los principios del proceso de lavado antes mencionados. Dependiendo del arreglo en que estén localizados los puntos de carga y descargas se pueden clasificar en dos tipos básicos:

(a) Lavadoras de acabado simple

En este tipo de lavadoras la carga y descarga de botellas ocurre en el mismo lado de la máquina. Las botellas sucias ingresan en un nivel inferior y son transportadas a través de una sección de preenjuague, rociado e inyección con solución cáustica antes de entrar al tanque de lavado principal, luego continúan su camino a través de otra serie de rociadores e inyectores. Está vez utilizando agua fresca para quitar los restos de solución alcalina. Finalmente las botellas son descargadas en un nivel superior al que estas ingresaron. El corto tiempo de inmersión es compensado por un mayor efecto mecánico de lavado producido por los sistemas de inyección y rociado.

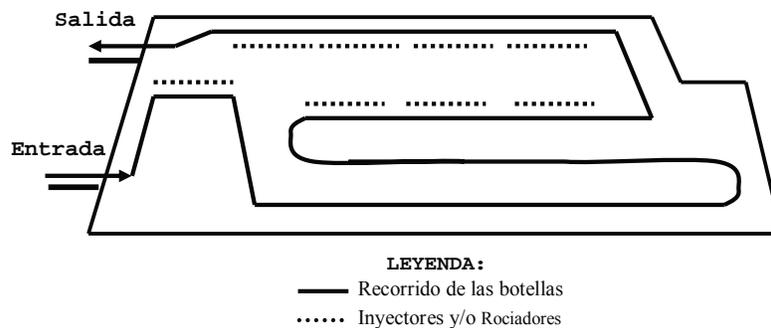


Figura 3.3 Lavadora de botellas acabado simple

Las lavadoras de acabado simple son más compactas y ofrecen beneficios en el ahorro de energía y consumo de agua, sin embargo, para evitar minimizar el riesgo de contaminación cruzada es preferido el uso de lavadoras de doble acabado.

(b) Lavadoras de acabado doble

En este tipo de lavadoras la carga y descarga de las botellas ocurren en lados opuestos de la máquina, la limpieza de las botellas se obtiene con la combinación alternada de lavado por inmersión en múltiples tanques y el efecto mecánico producido por los sistemas de inyección y rociado.



Figura 3.4 Lavadora de botellas acabado doble

TIPOS DE LAVADORAS DE BOTELLAS EN CERVECERÍA POLAR PLANTA LOS CORTIJOS

En Cervecería Polar Planta los Cortijos, se usan dos modelos de lavadoras de botellas de doble acabado, fabricadas por la empresa Barry Wehmler: la A640 y la A468, con capacidad de lavado de 1400 botellas por minuto y de 2000 botellas por minuto respectivamente. La preparación de la solución detergente se realiza en la planta de tratamiento de aguas blancas, donde la mezcla Soda-Aditivo se homogeniza y es enviada mediante un sistema de bombeo a cada una de las lavadoras de la planta. La solución detergente es diluida en los tanques de lavado utilizando agua suave de reposición (ASR). Esta agua proviene de los excedentes de los Pasteurizadores la cual es recuperada y enviada a la Planta de tratamiento de aguas blancas (PTAB), allí pasa a través de una torre de enfriamiento, luego por un filtro de arena antracita, y

seguidamente se envía a un tanque donde es tratada con Hipoclorito de Sodio (para control microbiológico) y almacenada para finalmente ser usada en las máquinas lavadoras. Esta agua es utilizada en las lavadoras para llenar los tanques de inmersión, en los rociadores de preenjuague y en los inyectores de enjuague por inyección de agua. Las dos últimas filas de inyectores de agua utilizan Agua Suave Directa (ASD), la cual es agua filtrada que se hace pasar por un intercambiador iónico, que retiene el Calcio y el Magnesio previniendo las incrustaciones calcáreas y asegurando la remoción total de la solución cáustica en las botellas enjuagadas.

Proceso de lavado de botellas en Cervecería Polar

El proceso de lavado de botellas en Cervecería Polar planta los cortijos consta de siete etapas:

(a) Carga de las botellas

Luego de ser desembaladas las botellas sucias son trasladadas a la mesa de carga y alineadas en filas sobre guías inclinadas. Mediante ganchos elevadores son levantadas y colocadas dentro de las cestas transportadoras, las cestas están fijas a un transportador interno que conduce las botellas por todo el recorrido interno de la máquina

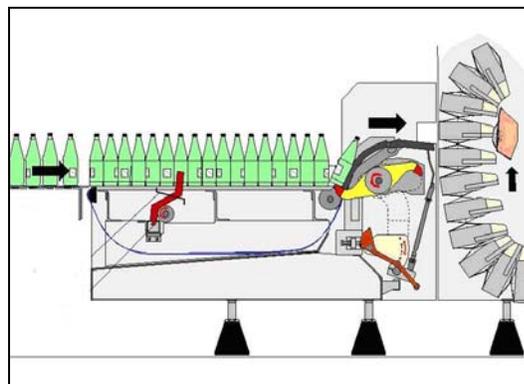


Figura 3.5 Mecanismo de carga de botellas

Krones (2003)

(b) Preenjuague :

Las botellas reciben la primera ducha de agua tibia y ligeramente cáustica, lo que permite humedecer, aclimatar y remover el grueso de los desperdicios, de esta manera se evita que las botellas ensucien excesivamente los tanques de inmersiones posteriores.

(c) Limpieza por inmersión en solución detergente:

Luego del preenjuague, las botellas pasan sucesivamente por seis tanques de lavado. En el primer tanque, se aplica un prelavado con agua suave de reposición proveniente del tanque de enjuague N° 9, en este prelavado se eliminan residuos sólidos comunes que se encuentran dentro de las botellas (pitillos, colillas de cigarro, papeles, entre otros), también se acondicionan la temperatura de las botellas para su paso a los tanques posteriores. A partir del segundo hasta el sexto tanque las botellas son sometidas a un lavado con solución cáustica caliente. El paso entre tanque y tanque tiene la finalidad de aumentar el tiempo de residencia e incrementar el efecto del lavado (Kunze, 1999). La solución de lavado es calentada paulatinamente para evitar el choque térmico que pueda ocasionar rupturas en las botellas, hasta llegar a los 80 °C, temperatura a la cual se realiza el lavado principal entre el cuarto y sexto tanque.

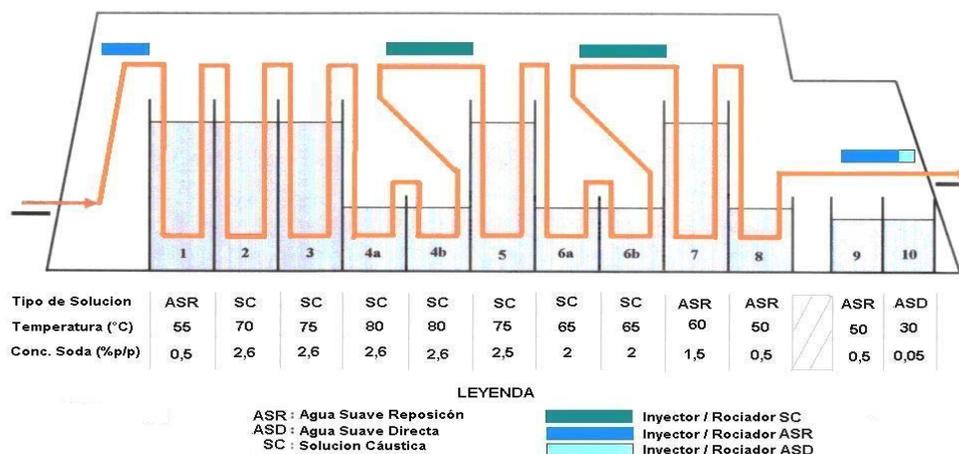


Figura 3.6 Esquema de la lavadora de botellas retornables. Planta los Cortijos.

(d) Limpieza por inyección de Soda:

En el cuarto y sexto tanque, las botellas pasan por una serie de inyectores, en los cuales se les inyecta perpendicularmente solución de lavado en su interior, eliminando los posibles residuos que aún permanezcan dentro de ellas.

El uso de inyectores conjuntamente con la inmersión alternada de las botellas en los tanques de soda, provee un mayor poder de limpieza capaz de despegar el sucio resistente que no es posible de eliminar solo con el efecto químico de lavado de la solución detergente.



Figura 3.7 Sistema de inyección de soda Planta los Cortijos

(e) Enjuague por inmersión de agua:

En este proceso las botellas pasan por los dos últimos tanques de inmersión en donde son enjuagadas con agua suave de reposición quitándole progresivamente restos de soda que le queden del lavado principal. El enfriamiento también es progresivo, la temperatura baja de 60 °C, en el séptimo tanque, hasta los 50 °C en el octavo.

(f) Enjuague por inyección de agua:

Luego de la inmersión en agua suave de reposición (ASR, Taques 7 y 8), las botellas pasan sobre otros inyectores que las rocían por dentro y por fuera con agua cada vez más fresca (ASD); en este paso se eliminan así los últimos residuos de Soda y se lleva las botellas a temperatura ambiental.

(g) Descarga de las botellas:

Finalmente luego de pasar por el enjuague final, las botellas caen por gravedad sobre unas levas de descarga que las bajan sobre el transportador que las conducen a la salida de la lavadora.

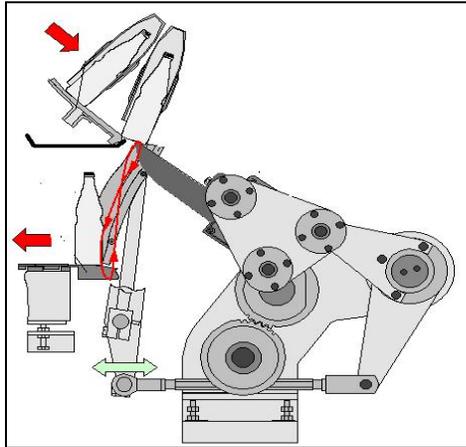


Figura 3.8 Mecanismo de descarga de botellas

Krones (2003)

SOLUCIONES DETERGENTES

Un detergente está formado por uno o varios agentes tensoactivos y una serie de complementos que ayudan a la acción de los primeros, tales como aditivos, coadyuvantes y auxiliares de presentación. El resultado final es un producto que además de producir una limpieza eficiente, ejerce un efecto de protección a la superficie a la cual se aplica, proporcionando al objeto lavado una serie de características deseadas en cuanto al color, olor y tacto. (Altmajer, 2004).

Detergencia en superficies sólidas

Se conoce bajo el término de detergencia al proceso de eliminación de sustancias indeseadas adheridas a objetos o a la piel de seres vivos, debido a la adecuada combinación de distintos efectos de limpieza que actúan sinérgicamente sobre el sustrato sucio.

De acuerdo con Wildebrett (Almajer, 2004), cuatro son los elementos esenciales que intervienen en un proceso de lavado típico:

(a) El sustrato:

Material que se desea limpiar. La facilidad de limpieza de un sustrato depende de su forma, tamaño, textura y composición química. El proceso de lavado de fibras y tejidos tiende a ser más complicado que el de las superficies duras, debido a los fenómenos de difusión de los componentes en el interior del sustrato. En general las superficies lisas se limpian mejor que las superficies rugosas y agrietadas. La hidrofobicidad del sustrato también desempeña un papel importante en el lavado, las fuerzas de adhesión entre el sustrato y la suciedad común de tipo alimentario, disminuye si el compuesto es hidrofóbico, y por el contrario aumentan si el sustrato tiene carácter hidrofílico. Por ejemplo el vidrio actúa como sustrato hidrofílico y por lo tanto es más difícil de limpiar que el plástico o el teflón los cuales carecen de puntos polares en su superficie.

(b) La suciedad:

Materias extrañas que se desean eliminar de la superficie del sustrato. La eliminación de la suciedad, no solo depende de sus interacciones específicas con la superficie del sustrato y con los componentes de la solución de lavado. Entre las suciedades líquidas oleosas, las que contienen ácidos grasos se eliminan con mayor facilidad, seguida por los glicerados neutros y los aceites minerales menos polares. Las suciedades deshidratadas son más difíciles de limpiar como consecuencia del aumento de las fuerzas de Van der Waals. En cuanto a las partículas sólidas, su estructura química define las interacciones que esta tiene con el sustrato y la fortaleza de las mismas. Cuanto mayor sea el tamaño de las partículas más fácilmente podrán eliminarse.

(c) La solución detergente:

El medio líquido que actúa sobre el sustrato para eliminar la suciedad. Los tensoactivos favorecen la detergencia disminuyendo la tensión superficial, emulsionando y/o solubilizando la suciedad. En lo que a concentración se refiere a la detergencia aumenta con la concentración del tensoactivo y alcanza un máximo en su Concentración Micelar Crítica (CMC), para suciedades grasas la detergencia aumenta a concentraciones aun superiores a la CMC debido a solubilización de la suciedad en el interior de las micelas. Los sucios de características polares son eliminados mas eficazmente utilizando tensoactivos de carácter aniónicos, mientras que las los sucios apolares se eliminan mejor con tensoactivos no-iónicos.

(d) Calidad del agua:

La dureza del agua debido a la presencia de cationes polivalentes (sobre todo de calcio y magnesio) provenientes de la propia agua de lavado, de la suciedad y/o del sustrato influyen negativamente sobre la detergencia, dando lugar a formación de sales insolubles con numerosos tipos de tensoactivos, bajo determinadas condiciones estos iones pueden llegar a reducir los potenciales eléctricos de las partículas de suciedades disueltas en la solución de lavado, provocando floculación y la redeposición de las mismas. Para evitar la pérdida de material activo se utilizan agentes que complejan o secuestran dichos iones evitando que estos formen parte de reacciones indeseadas.

TIPOS DE SUCIOS PRESENTES EN LAS BOTELLAS RETORNABLES

Cerca del 95% de las botellas lavadas contienen sucio soluble en agua, el cual es relativamente fácil de remover, sin embargo, el 5% restante contienen diversos tipos de materiales que requieren un mayor tratamiento. (Kunze, 1999). Entre los tipos de materiales contaminantes, mas comunes encontrados en las botellas a someter al proceso de lavado se encuentran:

Materiales insolubles: Trozos de papeles, bolsitas plásticas, pinturas, lacas, etiquetas, cemento, colillas de cigarrillos, pitillos entre otros.

Sustancias coloidales disueltas: Grasas y aceites, proteínas, microorganismos, larvas, hongos, mohos, sustancias adhesivas, etc.

Sustancias solubles: Generalmente residuos de bebidas y agua de lluvia.

SOLUCIÓN DETERGENTE DE LAVADO EN LAS BOTELLAS RETORNABLES

La solución detergente utilizada en el lavado de botellas retornables está compuesta principalmente de agua como solvente, Soda Cáustica (NaOH) como agente de limpieza con propiedades germicidas y aditivos que refuerzan el poder de detergencia. El principal propósito del uso de la solución de lavado, es asegurar la limpieza física, química y microbiológica de las botellas sometidas al proceso de lavado. Los requerimientos básicos que debe poseer la solución detergente para una efectiva limpieza son los siguientes (Kunze, 1999):

- (a) Habilidad de penetrar el sucio y removerlo de la superficie de la botella.
- (b) Poseer un efecto germicida o Inhibidor en el crecimiento de bacterias.
- (c) Alto poder humectante.
- (d) Rápida penetración en las etiquetas de las botellas y gran habilidad en disolver sus adhesivos.
- (e) No debe ser toxico.
- (f) Debe prevenir incrustaciones.
- (g) No debe formar espuma.
- (h) Fácil uso.
- (i) Fácil de enjuagar.
- (j) Relativamente económico.

Tipos de aditivos utilizados en la solución de lavado

La solución cáustica por si sola no posee todas las propiedades antes mencionadas, por tal motivo es utilizada conjuntamente con uno o más tipos de aditivos en la solución de lavado según los requerimientos y necesidades que se tengan en el proceso de lavado (Renfrow, 1999). Estos compuestos mantienen o refuerzan la acción detergente de la solución de lavado, ejercen numerosas funciones: actúan secuestrando, intercambiando o precipitando los iones de calcio y magnesio responsables de la dureza del agua, proporcionan un pH alcalino, y dispersan la suciedad, entre otros. Algunos de los tipos de aditivos mas utilizados son los siguientes:

Aditivos Quelantes:

Tipos de aditivos que poseen la habilidad de formar complejos solubles de iones metálicos. Contiene dos o más sitios complejos capaces de coordinarse alrededor de los iones metálicos, de tal manera que no exhiban sus reacciones normales en presencia de agentes precipitantes. Los aditivos quelantes generalmente son usados para combinarse con iones de calcio y magnesio para impedir que estos reaccionen con carbonatos, silicatos, oxalatos o ácidos de fermentación que estén en solución, de esta manera previenen la formación de sedimentos y depósitos calcáreos.

Dispersantes:

Los aditivos dispersantes poseen la habilidad de deflocular y mantener las partículas de sucio en suspensión previniendo así su re-deposición. Los dispersantes son generalmente polímeros aniónicos los cuales son adsorbidos por el sucio impartándole entonces una fuerte carga negativa, cuando esto ocurre las partículas actúan como dos imanes de carga iguales, se repelen una a las otras originando el efecto de dispersión.

Surfactantes :

Los aditivos surfactantes tienen la habilidad de reducir la tensión superficial de la solución de lavado, con lo cual se logra una mayor mojabilidad y penetración del agente detergente en la superficie sucia de las botellas.

Antiespumantes :

Se utilizan para reducir la formación de espuma producto en su mayoría de la saponificación de las grasas contenidas en el sucio presente en las botellas. La espuma favorece el arrastre de la solución de lavado así como también disminuye significativamente la efectividad de lavado, debido a que genera un efecto amortiguante en la presión del lavado y en la energía cinética en los chorros de los inyectores.

SUCIO ESTÁNDAR Y EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LAVADO

El sucio estándar es una preparación a base de levadura de cerveza. Desarrollado en Cervecería Polar (De Sousa 2002) con el objetivo de simular el sucio que comúnmente esta presente en las botellas que llegan a planta. Es utilizado para la evaluación de la eficiencia de lavado tanto a nivel de laboratorio como a nivel industrial. La evaluación de la eficiencia de lavado se realiza a nivel industrial, para verificar el óptimo funcionamiento de las máquinas lavadoras de botellas, en cuanto a remoción de sucio se refiere. A nivel de laboratorio la evaluación de la eficiencia de lavado es utilizada para comparar el poder de detergencia de aditivos coadyuvantes de la solución de lavado en comparación con los ya usados en planta a nivel industrial, de esta manera realizando el ensayo a nivel de laboratorio, se disminuyen los elevados costos de realizar una prueba industrial y los riesgos de posibles características indeseadas que puedan ocasionar daños al equipo y a la flota de botellas expuesta al producto en prueba.

BOTELLAS DE VIDRIO RETORNABLES

El envase de vidrio como material para envasado es ampliamente utilizado a nivel mundial debido a que es un material inerte a la mayoría de las sustancias. Los envases de vidrio no cambian las propiedades organolépticas del producto contenido en ellos, son totalmente reciclables y producidos en diversas formas y colores (Moll en Broderick, 1982).

La industria cervecera ha adoptado el uso cada vez mayor de botellas de vidrio retornables, estas representan en promedio el 78% de los envases utilizados en las cervecerías a nivel mundial (Duffy, 1998). Los costos asociados a los materiales de envasado representan de dos a tres veces el costo de producción de cerveza y de diez a treinta veces los costos asociados a mano de obra (Codd en Broderick, 1982), obviamente la importancia económica de los envases implica un manejo efectivo para asegurar su óptima utilización y extender su tiempo de vida útil.

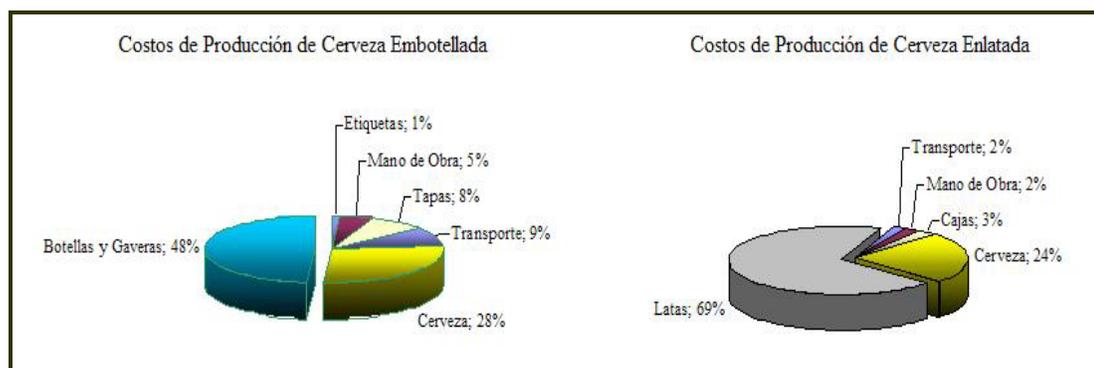


Figura 3.9 Porcentaje de costos de los componentes de una paleta de cerveza

FENÓMENO DE DESGATE EN BOTELLAS RETORNABLES

El mayor factor que impacta la vida de las botellas es su apariencia, en particular el anillo de rayado en las botellas de vidrio retornables reduce la atracción del consumidor. Como un punto de venta la imagen del empaque es considerada de gran importancia por los grupos de Gerencia y Mercadeo de cerveza. Niveles altos de deterioro en la imagen del empaque son considerados inaceptables en productos de alta calidad, por lo cual las botellas son a veces desincorporadas y destruidas

prematuramente para mantener una apariencia estándar en toda la flota, lo que conlleva a un incremento en los gastos de reposición (Graham, 2000).

En condiciones normales las botellas pueden ser reutilizadas unas 40 a 60 veces antes de ser desincorporadas debido al intenso desgaste (Graham, 2000).

Scuffing

La aparición de rayas blancas de desgaste en el hombro y fondo de las botellas, se le conoce popularmente en la industria cervecera como “Scuffing”. El Scuffing es causado principalmente por la fricción existente entre las propias botellas durante todo el recorrido por la línea de envasado, el roce con las bandas de las líneas transportadoras, la velocidad con que son transportadas y el contacto con las cestas de las lavadoras también ejercen presión y roce en las superficies de las botellas incrementando el desgaste.

Los impactos mecánicos que sufren las botellas durante todo el proceso, causan microgrietas en la superficie del vidrio, además cada vez que las regresan de la calle a la planta para ser lavadas y reusadas, un subsecuente ataque químico por parte de la soda cáustica presente en la solución de lavado, hace que esta pérdida de vidrio en las botellas sea cada vez más pronunciada debilitando su estructura y acelerando el deterioro en su apariencia (Rosens, 1996).

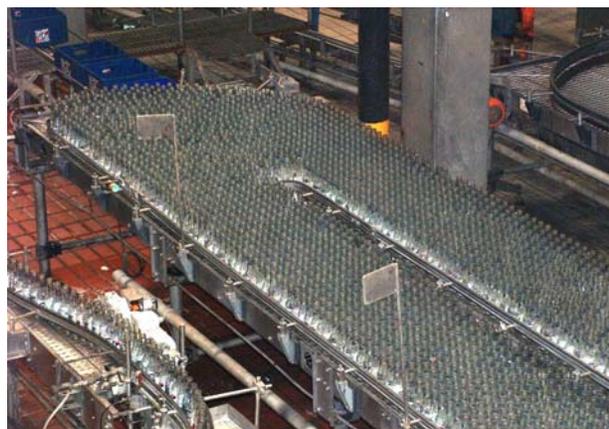


Figura 3.10 Roce entre botellas y bandas en las líneas de envasado

En Cervecería Polar C.A. se tiene como norma desincorporar las botellas que adquieren un nivel cuatro en el grosor del anillo de rayado. En la figura 3.11 se muestra la escala utilizada para la clasificación del nivel de rayado o scuffing en las botellas retornables.

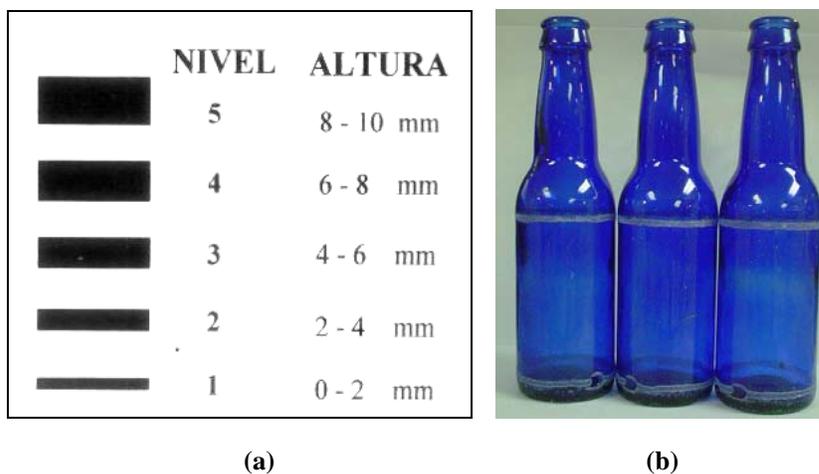


Figura 3.11 Nivel de anillo de rayado

(a) Escala de Nivel de rayado en botellas retornables (b) Botellas con bandas de Scuffing

Corrosión por ataque químico en la superficie de las botellas de vidrio retornables

El vidrio es un sólido amorfo que se obtiene por la fusión a altas temperaturas de arena de sílice (SiO_2) 72 %, carbonato sódico (Na_2CO_3) 14 %, caliza (CaCO_3) 12% y Alumina (Al_2O_3), es químicamente durable en soluciones acidas y neutras debido a la naturaleza inerte del sílice, sin embargo en soluciones alcalinas especialmente a altas temperaturas todos sus constituyentes incluyendo la red de sílice es atacada y corroída (Salisbury, 1989). El vidrio se corroe debido a un cambio químico y estructural que toma lugar en su superficie. Dos etapas de corrosión han sido identificadas:

1. Un intercambio de iones toma lugar entre los iones solubles de sodio [Na^+] en el vidrio y los iones de hidronio [H_3O^+] de la solución, Los iones hidronio

están presentes en el agua en equilibrio con los iones $[\text{OH}^-]$. Este intercambio va disolviendo el material, el área superficial en contacto con la solución se desgasta dejando en contacto una capa exterior rica en sílice.

2. La estructura de la red de sílice es entonces atacada por iones (OH^-) , rompiendo los enlaces Si-O-Si, por lo cual se pierde algo de material cada vez que las botellas se someten al proceso de lavado.

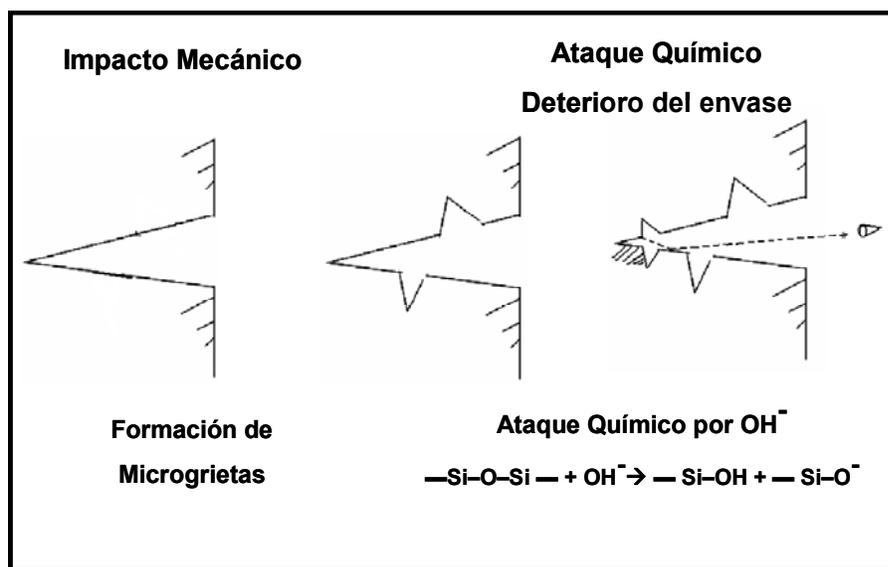


Figura 3.12 Proceso de deterioro en botellas retornables

MÉTODO Y HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS

En el campo industrial es una práctica común realizar pruebas con la intención de realizar algunos cambios en los métodos, materiales o condiciones de operación de un proceso de esta manera poder detectar, resolver o minimizar los problemas de calidad (Gutiérrez, 2003).

El objetivo de los métodos estadísticos es lograr que el proceso de generar conocimiento y aprendizaje a partir de los datos obtenidos en las diversas pruebas realizadas sea tan eficiente como sea posible. La estadística proporciona instrumentos para la toma de decisiones que deriven en mejoras del desempeño del proceso cuando prevalecen condiciones de incertidumbre.

La estadística se puede dividir en dos amplias ramas:

- (a) La Estadística descriptiva: La cual esta relacionada con el resumen de datos y la descripción de estos.
- (b) La Estadística inferencial: Relacionada con el proceso de utilizar los datos para tomar decisiones.

HERRAMIENTAS DE ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS

Entre las principales herramientas estadísticas descriptivas a ser utilizadas para la evaluación de los aditivos en el proceso de lavado de botellas retornables tenemos:

Histograma

Los histogramas facilitan el entendimiento de la variabilidad de los datos en la población o en muestras obtenidas, muestran el número de ocurrencia de los datos entre ciertos límites de clase, ayudan a la detección de datos raros y las formas especiales de la distribución de datos: Distribución normal, sesgada, multimodal, achatada y con acantilado (Gutiérrez, 2005)

Diagramas de cajas

El diagrama de cajas es otra herramienta para describir el comportamiento de los datos, y de suma utilidad para comparar procesos y tratamientos. Se basa en el uso de los cuartiles, divide el rango de evaluación de los datos en cuatro grupos, cada uno de los cuales contiene el 25 % de las mediciones de esta forma se puede visualizar donde se ubican el 50 % de los datos que están al centro de una distribución.

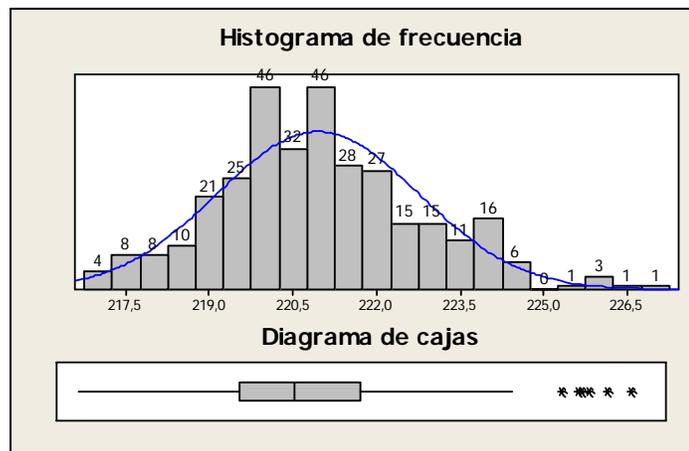


Figura 3.13. Histograma de Frecuencia y diagrama de caja (Realizado con software Minitab 14[®])

HERRAMIENTAS DE ESTADÍSTICAS INFERENCIAL

La inferencia estadística tiene como objetivo hacer afirmaciones validas acerca de la población o proceso en base a los resultados o información contenida en una muestra (Gutiérrez, 2005). En la industria estas afirmaciones tienen como objetivo coadyuvar en la toma de decisiones para mejorar el desempeño de todos los procesos de la organización.

Entre las principales herramientas estadísticas inferencial a ser utilizadas para la evaluación de los aditivos en el proceso de lavado de botellas retornables tenemos:

Intervalos de confianza

Se utiliza para saber que tan precisa es la estimación de un estadístico como la media, mediana, la varianza, y otros; a partir de los datos obtenidos en una muestra. Construir un intervalo de confianza consiste en encontrar dos números estadísticos $[L, U]$ los cuales forman un rango de valores, tales que cada vez que se seleccione un elemento de la muestra, este se encuentre con una confianza de $100(1-\alpha)\%$ dentro de este rango, donde (α) es el nivel de significancia o error máximo que el experimentador esta dispuesto correr. Por lo tanto es deseable que la longitud del intervalo sea pequeña y con alto nivel de confianza.

Para el cálculo de estos intervalos de confianza y pruebas de hipótesis nula se utilizan las tablas de distribución de probabilidad, entre las de mayor empleo están: T de Student, Normal, Ji-cuadrada y distribución F.

Intervalos de confianza para la media

Sea los números L y U tales que el parámetro μ (media muestral) se encuentre entre ellos con una probabilidad de $1-\alpha$ esto es:

$$P(L \leq \mu \leq U) = 1 - \alpha \quad (\text{Ec.1})$$

Sea X_1, X_2, \dots, X_n Una muestra aleatoria de tamaño n de una población con distribución normal con una media μ y varianza σ^2 , ambas desconocidas. El procedimiento general para deducir el intervalo consiste en partir de un estadístico que involucra al parámetro de interés y que tiene una distribución conocida. Tal estadístico es:

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}} \quad (\text{Ec 2})$$

El cual posee una distribución T de Student con $n-1$ grados de libertad. Por tanto se puede ubicar en la tabla de distribución o en su grafica dos valores críticos $t_{\alpha/2}$ y $-t_{\alpha/2}$ tales que:

$$P\left(-t_{\alpha/2} \leq \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}} \leq t_{\alpha/2}\right) = 1 - \alpha \quad (\text{Ec 3})$$

De aquí despejando hasta dejar sólo en medio de las desigualdades al parámetro de interés, se llega que:

$$P\left(\bar{X} - t_{\alpha/2} \sigma / \sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{X} + t_{\alpha/2} \sigma / \sqrt{n}\right) = 1 - \alpha \quad (\text{Ec. 4})$$

En este sentido, los números buscados son $L = \bar{X} - t_{\alpha/2} \sigma / \sqrt{n}$ y $U = \bar{X} + t_{\alpha/2} \sigma / \sqrt{n}$ que definen un intervalo al $100(1-\alpha)\%$ para la media desconocida.

Pruebas de hipótesis estadísticas

Las pruebas de hipótesis o de significación, consisten en investigar con base en la evidencia contenida en una muestra adecuadamente seleccionada, si lo afirmado por la hipótesis nula (H_0) es verdad o no, y en caso de ser falsa, se toma como verdadera la hipótesis alternativa (H_A). El término hipótesis nula se deriva a que generalmente se plantea como igualdad, Ejemplo:

H_0 : La proporción de artículos defectuosos es del 3 %

H_A : La proporción de artículos defectuosos es distinta a 3 %

La estrategia para probar la hipótesis parte del hecho que H_0 es verdadera, y si los resultados de la investigación contradicen en forma suficiente dicho supuesto, entonces se rechaza H_0 y se acepta la hipótesis alternativa. En caso de que los resultados de la investigación, no demuestran con claridad la falsedad de H_0 , ésta no se rechaza, considerando la hipótesis nula como verdadera mientras no se demuestre lo contrario.

Criterios de rechazo

El estadístico de prueba, construido bajo el supuesto de que H_0 es verdadera, es una variable aleatoria con distribución conocida (Distribución normal \rightarrow Prueba Z; Distribución T de Student \rightarrow prueba T; distribución F \rightarrow prueba F, etc.). Si efectivamente H_0 es verdadera, el valor del estadístico de prueba debería caer en el rango de valores más probable de su distribución asociada, fuera de ese rango de valores limitados, por encima de algún valor crítico superior o por debajo de algún valor crítico inferior, es evidencia que ese valor obtenido no pertenece a dicha distribución y por lo cual se deduce que H_0 debe ser falsa. En la grafica 3.14 se muestran las regiones de rechazo y aceptación la curva normal.

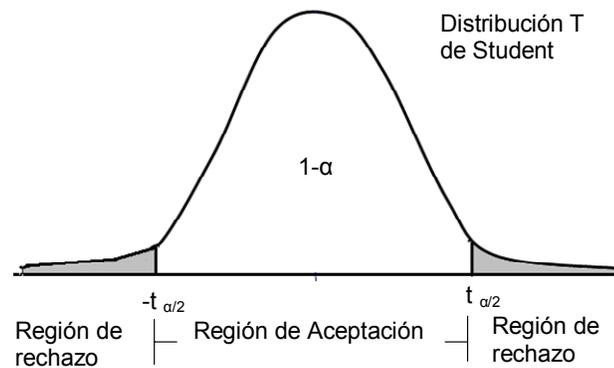


Figura 3.14 Regiones o intervalos de rechazo y aceptación

Si se quiere probar la hipótesis nula de que la media μ de una variable aleatoria X es igual cierto valor μ_0 .

Es decir, la hipótesis a probar es:

$$H_0: \mu = \mu_0$$

$$H_A: \mu \neq \mu_0$$

Para probar esta hipótesis se toma una muestra aleatoria de tamaño n de los posibles valores de la variable X y se calcula el estadístico de prueba donde S es la desviación estándar de los datos

$$t_0 = \frac{\bar{X} - \mu_0}{S / \sqrt{n}} \quad (\text{Ec. 5})$$

Se rechaza H_0 si el valor absoluto del estadístico de prueba es mayor que el valor crítico de la distribución $|t_0| > t_{\alpha/2}$.

Hipótesis para dos medias: Comparación de dos procesos o poblaciones.

Este tipo de prueba es utilizada cuando motivados por algún problema de calidad, se comparan dos proveedores, dos materiales, dos maquinarias o dos métodos de trabajo por mencionar algunos casos de interés.

Para este caso se procede de la siguiente manera, si se desea comparar dos procesos de medias μ_x y μ_y con desviaciones estándar S_x y S_y , respectivamente, se plantean las siguientes hipótesis:

$$H_0: \mu_x = \mu_y$$

$$H_A: \mu_x \neq \mu_y$$

Lo que se puede redescibir como:

$$H_0: \mu_x - \mu_y = 0$$

$$H_A: \mu_x - \mu_y \neq 0$$

Para probar H_0 se toman dos muestras aleatorias de tamaño n_x la del proceso X y de tamaño n_y la del proceso Y, el estadístico adecuado para ésta prueba es:

$$t_0 = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{Sp \sqrt{\frac{1}{n_x} + \frac{1}{n_y}}} \quad (\text{Ec. 6})$$

El cual sigue una distribución T de Student con $n_x + n_y - 2$ grados de libertad, donde Sp^2 es un estimador de la variancia muestral común, suponiendo que dichas variancias desconocidas sean iguales se calcula como:

$$Sp^2 = \frac{(n_x - 1)S_x^2 + (n_y - 1)S_y^2}{n_x + n_y - 2} \quad (\text{Ec. 7})$$

Y se aplica el criterio de rechazo anteriormente expuesto, donde se rechaza la hipótesis nula H_0 si el valor absoluto del estadístico de prueba t_0 es mayor que el valor crítico de la distribución $|t_0| > t_{\alpha/2}$

CAPITULO IV

MARCO METODOLÓGICO

METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE ADITIVOS

En las compañías cerveceras, la soda cáustica es usada comúnmente como agente de limpieza, debido a que es un excelente disolvente de materia orgánica, tiene un gran poder de saponificación, posee actividad germicida y su costo es relativamente económico; sin embargo posee algunas limitaciones por lo cual se le agregan aditivos que son necesarios para obtener una efectiva solución de lavado.

Existen en el mercado diversas compañías proveedoras de aditivos para la solución de lavado. Cervecería Polar. C.A., realiza regularmente diversas pruebas comparativas entre sus aditivos y los diversos tipos de aditivos que ofrece el mercado. El objetivo es seleccionar entre ellos el mejor producto, teniendo como criterio, el que mejores resultados obtenga en las diferentes pruebas y a más bajo costo sería el seleccionado para su posible adquisición e incorporación al proceso.

Las pruebas de evaluación de aditivos a realizar en este trabajo especial de grado son las siguientes:

- Eficiencia de Lavado.
- Pérdida de Masa y formación de Anillo de Rayado.
- Resistencia del Pirograbado.
- Estabilidad de la Espuma.
- Evaluación de costos y comparación general de los Aditivos

Debido a que las pruebas a escala industrial son muy costosas y riesgosas en cuanto a la posibilidad de que no se obtengan los resultados esperados al introducir un nuevo aditivo al proceso, y que esto pueda causar daños al equipo o a la flota de botellas en general, se hace necesario realizar las pruebas comparativas a nivel de

laboratorio entre los aditivos de prueba y el aditivo actualmente utilizado en planta. Para ello se dispone de un equipo que simula el efecto químico de lavado producido por la solución de lavado, el cual consta de un barril de cerveza de acero inoxidable de 50 litros de capacidad, recubierto por material aislante en sus paredes laterales, dispone de dos resistencias sumergibles de 1500 W para calentar la solución de lavado y un control termostático automático (On-Off) que usa un sensor de temperatura Pt-100 como instrumento de medición (Libretti, 2005). En la figura 4.1 se muestra el dispositivo descrito.



Figura 4.1 Equipo de simulación de lavado por inmersión

(a) Vista frontal del dispositivo (b) Vista interna con botellas en la solución

Este dispositivo fue diseñado en Cervecería Polar como parte de un proyecto de grado (Libretti, 2005) con el objetivo de evaluar principalmente el rayado y pérdida de masa en las botellas retornables con el aditivo de prueba Foodpro DCF9832[®] comparándolos con los actualmente utilizados en planta: Stabilon WT[®], Stabilon WTP[®]. Posteriormente el mismo sistema fue utilizado en un segundo proyecto (Fra, 2005) cuyo objetivo era diseñar una metodología para evaluar la eficiencia de lavado de manera estandarizada mediante un “sucio estándar”. Esta metodología fue utilizada en los aditivos Bottleguard ACP[®] y Foodpro DCF9832[®] así como su comparación con los aditivos utilizados en planta antes mencionados.

En el presente proyecto se evaluará los aditivos de Prueba INTEGRA HD[®] y VIDRAL II-LST[®], los cuales serán comparados con los actualmente utilizados en Cervecería Polar: Principalmente Stabilon WT[®] y en algunos casos con Stabilon

WTP[®], el cual actualmente es utilizado solo en las plantas que en ocasiones presentan problemas de dureza de agua. Las condiciones de operación de las pruebas dependen del tipo de ensayo a realizar. El proveedor de cada aditivo recomendará la concentración a utilizar del mismo en la solución de lavado, esta última generalmente expresada en porcentaje peso-peso (% p/p) con respecto a la solución de Soda al 50 % p/p. (ver tabla 4.1), posteriormente es diluida con agua hasta la concentración de Soda establecida para cada prueba.

Tabla 4.1. Concentración de aditivo recomendado por los Proveedores

Aditivo	Concentración Recomendada % p/p
INTEGRA HD [®]	1,8 %
STABILON WT [®]	5 %
STABILON WTP [®]	8 %
VIDRAL II-LST [®]	4 %

EFICIENCIA DE LAVADO

Uno de los factores de vital importancia a evaluar es el de eficiencia de lavado. La soda cáustica por sí sola no es suficientemente efectiva para remover los diversos tipos de sucio con que las botellas retornables llegan a planta. Seleccionar un aditivo que aumente las propiedades de limpieza de la soda y garantice que las botellas salgan de la lavadora con apariencia impecable y carga microbiana por debajo del límite establecido es fundamental en el proceso de lavado de botellas retornables. Para evaluar la eficiencia de lavado se siguió la metodología desarrollada por Fra (2005), utilizando el tanque de simulación de lavado por inmersión con control de temperatura mostrado en la figura 4.1, y a las condiciones de pruebas mostradas en la tabla 4.2. Para el ensayo se emplearán un grupo de 20 botellas del tipo Maltín Polar Light Botellas No Retornable 250ml por aditivo a evaluar. En la

figura 4.2 se muestra un esquema de la metodología utilizada para la evaluación de la eficiencia de lavado a nivel de laboratorio.

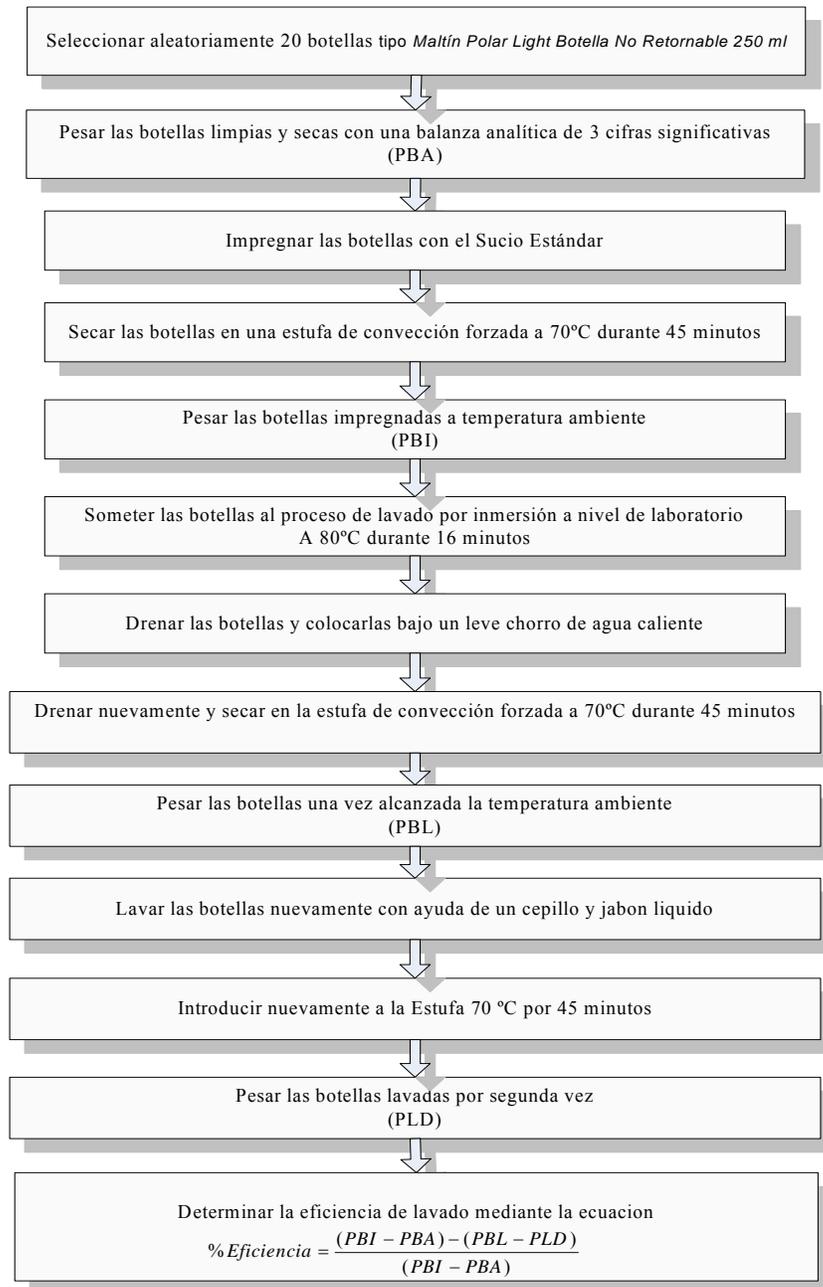


Figura 4.2 Metodología empleada para la determinación de la eficiencia de lavado a nivel de laboratorio mediante Sucio Estándar

Las botellas son impregnadas con sucio estándar, el cual consiste en una mezcla preparada a base de levadura de cerveza, desarrollado en Cervecería Polar (De Sousa 2002) con el objetivo de simular las características del sucio con el cual generalmente llegan las botellas retornables a la planta.



Figura 4.3 botellas impregnadas con sucio estándar

Luego de ser impregnadas, las botellas son sometidas al proceso de lavado en el tanque de simulación por inmersión, culminado el tiempo establecido son drenadas y colocadas bajo un leve chorro de agua caliente con la finalidad de retirar los restos de solución de soda presente en las botellas, posteriormente se introducen en una estufa de convección forzada a 70° C durante 45 minutos, una vez secas y a temperatura ambiente se procede a pesarlas utilizando una balanza analítica para calcular la cantidad de sucio removido, de esta manera se obtiene la eficiencia de lavado para cada aditivo.

Debido a que no se desea disminuir la calidad de eficiencia de lavado a nivel industrial, solo se someterán a las siguientes pruebas los aditivos que a nivel de laboratorio hayan obtenido una eficiencia igual o superior al aditivo utilizado actualmente en planta

RAYADO Y PÉRDIDA DE MASA

Durante su recorrido por el proceso de envasado las botellas son sometidas al ataque químico producido sobre el vidrio principalmente por la soda cáustica en el

proceso de lavado, que junto a la abrasión generada por el contacto entre las líneas, cestas de lavado, las propias botellas y demás componentes del sistema de producción, conlleva a la aparición de un anillo de rayado en las zonas de mayor roce en las botellas (hombro y talón). Además recurrente pérdida de masa en su estructura cada vez que retornan a la planta, son factores que disminuyen su vida útil, haciendo que estas sean más susceptibles a las rupturas debido a la disminución de la resistencia a la presión que ejerce la cerveza en su interior. Asimismo este deterioro afecta la imagen del producto ante el consumidor; por lo cual el proceso de lavado debe realizarse con un producto que ayude a disminuir el ataque químico de la soda y la temperatura sobre la estructura de las botellas.

Los aditivos que superen la prueba de eficiencia de lavado, se someterán a esta prueba que permitirá evaluar su influencia sobre el rayado y pérdida de masa en las botellas retornables, igualmente serán comparados con los aditivos: Stabilon WTP[®] el aditivo Stabilon WT[®] (Actualmente empleados por Cervecería Polar en sus plantas a nivel nacional).

Para la realización de la prueba se tomará una muestra de 300 botellas tipo Polar ICE 222 ml provenientes de distintos lotes aprobados por el laboratorio de calidad de envasado en Cervecería Polar Planta Los Cortijos, las cuales serán pesadas mediante una balanza analítica de 0,01 gramos de precisión; con ayuda de un software estadístico, se realizará un estudio estadístico de tal manera que se tomen del grupo una muestra representativa de 20 botellas. Para ello se graficará el histograma de frecuencia con el objetivo de verificar si los datos siguen una tendencia normal y además se graficará el diagrama de cajas entre el primer y tercer cuartil, extendiendo el intervalo de peso entre las botellas seleccionadas 0,5 gramos por debajo del primer cuartil y 0,5 gramos por encima del tercer cuartil, de esta manera se asegura que la selección de las botellas cubra mas del 50 % del intervalo de pesos encontrados normalmente en los distintos lotes de la Planta.

Posteriormente las botellas seleccionadas serán enumeradas mediante un Dremel, lavadas y pesadas nuevamente. Con el propósito de remarcar las diferencias entre cada aditivo con respecto al rayado y a la pérdida de masa las botellas se someterán a condiciones extremas de lavado siguiendo la metodología propuesta por Libretti (2005) en su trabajo especial de grado, estas condiciones de lavado a nivel de laboratorio se muestran en la tabla 4.2.

Tabla 4.2. Condiciones de operación del Proceso de Lavado

Condiciones de Lavado	Concentración Soda (% p/p)	Temperatura de Lavado (°C)	Tiempo de Inmersión (min)
Planta	2,5	75	16
Laboratorio	3,0	80	25

Utilizando el tanque de simulación por inmersión a nivel de laboratorio, las botellas son sumergidas durante 25 minutos de inmersión, transcurrido este tiempo se procede a drenar las botellas y sumergirlas luego en agua suave para eliminar los posibles restos de la solución detergente; se usa fenolftaleína como indicador de manera de detectar una posible remanencia de soda cáustica en las botellas. Terminado el proceso de lavado, las botellas son marcadas con una liga roja para facilitar su identificación y la recuperación de las mismas a la salida del pasteurizador.

Luego del lavado a nivel de laboratorio, las botellas marcadas son llevadas a la planta e introducidas en la mesa de descarga a la salida de la lavadora de la Línea 3 de producción, estas se mezclan con las demás botellas y continúan su camino hasta ser rechazadas por los inspectores de botellas antes de la llenadora, las mismas son reintroducidas en la banda de la llenadora, continuado con el proceso de envasado y pasteurizado, para finalmente ser recuperadas antes de la embaladora. Seguidamente las botellas son vaciadas, lavadas con agua corriente y sometida nuevamente al ciclo de envasado desde el proceso de lavado a nivel del laboratorio.

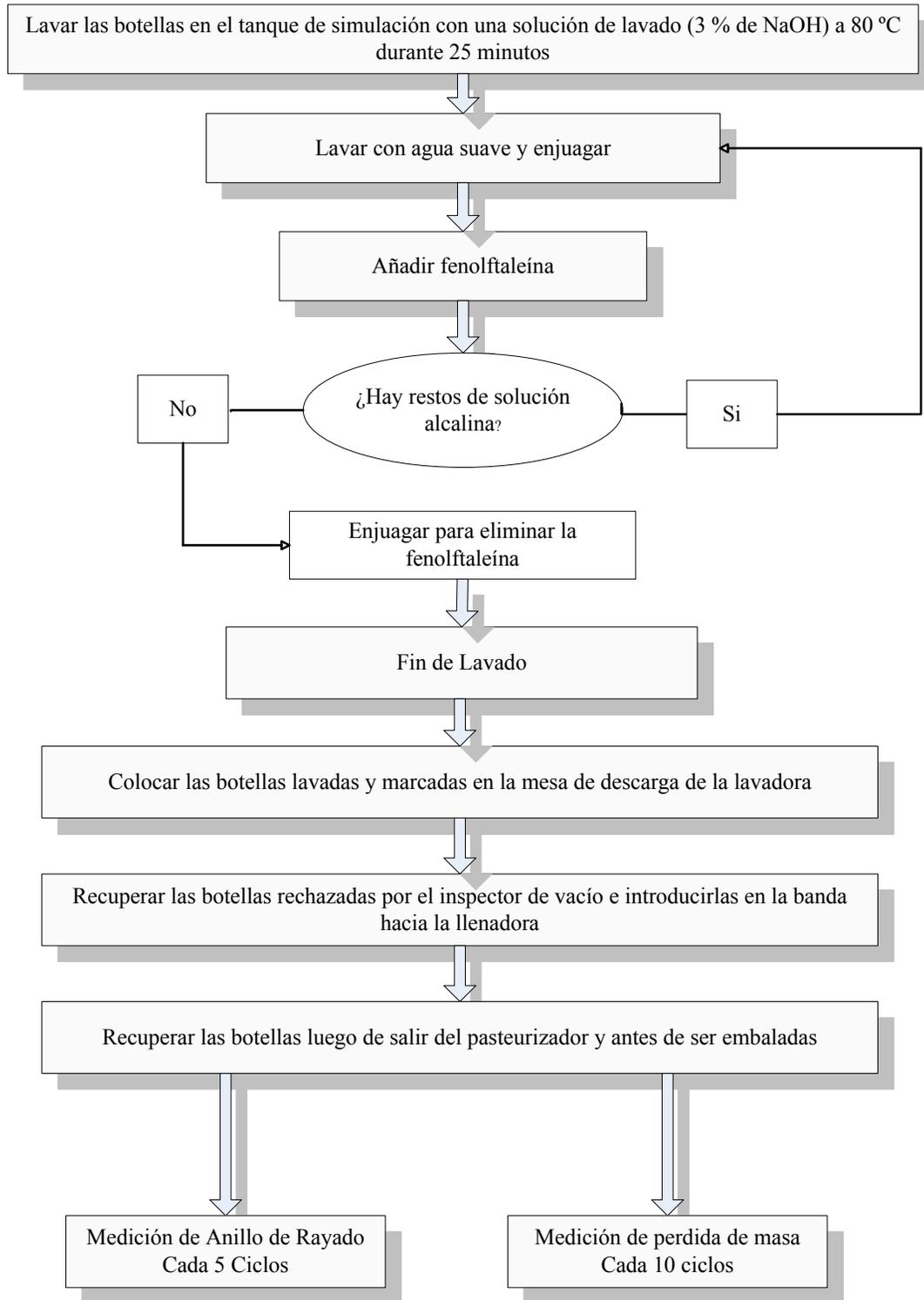


Figura 4.4 Metodología para la evaluación del rayado y pérdida de masa (Libretti 2005)

El procedimiento de evaluación según la metodología desarrollada por Libretti (2005) es someter cada botella a un total de 40 ciclos de lavado, tiempo estipulado de vida útil de las botellas en donde se supone que se recupera la inversión en los envases retornables. La medición del anillo de rayado se realizará cada 5 ciclos, mediante un vernier digital con una precisión de 0,01 mm, se medirá el anillo formado tanto en el hombro como en el fondo de las botellas, reportando la mayor altura encontrada. Debido a que las botellas dejan de recorrer aproximadamente un 23 % de la longitud total de la línea de envasado, se multiplicaran los datos de grosor de rayado obtenidos por el factor de corrección (1,23) de manera de extrapolar el posible crecimiento del anillo.

En el caso de la medición de pérdida de masa, esta se realizará cada 10 ciclos, utilizando una balanza analítica de 0,01 gramos de precisión; las botellas son secadas mediante una estufa de convección forzada y manipuladas con guantes de látex al momento de ser pesadas, de manera de no interferir con el resultado de la medición.

El esquema de la metodología a seguir para la evaluación del rayado y pérdida de masa se muestra a continuación en la figura 4.4.

RESISTENCIA DEL PIROGRABADO

El pirograbado o la decoración que adorna la botella es utilizado con el fin de identificar el producto y atraer a los consumidores, para muchas empresas sus marcas y la imagen de sus marcas son el activo más valioso. Un aditivo de la solución de lavado no debe desgastar o decolorar el pirograbado de las botellas y de ser posible debe protegerlo cuando estas son sometidas al proceso de lavado con soluciones cáusticas en caliente. Para garantizar su durabilidad se someterán una muestra de 10 botellas a una prueba de resistencia de pirograbado según la metodología de la norma COVENIN 3130:1994. En la cual la sección de las botellas con decoración, son sumergidas durante 2 horas a $88^{\circ} \text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, en una solución de lavado con una concentración de soda aproximadamente cuatro veces mayor a la que generalmente

estas son lavadas a nivel industrial, considerando como aprobada la prueba si la decoración tiene un desgaste menor a 90 % luego de 4 ciclos de lavado.

ESTABILIDAD DE LA ESPUMA

Unos de los factores más sensibles en la calidad de la cerveza es la estabilidad de la espuma. La espuma es producto de la formación de burbujas de CO₂ debido a una reducción de la presión en el envase al momento de abrir la cerveza, esta formada por proteínas de alto peso molecular provenientes de la malta. La espuma es de gran importancia, ya que protege a la cerveza de la oxidación, interviene en la dispersión del aroma y además es agradable visualmente.

El colapso de la espuma en la cerveza terminada puede ocurrir debido a métodos o condiciones incorrectas durante la fabricación de la cerveza; el contacto con trazas de agentes detergentes y lubricantes también pueden interferir con la formación inicial de la espuma y hacer que esta sea escasa o que colapse rápidamente. La determinación de la incidencia de posibles trazas de aditivo de la solución de lavado sobre la estabilidad de la espuma, es un factor importante a tomar en cuenta en la escogencia y posible incorporación de un nuevo aditivo al proceso de lavado de botellas retornables, ya que al no verse afectada una propiedad tan sensible como la estabilidad de la espuma con los distintos aditivos utilizados se infiere que otras características fisicoquímicas menos sensibles de la cerveza no se verán afectadas.

La medición de la estabilidad de la espuma se hará según el principio de NIBEM (Nederlands Institut Looor Browgerst Mount en Bier), el cual está basado en la determinación del tiempo durante el cual la superficie de la espuma desciende 30 mm, bajo condiciones estandarizadas, mediante un equipo diseñado para tal fin. La metodología a seguir para llevar a cabo el análisis de estabilidad de la espuma se muestra en la figura 4.5. El colapso del nivel de espuma debe mantenerse sobre de tiempo mínimo permitido por el PIE (Plan de Inspección y Ensayo) en Cervecería Polar C.A., el cual actualmente es de 220 segundos.

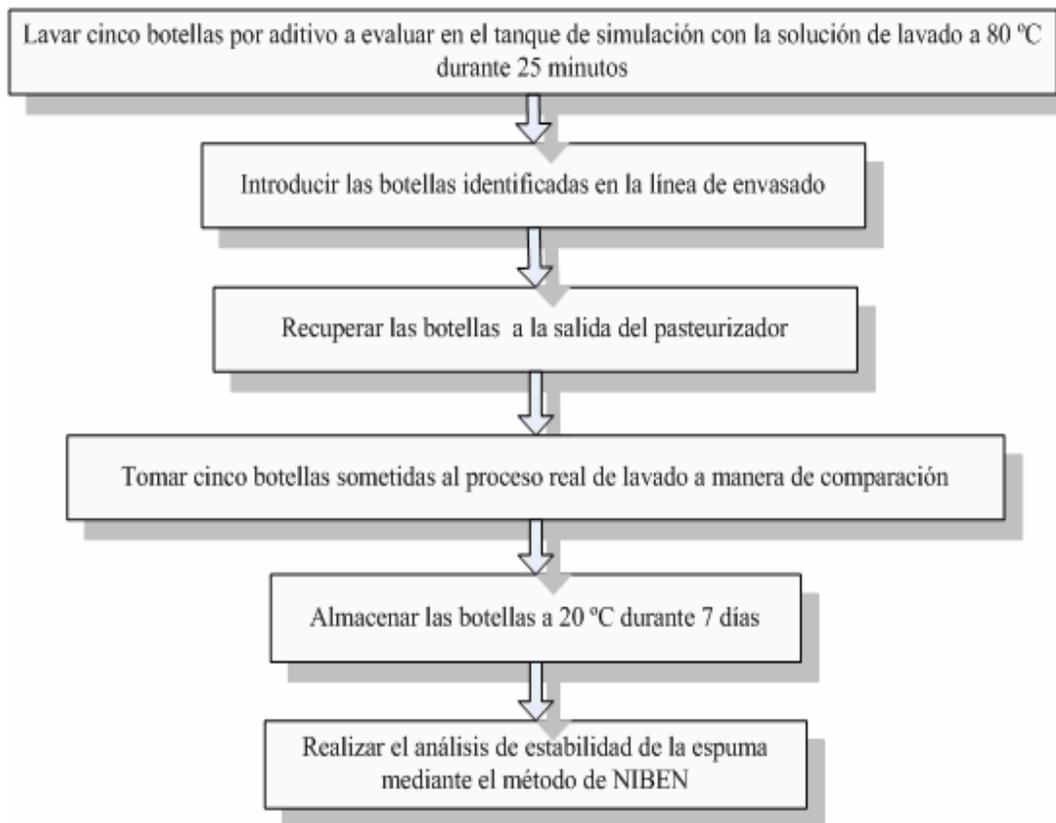


Figura 4.5 Metodología para la evaluación de la estabilidad de la espuma

EVALUACIÓN DE COSTOS Y COMPARACIÓN GENERAL DE LOS ADITIVOS.

Los costos asociados a la adquisición de un aditivo, serán determinados principalmente a partir del consumo anual de soda para el lavado de botellas retornables en planta Los Cortijos, obteniendo la cantidad de aditivo necesario, según las concentraciones recomendadas por cada proveedor; sin embargo se debe tener en cuenta que no es el único factor importante a la hora de realizar una selección; por ello luego de realizadas todas las pruebas para la evaluación de los aditivos, se procederá a realizar una valoración de los resultados obtenidos, de tal manera de visualizar claramente las ventajas y desventajas de utilizar un aditivo en específico, para ello se utilizará una matriz de comparación, en donde a cada factor evaluado se le asignará un porcentaje según su importancia en las necesidades de la planta, en

cuanto a eficiencia de lavado, pérdida de masa, anillo de rayado, estabilidad de la espuma y costos de adquisición de los aditivos.

La evaluación se realizará tomando como base de comparación al aditivo actualmente utilizado en cervecería polar Stabilon WT[®], en el cual se le asignará un valor de cinco (5) puntos en una escala del uno al diez para cada factor a evaluar, para los demás aditivos cada mejora del 10 % incrementará un punto la evaluación y cada desmejora se restará un punto, luego el valor asignado será multiplicado por la ponderación correspondiente, de esta manera y luego de totalizar los datos se obtendrá una comparación global de los resultados obtenidos.

DISEÑO PRELIMINAR DEL EQUIPO SIMULACIÓN DE EFECTO MECÁNICO POR INYECCIÓN.

El desarrollo del diseño del equipo, se hará teniendo como propósito mejorar los sistemas de evaluación a escala piloto, de manera que este permita evaluar tanto el efecto químico como el efecto mecánico de lavado, obtener datos mas representativos del comportamiento de los aditivos evaluados, y generar información sobre el proceso de lavado que pudiera usarse en la optimización de las lavadoras a escala real reduciendo los costos y riesgos asociados que conlleva realizar una prueba industrial. Para ello se realizarán una serie de actividades estructuradas en las siguientes etapas:

(a) Revisión bibliográfica

Búsqueda, estudio y clasificación de información referente al lavado de botellas retornables, así como los manuales e instructivos técnicos del funcionamiento de las máquinas lavadoras utilizadas, con la finalidad de obtener los conocimientos básicos del funcionamiento y las características de lavado deseadas para aplicarlas al diseño del equipo piloto.

(b) Familiarización y pruebas técnicas

Familiarización y pruebas técnicas con los equipos industriales de lavado de botellas retornables presentes en la Planta Los Cortijos, a fin de poder adquirir los

conocimientos para aplicar las modificaciones requeridas al diseño del equipo piloto de simulación de manera tal que permita también la evaluación del efecto mecánico de lavado.

(c) Reuniones técnicas

Reuniones con personal con experiencia en las distintas áreas que involucradas al proceso de envasado, que permita afianzar la base de conocimientos técnicos fundamentales, y como guías en el desarrollo de las características deseadas del equipo.

(d) Criterios y Cálculos

Luego de la evaluación y la toma de decisión de las características generales que debe poseer el equipo se procederá a designar los criterios y a realizar cálculos necesarios para llevar a cabo el diseño:

- Dimensiones del equipo acordes a su carácter de evaluación a nivel laboratorio.
- Tipos de materiales de construcción a utilizar debido a la alcalinidad de la solución de lavado.
- Insumos y materiales disponibles.
- Cálculos de flujo, presión de operación y pérdidas por fricción el sistema.
- Cálculos pertinentes a la caída de presión del sistema de inyección.
- Dimensiones del tanque.
- Material aislante del tanque.
- Dimensiones de la estructura soporte de las botellas.
- Tipo de Filtro a utilizar.
- Selección del equipo de bombeo

- Equipos de control y medición necesarios.
- Diagramas de flujo para la programación del PLC.
- Procedimientos para el uso del equipo.

Los cálculos de los parámetros necesarios, se harán a base de los requeridos y recomendados en el funcionamiento de los sistemas a escala industrial.

(e) Presentación de Propuesta

Presentación de las características generales del sistema de inyección: Cálculos, estudios, sumario aproximado de los requerimientos en las variables del proceso, equipos necesarios y la metodología para el uso del equipo.

CAPITULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Luego de realizadas las diversas pruebas de evaluación a los aditivos de la soda cáustica utilizados en el proceso de lavado de botellas retornables en Cervecería Polar CA. Se presentan a continuación los resultados obtenidos y el análisis correspondiente a los mismos.

PRUEBA DE EFICIENCIA DE LAVADO

Para este ensayo, se compararon los aditivos de prueba INTEGRA HD[®] y VIDRAL II-LST[®] con el aditivo control Stabilon WT[®].

Las botellas seleccionadas para la prueba fueron impregnadas con sucio estándar cuya preparación se muestra en el apéndice A.

Las soluciones de lavado se prepararon a partir de soda cáustica al 50 %, a la cual se le agregó cada aditivo según las recomendaciones del proveedor correspondiente, mostradas en la tabla 4.1. La solución se diluyó con agua hasta alcanzar la concentración de soda utilizada en las maquinas lavadoras a nivel industrial de 2,5 % p/p y se procedió a lavar las botellas impregnadas en el tanque de simulación a nivel de laboratorio, durante 16 minutos y a 80° C de temperatura, según la metodología mostrada en este trabajo.

Luego de realizados los ensayos, se obtuvieron los siguientes resultados generales los cuales se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 5.1 Resultados Generales Eficiencia de lavado.

Aditivo	Conc. Aditivo % p/p (con respecto a la soda 50 % p/p)	Sucio Impregnado (± 0,001g)	Sucio Removido (± 0,001g)	Eficiencia de Lavado (%)
INTEGRA HD [®]	1,8 %	0.411	0.378	91.1 ± 2.0
STABILON WT [®]	5 %	0.538	0.508	93.6 ± 1.5
VIDRAL II-LST [®]	4 %	0.438	0.417	94.3 ± 1.6

Para una observación mas precisa de los resultados, se graficaron los intervalos de confianza para la eficiencia de lavado, obtenidos para cada aditivo así como su media muestral los cuales se muestran a continuación.

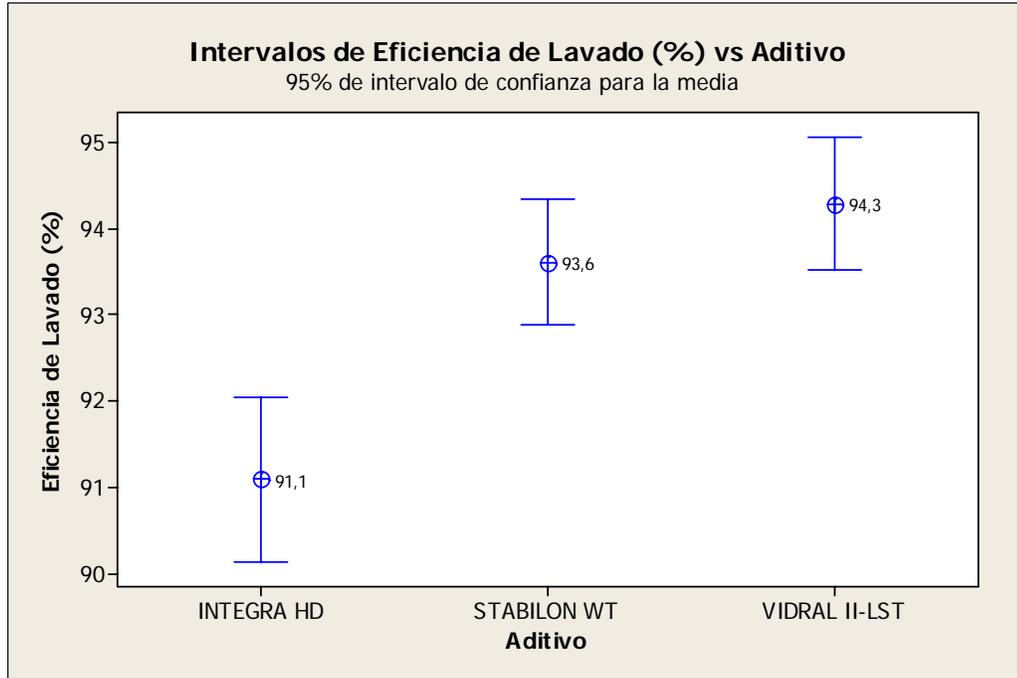


Figura 5.1 Intervalos de confianza para la eficiencia de lavado obtenidas por aditivo

Debido a que el intervalo de datos para la media de Integra HD[®] no se traslapan con los demás, su media de eficiencia es diferente y menor estadísticamente que la de los otros aditivos. La comparación entre los aditivos Stabilon WT[®] y Vidral II-LST[®], muestra que son los que promueven mayor eficiencia de lavado, sin embargo, estadísticamente no difieren en su media poblacional. Los detalles del estudio estadístico de análisis de varianza (ANOVA) por el método de Tukey se pueden ver en los anexos, este estudio fue realizado con ayuda del software estadístico Minitab[®] y la hoja de calculo de Microsoft Excel[®], en él se observa que existe diferencia significativas entre al menos una de las eficiencias de los aditivos utilizados, ya que el valor F obtenido (18,65) es mayor que el valor critico (3,16) por lo cual este cae en la región de rechazo la hipótesis nula, en la que se suponía: **Las**

medias de las eficiencias entre los aditivos son iguales. La probabilidad de que la diferencia entre las medias de los aditivos, según los datos obtenidos se deba a un error aleatorio es del 0,00 % según el valor p , tal y como se resume en la tabla 5.2.

Tabla 5.2 Resultados estadísticos obtenidos.

Parámetro	Resultado	Interpretación
Valor p	0,00	El valor P es menor que el nivel de significancia $\alpha=0.05$ por lo tanto entre grupos existen diferencia significativas
Valor F	18,65	Este valor representa en que lugar se encuentra los datos obtenidos en la distribución F
Valor F critico	3,16	Este valor representa el máximo valor F permitido para asegurar que no hay diferencias significativas en el análisis de varianza

Sobre la validez de los resultados obtenidos del estudio ANOVA se muestra en la figura 5.2 las graficas de los supuestos de los residuos utilizadas para su validación.

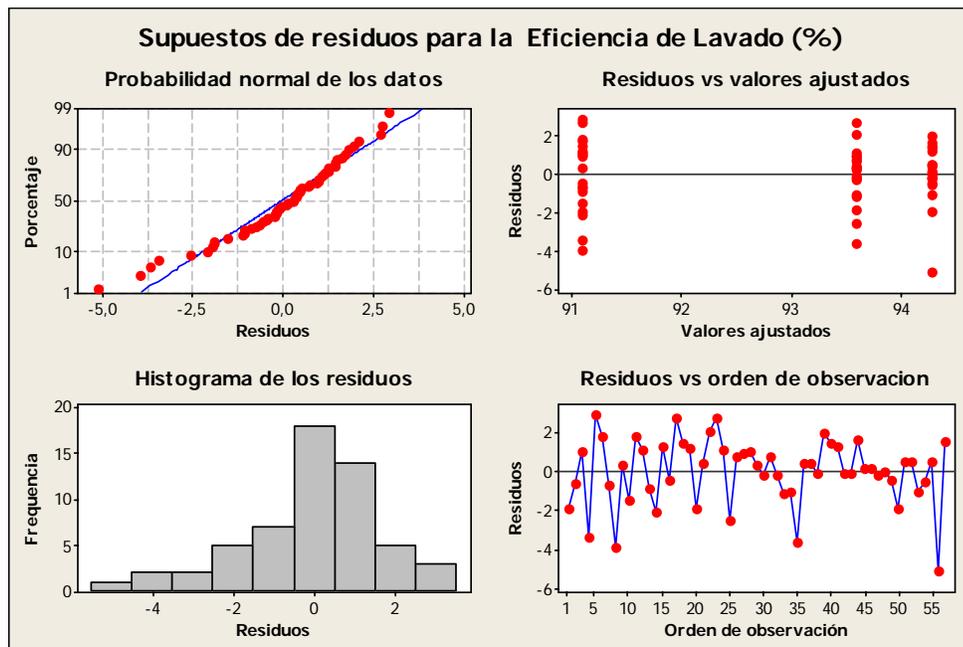


Figura 5.2. Comprobación de los supuestos de Normalidad, Varianza constante e Independencia

Se puede observar en la grafica de probabilidad normal, que la Normalidad de los datos se cumple ya que los datos centrales se aproximan a una línea recta, también se cumple los supuestos de Varianza constante e independencia ya que se observan que los datos están distribuidos aleatoriamente dentro de la banda horizontal tanto en la grafica de residuo vs valores ajustados así como también en residuos vs Orden, por tal motivo el Análisis de Varianza Realizado se puede tomar como valido.

Debido a que no se quiere bajar la eficiencia de lavado obtenida por el aditivo Stabilon WT[®], el cual es utilizado actualmente en las plantas de Cervecería Polar C.A., el aditivo INTEGRA HD[®] es descartado para las próximas evaluaciones.

PRUEBA DE RESISTENCIA DEL PIROGRABADO

La prueba de resistencia al pirograbado se realizó para evaluar cómo afectan los aditivo al pirograbado del las botellas retornables. En estudios anteriores se ha determinado que la solución de soda con el aditivo Stabilon WT[®], cumple con los 4 ciclos que recomienda la norma COVENIN 3130:1994 en cuanto a la resistencia del Pirograbado al ataque de ésta solución de lavado sin embargo se incluye a manera de control.

Para la evaluación se sometieron a prueba los aditivos VIDRAL II-SLT[®] y Stabilon WT[®], se utilizaron 10 botellas polar ice de 222 mL por cada aditivo a evaluar. A las botellas se le corto la sección del pirograbado. La mitad superior de cada sección se cubrió con tirro adhesivo como protección de solución alcalina para realizar la posterior evaluación visual, en la cual la norma establece, que el pirograbado debe soportar como mínimo 4 ciclos de exposición a condiciones alcalinas extremas sin perder el 90 % de la decoración.

Luego de ser sometidas las botellas a los 4 ciclos de lavado no se observó desgastes mayor al 90 % al utilizar los aditivos evaluados, por lo cual se considera como aprobado el ensayo en ambos aditivos. La figura 5.3, muestra una sección del pirograbado lavada con VIDRAL II-LST[®], una sección lavada con Stabilon WT[®] y una sección considerada fuera de norma a manera de guía. Se observa que aunque ambas muestras aprobaron la prueba de desgaste, visualmente las muestras lavadas

con Stabilon WT[®] lucen menos opacas y desgastadas que las lavadas con VIDRAL II-LST[®].

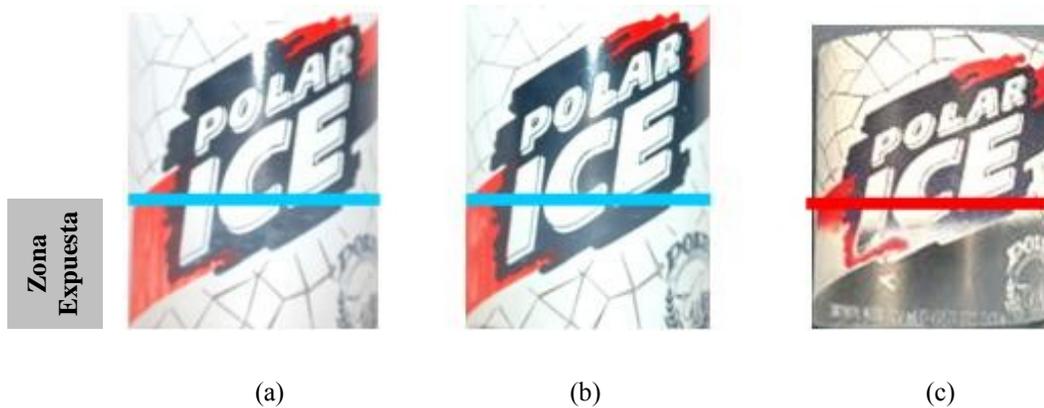


Figura 5.3 Resistencia del Pirograbado secciones de botellas.

(a) Lavadas con VIDRAL II-SLT (b) Lavadas Con Stabilon WT (c) Pirograbado fuera de norma.

PRUEBA DE ANILLO DE RAYADO Y PÉRDIDA DE MASA

Para la realización de la prueba se utilizó el aditivo VIDRAL II-SLT[®] para luego compararlo con los datos obtenidos por Libretti (2005) con el aditivo Stabilon WT[®]. Para ello se tomaron un total de 324 botellas tipo Polar ICE 222 ml provenientes de distintos lotes aprobados por el laboratorio de calidad de envasado en Cervecería Polar Planta Los Cortijos, las cuales fueron pesadas mediante una balanza analítica de 0,01 gramos de precisión y con ayuda de un software estadístico (Minitab[®]), se realizó un estudio estadístico de tal manera que se seleccionaron del grupo una muestra representativa de 20 botellas. Para ello se graficó el histograma de frecuencia con el objetivo de verificar si los datos siguen una tendencia normal, luego de verificarlo, se obtuvieron los intervalos correspondientes al primer y tercer cuartil, y este se extendió 0,5 gramos por debajo del primer cuartil y 0,5 gramos por encima del tercer cuartil, de esta manera se asegura que la selección de las botellas cubra mas del 50 % del intervalo de pesos encontrados en los distintos lotes. Cuyo intervalo se definió entre [219,33 ; 222,47] gramos.

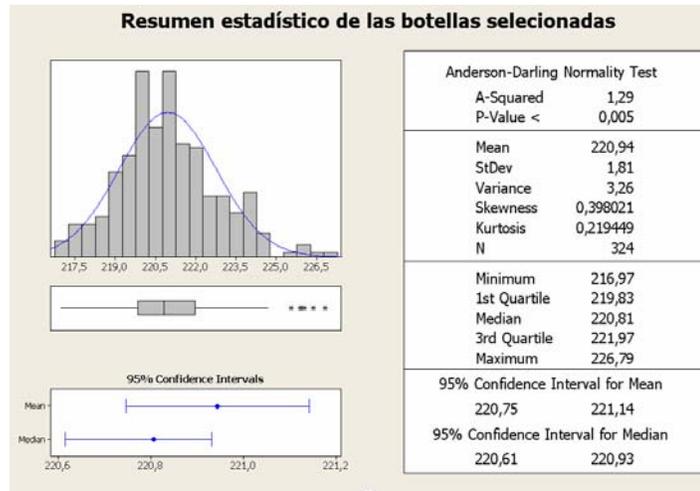


Figura 5.4 Resumen estadístico descriptivo de la población de botellas seleccionadas aleatoriamente.

Posteriormente, las botellas seleccionadas dentro de este intervalo, fueron enumeradas mediante un Dremel, lavadas, secadas y vueltas a pesar. Se procedió a realizar la prueba según la metodología mostrada en este trabajo, los resultados obtenidos se muestran las tablas b.4 y b.5 del apéndice B. Debido a que las botellas sometidas a la prueba, dejan de recorrer aproximadamente un 23% de la longitud real de la línea de envasado, los datos graficados en la figura 5.5 donde se muestra el crecimiento del anillo de rayado al comparar ambos aditivos, están multiplicados por un factor de corrección 1,23 esto permite incluir aproximadamente el crecimiento del anillo si estas fueran sometidas a todo el trayecto real.

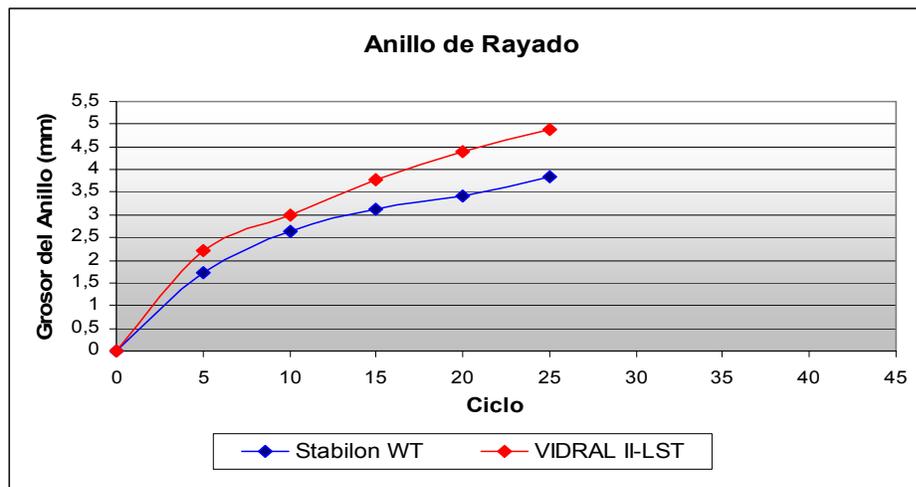


Figura 5.5 Comparación del anillo de rayado generado según el aditivo utilizado.

En la figura anterior se muestra que en la comparación entre aditivos en cuanto al anillo de rayado el aditivo Stabilon WT[®] ofrece una mayor protección a la botella ya que el grosor de su anillo de rayado es menor en todos los ciclos evaluados, además se observa que a medida que crece el numero de ciclos el anillo de rayado se hace mas pronunciado al usar el aditivo VIDRAL II-LST[®].

El comportamiento de la formación del anillo de rayado a partir del ciclo 5 se aproxima bastante a una recta en ambos aditivos, si se extrapolan los datos a partir de este punto, como se muestra en la figura 5.6, se puede determinar aproximadamente en que ciclo las botellas llegan al nivel 4 (grosor del anillo de 8 mm en promedio), en este nivel las botellas son desincorporadas de producción debido al deterioro físico que afecta la imagen del producto.

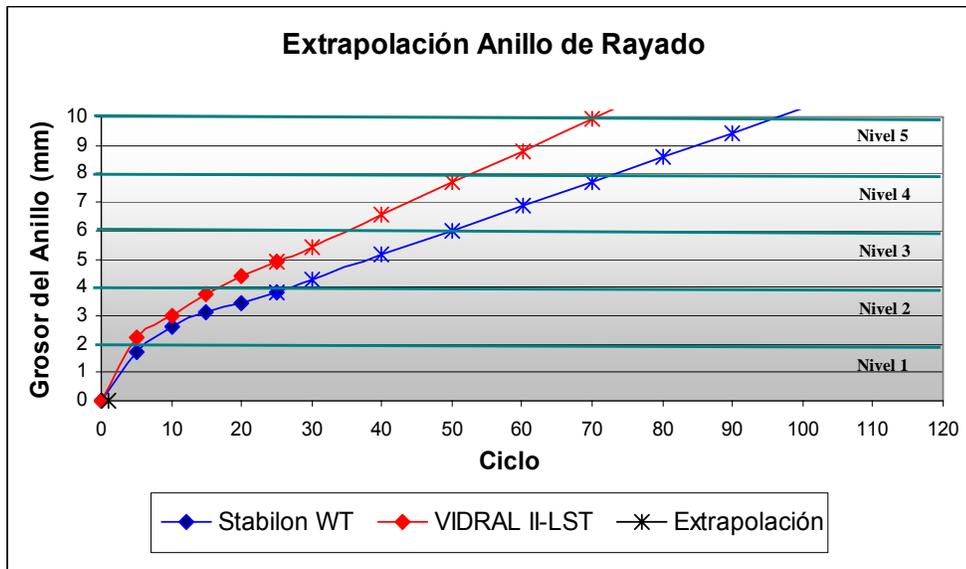


Figura 5.6 Extrapolación del anillo de rayado generado según el aditivo utilizado.

Luego de la extrapolación se puede inferir, que las botellas lavadas con Vidral II-LST[®] son desincorporadas aproximadamente a partir del ciclo 50, mientras que utilizando Stabilon WT[®] como aditivo de la solución de lavado el ciclo de desincorporación se extiende hasta el ciclo 70, con lo cual aumenta el tiempo de vida útil en aproximadamente 20 ciclos disminuyendo significativamente los costos asociados a la adquisición de botellas nuevas.

En cuanto a la pérdida de masa en las botellas, al igual que el anillo de rayado se obtiene una mayor porcentaje de pérdida al usar el aditivo de prueba Vidral II-LST[®], que con el uso de aditivo Stabilon WT[®], sin embargo el porcentaje de pérdida para ambos aditivos es muy pequeño luego de 25 ciclos (0,11 % para el Vidral II-LST[®] y 0,10 % para el Stabilon WT[®]) y se encuentran muy por debajo del máximo límite establecido de 5 % (Libretti 2005), en el cual el espesor de la pared disminuye significativamente haciendo que las botellas sean más susceptible a rupturas debido a la presión interna al momento de ser llenadas; por lo tanto ambos aditivos protegen las botellas efectivamente en cuanto a lo que en pérdida de masa se refiere. En la figura 5.7 se muestran gráficamente el porcentaje de pérdida de masa según el aditivo evaluado y los ciclos a los que fueron sometidos.

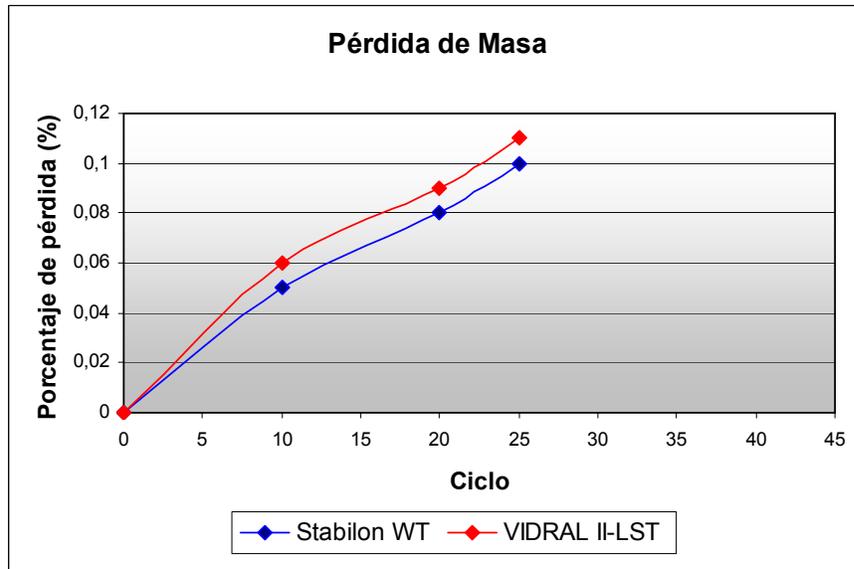


Figura 5.7 Pérdida de masa en las botellas según el aditivo utilizado.

En cuanto a la relación pérdida de masa - anillo de rayado se observa en la figura 5.8 que el Stabilon WT[®] sigue una dependencia lineal con un R^2 de 0,94 al igual que el Vidral II-LST[®] cuyo ajuste a una recta da un valor de R^2 de 0,99 por lo cual se puede suponer que ambos factores están relacionados y son dependientes entre si. Como observación si se elimina el primer punto evaluado para el Stabilon WT[®] los demás puntos se ajustan muy bien a una línea recta con un R^2 de 0,99 por lo

tanto podría existir algún error al momento de realizar las mediciones, posiblemente debido a la irregularidad del anillo en los primeros ciclos de la prueba.

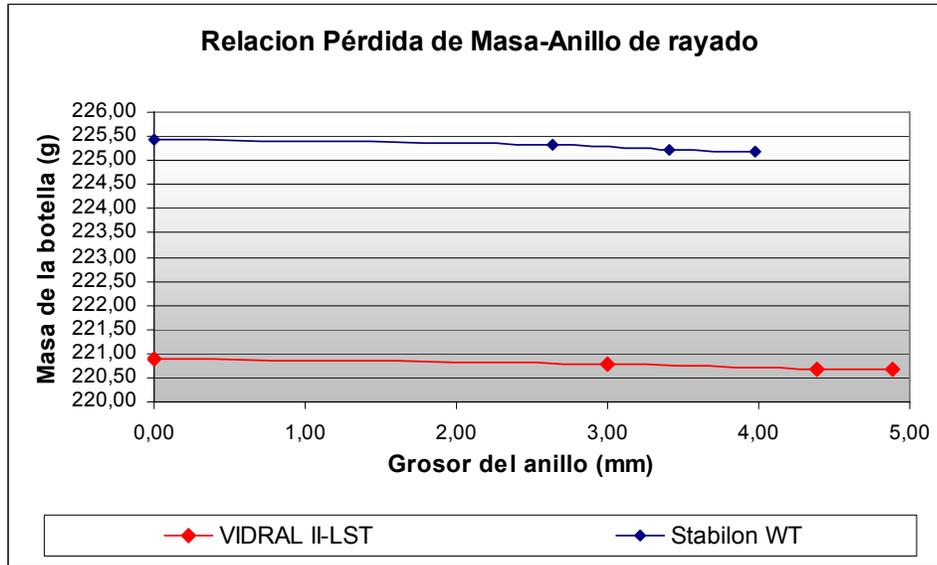


Figura 5.8 Relación pérdida de masa - anillo de rayado.

PRUEBA DE ESTABILIDAD DE LA ESPUMA

Las soluciones de lavado se prepararon a partir de soda cáustica al 50 %, a la cual se le agregó cada aditivo según las recomendaciones del proveedor correspondiente, mostradas en la tabla 4.1.

Las botellas utilizadas fueron del tipo Polar ICE 222 ml. Los aditivos a evaluar fueron el VIDRAL II-LST[®] y el INTEGRA HD[®], este último aunque fue descartado para las evaluaciones por no aprobar las pruebas de eficiencia de lavado, se incluyó en esta prueba solo con carácter investigación.

Se usaron 10 botellas por aditivo, estas fueron sumergidas en la solución de lavado durante 25 minutos y posteriormente enjuagadas con agua suave para retirar los restos de soda cáustica, posteriormente se marcaron con una liga para su identificación y fueron introducidas en la banda de entrada a la llenadora, recuperando las botellas a la salida del pasteurizador. Se procedió a almacenar las botellas por un tiempo de 7 días a una temperatura de $(20 \pm 3)^{\circ}\text{C}$. También se

recolectaron 10 muestras sometidas al proceso real de envasado lavadas con el aditivo STABILON WT[®] al 5 % p/p con respecto a la soda, a manera de comparación con las muestras lavadas a nivel de laboratorio.

Para cada ensayo se siguió la metodología descrita en el “Instructivo de inspección, medición y/o ensayo: Medición de Estabilidad de la espuma en cerveza.”

Luego de medir el tiempo de colapso de la espuma, mediante el equipo especializado para el mismo se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 5.3 Evaluación del tiempo de colapso de la espuma en descender 30 mm para cada aditivo

Aditivo	Tiempo de Colapso de espuma (seg)	Desviación
STABILON WT [®]	264	4
INTEGRA HD [®]	266	5
VIDRAL II-LST [®]	263	4

A los resultados obtenidos, se le aplicó una prueba estadística t con ayuda de la hoja de calculo de Microsoft Excel[®], con el objetivo de verificar si existen diferencias significativas entre los datos obtenidos para los dos aditivos de prueba, Para ello se utilizó como suposición de la hipótesis nula que “las varianzas son iguales entre los aditivos”.

Estos resultados se muestran resumidos en la tabla 5.4. Se puede inferir a partir de estos datos, que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tiempos de colapso de espuma ya que el valor t obtenido (1,187) no supera el valor critico máximo para dos colas (2,306) para un nivel de confianza del 95 %.

Tabla 5.4 Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales.

	Vidral II-LST Integra HD	
Media	262,8	266,4
Varianza	19,2	26,8
Observaciones	5	5
Varianza agrupada	23	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	8	
Estadístico t	1,187	
P(T<=t) una cola	0,135	
Valor crítico de t (una cola)	1,860	
P(T<=t) dos colas	0,269	
Valor crítico de t (dos colas)	2,306	

Finalmente los tiempos de colapso de la espuma obtenidos con el lavado a nivel del laboratorio de los aditivos de prueba fueron comparados con los obtenidos con el aditivo actualmente utilizado para el proceso de lavado: Stabilon WT[®] con botellas sometidas al proceso de real de lavado en la línea de producción numero 3 de Cervecería Polar planta Los Cortijos; en la figura 5.9 se muestran los resultados obtenidos de las pruebas realizadas.

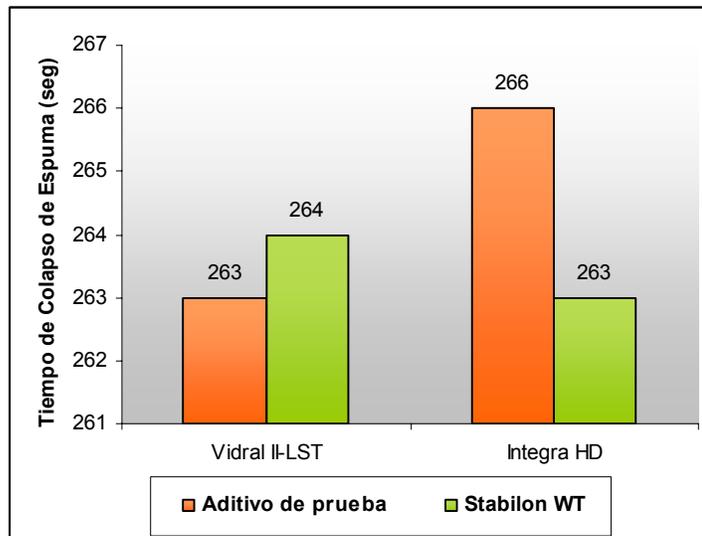


Figura 5.9 Tiempo de colapso de espuma por el Método NIBEM

Al realizar la prueba de análisis de variancia (ANOVA) por el método de Tukey con el objetivo de detectar posibles diferencias significativas entre los resultados obtenidos con el lavado de botellas usando los aditivos de prueba Integra HD[®] y Vidral II-LST[®] a escala de laboratorio con los obtenidos con las botellas lavadas en planta con el aditivo utilizado actualmente Stabilon WT[®], no se encontraron diferencias significativas entre ellas, el resultado de este análisis hecho por el software Minitab se puede observar en los anexos, en el cual se observa que existe superposición entre los intervalos de confianza de cada aditivo evaluado.

Sobre los tiempos obtenidos se puede afirmar que los aditivos no influyen ni afectan la calidad de la cerveza ya que el colapso de espuma se mantuvo sobre el tiempo mínimo permitido por el PIE (Plan de Inspección y Ensayo) De Cervecería Polar de 220 seg.

EVALUACION DE COSTOS

La evaluación de costos estipulada en la metodología solo contempla en los costos de adquisición anual del aditivo, los cuales son obtenidos a partir del consumo anual de soda cáustica en las maquinas lavadoras y las concentraciones de los aditivos recomendados por cada proveedor respecto a la soda cáustica al 50 %.

En la tabla 5.5 se muestra la estimación anual de la cantidad y los costos de los aditivos utilizados tomando como referencia el consumo en la planta cervecera “Los Cortijos”.

Tabla 5.5 Costos de adquisición anuales de aditivos.

Producto (Concentración recomendada)	Cantidad (Ton/año)	Precio (\$/Ton)	Costo anual (\$/año)
Soda Cáustica al 50 %	1200	---	---
VIDRAL II-LST (4%)	48	4.627	220.096
Stabilon WT (5 %)	60	3.716	222.960

Se observa que los costos de adquisición anual de los aditivos evaluados son muy similares, solo una diferencia de 1,2 % de ahorro en los costos se tendría al utilizar el aditivo Vidral II-LST[®] para el lavado de botellas retornables. Sin embargo hay que tomar en cuenta que no solo estos costos influyen en los gastos totales, costos en la adquisición de botellas nuevas, así como la venta de botellas desincorporadas del proceso para reciclaje, son también factores importantes a tomar en cuenta. Por tal motivo un aditivo que proteja la botella y reduzca la pérdida de masa sería el más conveniente y es por ello que se realiza la comparación ponderada en la cual se toma en cuenta la importancia de estas características.

COMPARACIÓN GENERAL DE LOS ADITIVOS

Posterior a las evaluaciones de los diferentes aditivos se procedió a realizar la comparación ponderada de los mismos con respecto al aditivo Stabilon WT[®], utilizado actualmente en las plantas de Cervecería Polar a nivel nacional. En la tabla 5.6 se muestra los porcentajes de mejora o desmejora en los factores evaluados para el VIDRAL II-LST[®] en comparación con el Stabilon WT[®], las flechas indican un incremento o decrecimiento en el factor y los colores, verde en el caso de ser favorable y rojo en caso de ser desfavorable.

Tabla 5.6 Porcentaje de mejora o desmejora por factor evaluado respecto al Stabilon WT[®].

Factores evaluados	VIDRAL II-LST [®]
Eficiencia de Lavado	0 %
Costos	1,2 % ↓
Estabilidad de la espuma	0%
Pérdida de masa	10 % ↑
Anillo de rayado	40 % ↓

En cuanto a los porcentajes no se tienen estadísticamente diferencias significativas tanto para la eficiencia de lavado como la estabilidad de la espuma entre el VIDRAL II-LST[®] y el Stabilon WT[®] por lo tanto en estos aspectos se consideran iguales. En costos de adquisición existe un ahorro de un 1,2 % si se utiliza el Vidral II-LST[®] como aditivo de lavado pero también se obtiene una desmejora del 10 % en el porcentaje de pérdida de masa de las botellas y de un 40 % en el número de ciclos en llegar el anillo de rayado al nivel 4 (8 milímetros) en donde la botella es desincorporada.

En cuanto a la comparación global, se realizó una matriz ponderada que considera el porcentaje de importancia de cada factor según el personal de calidad y envasado de Cervecería Polar. La construcción de la matriz se explica en la metodología de este trabajo. Los resultados se muestran tabla 5.7.

Tabla 5.7 Matriz ponderada de comparación.

Factor	Ponderación (%)	Stabilon WT [®]	VIDRAL II-LST [®]
Eficiencia de Lavado	35	1,75	1.75
Costos	25	1,25	1.28
Estabilidad de la espuma	15	0,75	0.75
Pérdida de masa	12,5	0,625	0.5
Anillo de rayado	12,5	0,625	0.125
Total	100	5	4.4

En base a los resultados obtenidos en la matriz de ponderación se puede afirmar que se obtiene una desmejora integral en el proceso de un 12 % con el uso del aditivo de prueba Vidral II-LST, por lo cual no se recomienda no realizar ningún cambio y seguir utilizando en las máquinas lavadoras de botellas retornables a nivel nacional el aditivo Stabilon WT.

SISTEMA DE SIMULACIÓN DEL EFECTO MECANICO DE LAVADO

El proceso de lavado de botellas retornables, tal y como se mencionó antes depende de la combinación de cuatro factores: Temperatura, tiempo de residencia, efecto químico y efecto mecánico de lavado. Actualmente, Cervecería Polar C.A., dispone de un equipo para la evaluación de los aditivos utilizados como coadyuvantes de la soda cáustica en la solución de lavado. Sin embargo, el equipo disponible para realizar las diversas pruebas, no permite evaluar el efecto mecánico de lavado producido por los sistemas de inyección en las lavadoras de botellas industriales. Con el propósito de mejoras en el sistema de evaluación, se desea diseñar un nuevo equipo de evaluación a nivel de laboratorio que incorpore un sistema de inyección similar al utilizado por las lavadoras a nivel industrial.

BASES Y CRITERIOS DE DISEÑO

En función de las etapas planteadas en la metodología para el cumplimiento de los objetivos propuestos, se presenta a continuación las bases y criterios de diseño para la creación del equipo en cuestión.

Características recomendadas del proceso de tratamiento

El proceso de lavado a nivel de laboratorio deberá cumplir con algunas características recomendadas en general para el lavado industrial, estas características podrían cambiar según las condiciones y directrices de la planta, el estado y la eficiencia de los equipos y el estado de la flota de botellas a utilizar, entre otros.

Entre las características recomendadas que debe cumplir el equipo de lavado de botellas a diseñar, están las siguientes: (Kunze, 1999)

- (a) El tiempo de lavado por inmersión en solución cáustica de lavado debe estar comprendido entre 10 y 30 minutos.
- (b) Las temperaturas para el lavado principal a utilizar para obtener una efectiva limpieza biológica deberá estar dentro del rango de 60 y 85 °C.

- (c) La concentración de soda cáustica (NaOH) en la solución de lavado no debe sobrepasar el 5% p/p para evitar el arrastre excesivo.
- (d) Para los sistemas de inyección se recomiendan presiones de rociado de entre 2 y 2,5 bar.
- (e) El diámetro de los inyectores debe estar comprendido entre 2 y 4 mm.
- (f) El volumen de inyección a cada botella debe ser controlado de manera tal que se evite el efecto de inundación en el cuello de las botellas que impida una efectiva inyección de por parte de los inyectores a su interior.

Materiales de construcción

Debido a las características corrosivas y de alcalinidad de la solución de lavado, además del grado de temperatura necesaria que ésta debe alcanzar en el proceso de lavado de botellas retornables, se utilizará en el diseño materiales y equipos resistentes a estas condiciones.

En la tabla 5.8 se presenta el grado de resistencia de materiales a ambientes corrosivo, en este caso su resistencia a soluciones de soda cáustica a diferentes grados de concentración y temperaturas. A partir de las características mostradas en esta tabla, se decide utilizar para el diseño del equipo, principalmente en los materiales de construcción y dispositivos que se encuentren en contacto con la solución de lavado, aquellos cuya resistencia se encuentre en el rango de excelente a bueno. Preferiblemente se seleccionarán materiales hechos de Acero Inoxidable ANSI-316, debido a que el hierro fundido generalmente presenta con el tiempo una leve capa de oxido que pudiera contaminar los ensayos realizados en el equipo.

Se descarta el uso de materiales no metálicos mostrados en la figura 5.8, debido a la poca resistencia al esfuerzo mecánico de los mismos en comparación con los materiales metálicos.

Tabla 5.8. Resistencia de materiales a ambientes corrosivos

A- Excelente **B-** Bueno **C-** Mediocre **D-** No Recomendable

Fluidos-Medios	Metálicos					No metálicos		
	Bronce Aluminio	Acero al carbono	ANSI 316	Hierro fundido	Buna- N	Teflón	Viton	Nylon
Hidróxido de Sodio (frío) 20%	D	D	A	A	C	A	B	A
Hidróxido de Sodio (caliente) 20%	D	D	A	A	C	A	B	A
Hidróxido de Sodio (frío) 50%	D	A	B	A	B	A	B	A
Hidróxido de Sodio (caliente) 50%	D	B	B	A	B	A	A	A

Descripción General del equipo

El equipo de simulación propuesto permitirá la evaluación de ambos efectos de lavado, para ello, se enfocará en las condiciones de operación (temperatura, concentración y presión de inyección) utilizadas en las lavadoras industriales para la etapa del lavado principal, sin embargo, el diseño permite variar estas condiciones para poder simular cualquier etapa, de ser necesario.

Básicamente está constituido por dos componentes principales: Un tanque de inmersión con control de temperatura que permitirá evaluar el efecto químico de lavado al tiempo estipulado para la prueba y un sistema de inyección para la evaluación del efecto mecánico de lavado. El esquema básico del equipo se muestra en la figura 5.10.

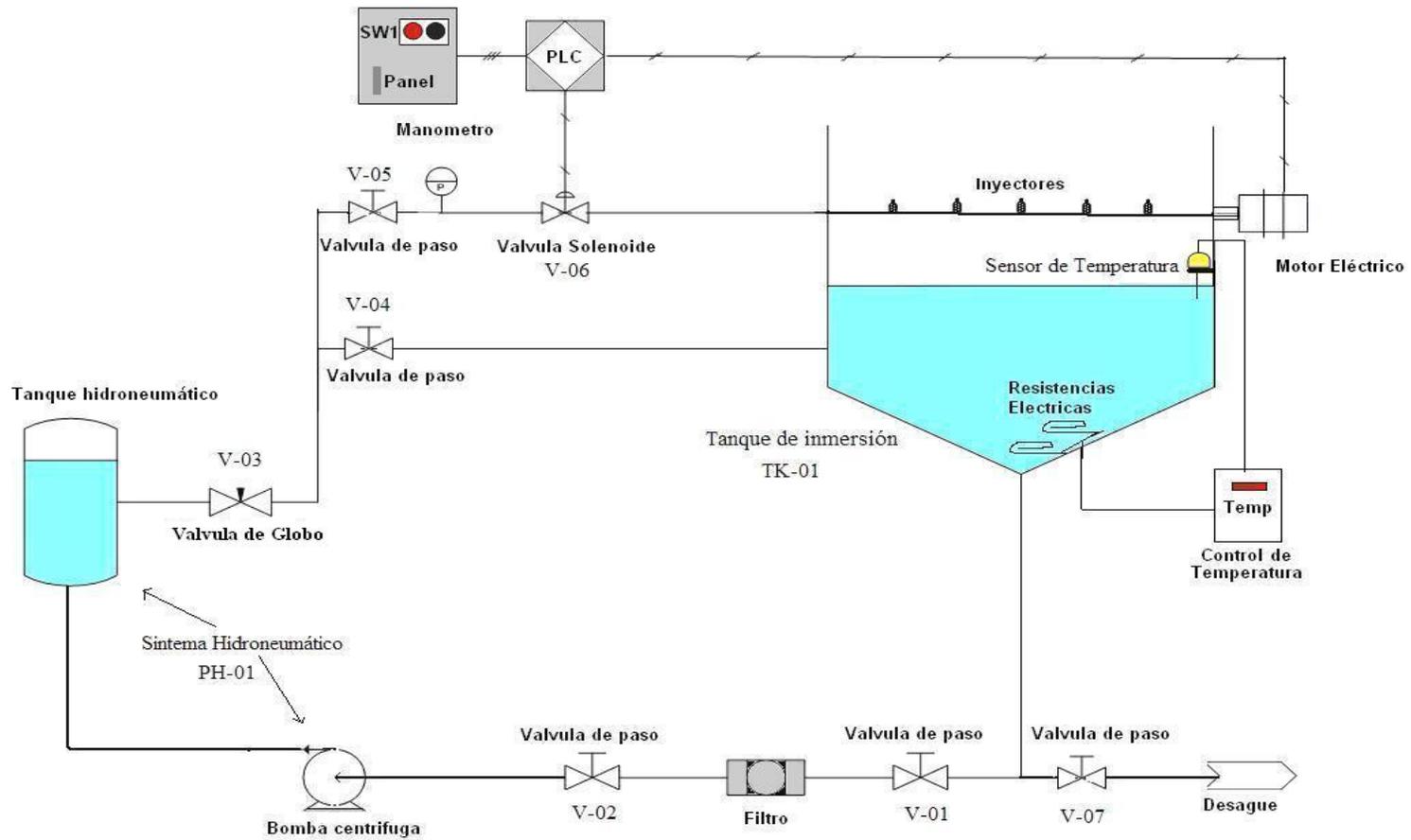


Figura 5.10 Esquema básico del Equipo de lavado a nivel de laboratorio

Descripción y Características del Tanque de Lavado

Se utilizará un tanque (TK-01) como medio de almacenamiento y calentamiento de la solución de lavado, el cual será construido de láminas de acero inoxidable ANSI 316 de 3/16 pulgadas (4 mm) de espesor.

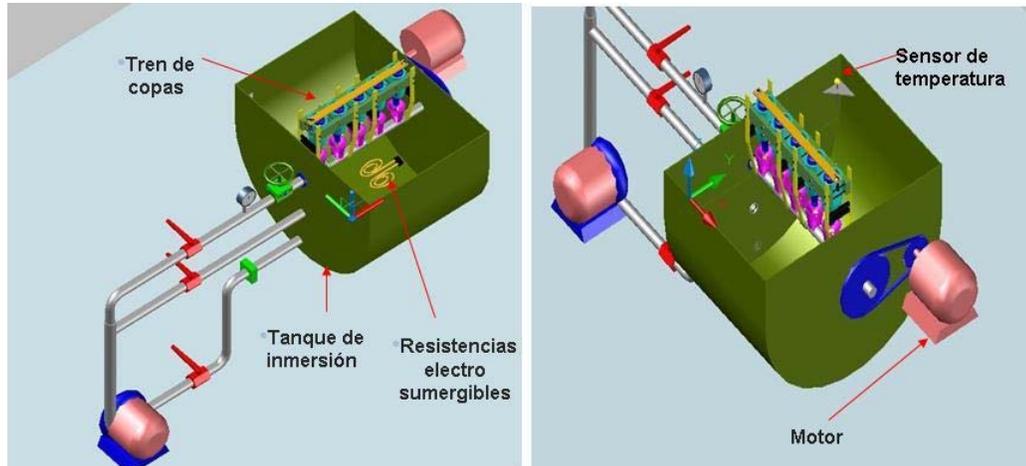


Figura 5.11 Vista en 3D del tanque de inmersión.

Debe cumplir las siguientes características:

1. Cavity en forma de paralelepípedo, cóncava internamente para alojar un eje de tubería perforada “tren de copas” que la atraviese a su largo en la cual se acoplen los implementos de inyección, además del espacio suficiente para la instalación de resistencias electrosumergibles en su fondo.
2. Tapa hecha del mismo material del tanque como medida de seguridad para evitar salpicaduras, ésta debe ser acoplada mediante bisagras en la parte posterior para permitir abrir el estanque sin cargar la tapa.

3. La tubería perforada o tren de copas estará sostenida a lo largo de la cavidad y sobre el nivel del líquido del tanque, unida a la tubería de alimentación del sistema de inyección mediante un sello mecánico.
4. El nivel del detergente debe ser inferior a la parte inferior de la tubería de inyección pero lo suficientemente alto para mantener un NPSH (Net Positive Suction Head) positivo a la entrada de la bomba centrífuga del sistema hidroneumático.
5. Detectores de posiciones límite, Ls1 y Ls2, se usan para saber cuando el tren de copas está arriba (Posición de inyección) o cuando está abajo (Posición de inmersión). Se encuentran fijados en el exterior del tanque, y hacen contacto cuando un pín (bastoncito) de metal instalado en el vástago los activa cuando el tren de copas llega a una posición determinada. Los detectores son del tipo micro-switch que se consiguen con facilidad en el mercado local.

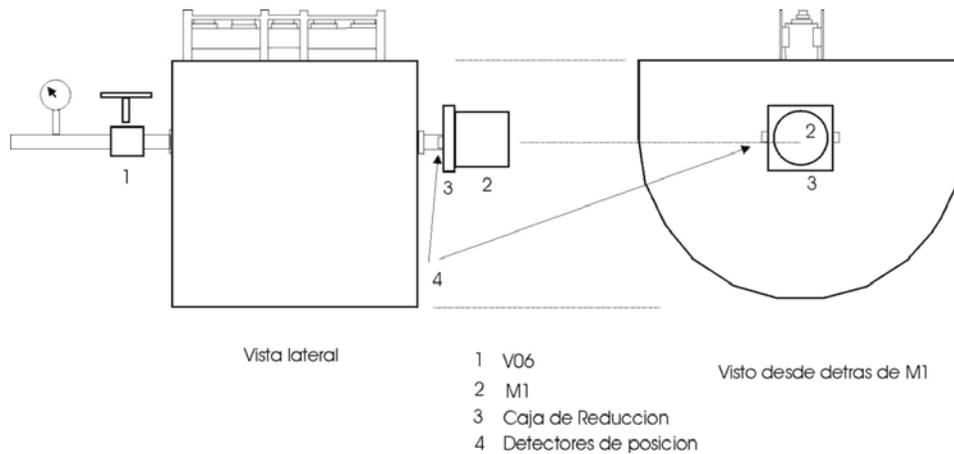


Figura 5.12 Ubicación de los detectores de posición

6. Motoreductor M-01, de corriente continua (DC) para hacer más fácil su control. Funciona en los dos sentidos para hacer que el tren de copas baje y suba.
7. Entre el eje del motoreductor y el eje externo de la tubería de inyección debe existir un espacio que permita adaptar al eje algún pin, polea o engranaje que permita detectar su posicionamiento en sentido angular accionando los detectores de posición.
8. El tanque dispondrá de un sistema de calentamiento constituido por unas resistencias eléctricas sumergibles instaladas en su fondo, estas resistencias estarán conectadas a un control automático termostático (On-Off) que mantendrán la temperatura deseada durante la prueba mediante la medición constante de la misma a través de un sensor de temperatura termoresistivo Pt-100.
9. Como medida de seguridad el tanque estará recubierto con material aislante para evitar quemaduras y a su vez ayudar al proceso de calentamiento de la solución de lavado, preferiblemente del tipo espuma elastomérica el cual es de bajo costo, fácil instalación y resistente a la humedad.

Descripción y características del Sistema de inyección

El sistema de inyección estará instalado dentro del tanque y sobre el nivel del líquido contenido en él, esta tubería estará constituida con los accesorios usados en los sistemas de inyección a escala industrial, tales como: inyector, copas, y cestas; estas últimas están acopladas a la tubería de inyección mediante un armazón o bastidor construido para contener cinco botellas de prueba, como se observa en la figura 5.13.

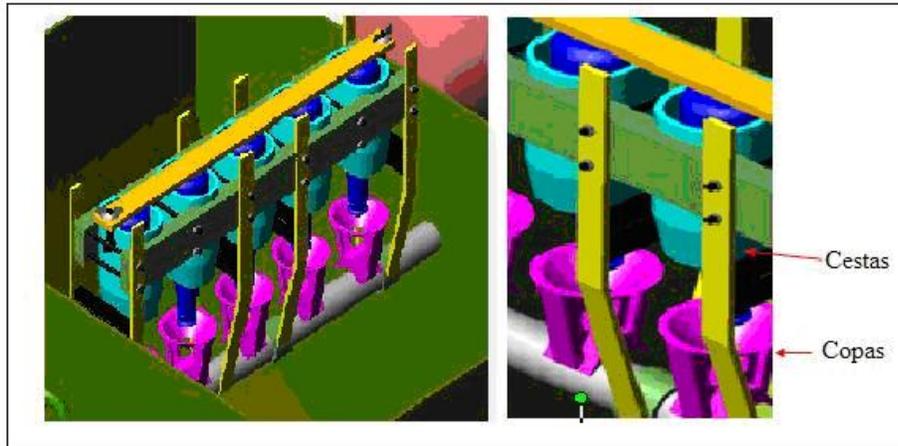


Figura 5.13 Sistema de inyección del Equipo de lavado a nivel de laboratorio

El armazón estará construido de pletinas de acero inoxidable soldadas a la tubería de inyección y juntas entre si mediante una serie de tornillos y tuercas. Las botellas y el tren de copas tal como se tiene previsto deberán de girar 180° para ser sumergidas en la solución de lavado y girar de vuelta a la posición de inyección.

Las características de este armazón serán las siguientes:

1. Dos ejes separados pero alineados, unidos a los extremos del marco del bastidor (no necesariamente en el centro del mismo) los cuales sostendrán las cestas contenedoras de botellas a presión mediante la unión de los mismos por medio de tornillos y tuercas.
2. Un eje superior que tiene como función sostener las botellas al armazón cuando estén sumergidas en el tanque y alinearlas al las copas de lavado, este eje es removible manualmente mediante la manipulación de tuercas tipo mariposas que lo unen al armazón.
3. El tren de copas es una tubería perforada mediante los tornillos inyectoros que usan las maquinas lavadoras a nivel industrial, estos tornillos huecos mantienen las copas acopladas a la tubería y permiten un chorro de inyección de 1/8 de pulgada (3,2 mm).

4. Tanto las cestas como las copas son del tipo estándar utilizadas para el lavado de botellas retornables de 222 ml.
5. El tamaño de el tren de copas condiciona el tamaño del tanque, debido a esto será lo mas pequeño posible, la altura debe ser tal que las botellas colocadas y descansando dentro de las cestas, queden centradas y con sus picos cercanos pero sin contacto con las copas de inyección.
6. El tren de copas ó tubería de inyección estará acoplado en uno de sus extremos a la tubería de alimentación de solución detergente mediante un sello mecánico que permita su giro y además la entrada de líquido detergente. El otro extremo estará sellado herméticamente, conectado a un piñón o rueda dentada que sobresale del tanque, y éste último acoplado al eje de un motoreductor (M-01) el cual es controlado vía PLC que permita la rotación automática del sistema de inyección con el objetivo de sumergir las botellas en la solución de lavado.

Descripción y características del equipo hidroneumático.

El equipo para impulsar la solución de lavado a través de los inyectores esta constituido por un sistema hidroneumático de 20 litros de capacidad, compuesto por una bomba centrífuga y su tanque hidroneumático incorporado.

Las características del sistema hidroneumático serán las siguientes:

1. El material del equipo en contacto con la solución de lavado debe ser resistente a las temperaturas alcanzadas y a la alcalinidad de la solución, preferiblemente de acero inoxidable.
2. El equipo hidroneumático deberá incluir un presostato para regular la presión de salida del tanque de manera que se mantenga prácticamente

constante la presión en el sistema de tuberías del equipo, permitiendo que haya uniformidad en cada prueba realizada.

3. El equipo hidroneumático debe ser capaz activar automáticamente el bombeo hacia su tanque de almacenamiento cuando la presión desciende de un límite establecido.

Descripción y características la válvula de control

Las maquinas lavadoras a nivel industrial tienen incorporadas un sistema Power Jet que permite que el flujo de inyección sea de manera pulsante de hasta 12 pulsaciones por segundos, lo cual permite un incremento en la eficiencia de lavado mayor a lo que haría un flujo de inyección constante, debido al efecto Dupre's. Se desea que el equipo tenga un efecto pulsante en la inyección, pero el tamaño y el costo de instalar un sistema Power Jet hace necesario que se busque otra alternativa. Para simular el efecto pulsante se usará una válvula solenoide controlada vía PLC, que si bien es cierto que no se podría alcanzar el nivel de los equipos Power Jet con ellas en cuanto a las pulsaciones alcanzadas, servirá para hacer comparaciones entre los aditivos sometidos a prueba a pulsaciones menores pero de mayor duración.

Las características de la válvula serán las siguientes:

1. Debe estar construida de acero inoxidable y materiales resistentes a la solución alcalina.
2. Válvula eléctrica tipo solenoide para su fácil instalación, mantenimiento y control.
3. Protección eléctrica grado IP-54 o superior.
4. Debe ser configurada a modo normalmente cerrado, para que solo abra cuando sea activada por el PLC.

5. Debe ser de acción rápida para poder simular el efecto pulsante.

Descripción y características del motoreductor

Los motores mientras más potentes son mas voluminosos, para limitar el tamaño de un motor en una aplicación dada se emplean las cajas de reducción. Estas crean una relación inversamente proporcional a la velocidad, es decir, convierten la velocidad de un motor en fuerza.

Se utilizará para el equipo un motoreductor (M-01), fijado al tanque en su parte exterior y controlado vía PLC como medio mecánico para hacer girar la tubería de inyección y el tren de copas, para ello la tubería debe estar acoplada mecánicamente, es decir, mediante engranajes, correas o cadenas, a la caja de reducción del motoreductor.

El motoreductor deberá cumplir las siguientes características:

1. Motor con caja reductora de velocidad (motoreductor) de manera de regular la velocidad de giro del sistema de inyección y que esta no golpee la superficie de la solución de lavado.
2. Debe cumplir con la norma DIN EN 60529 (código *IP*) o índice de protección de grado IP-54 según la comisión electrónica Internacional, es decir el motor debe aguantar condiciones de polvo en el ambiente y/o posibles baños de material líquido sin afectar su funcionamiento.
3. Deberá trabajar con corriente continua (DC) para mayor control del frenado del bastidor, debido a que los de corriente alterna (AC) poseen un cierto retraso por la naturaleza del tipo de electricidad.

4. Debe ser capaz de levantar el peso de la tubería de inyección junto con su bastidor o tren de copas, las botellas llenas, así como también vencer la resistencia del líquido de la solución mientras el tren de copas se encuentren sumergido.
5. El motoreductor debe permitir el cambio de giro mediante el cambio en la polaridad del voltaje aplicado a su alimentación, esto se hace mediante la acción de un rele de tipo polarizado.

Descripción de los demás componentes del equipo

El resto del equipo lo componen una serie de válvulas de paso rápido tipo globo, una serie de tuberías y componentes de adaptación, un filtro de malla para proteger el equipo de bombeo, el sello mecánico para permitir la rotación de la tubería de inyección, una válvula de globo para regular el flujo de solución a ser inyectado a las botellas, un manómetro para controlar la presión de inyección, detectores de posición para detectar y controlar el giro de la tuberías y los reles de contacto que permitirá activar el motor y la válvula cuando sea necesario.

Características necesarias de los componentes:

1. Las tuberías deber ser se acero inoxidable cedula 80 pues a pesar de que se trabaja a bajas presiones la solución de lavado es alcalina.
2. Las tuberías deben ser del mismo tamaño de las usadas las lavadoras industriales en sus sistema de inyección (1,5 pulgadas).
3. Los componentes del sistema de inyección (copas, cestas, inyector) serán los mismos utilizados en las lavadoras industriales.
4. El filtro debe ser de malla de acero inoxidable con tamaño de orificios lo suficientemente pequeños para detener cualquier objeto extraño hacia el

equipo de bombeo, pero además debe brindar una baja caída de presión en el sistema.

5. El sello mecánico debe estar instalado dentro del tanque, por si existe alguna pequeña fuga de la solución de lavado, ésta derrame dentro del tanque de inmersión.
6. Las válvulas de globo deberán ser de acero inoxidable.
7. Las conexiones eléctricas al equipo deberán estar protegidas a posibles baños accidentales de la solución de lavado.
8. Los equipos eléctricos en contacto con el tanque deberán tener al menos un grado de protección IP 45.
9. Un manómetro de 0 – 4 barg con toma de acero inoxidable para evitar la corrosión producida por la solución de lavado.

Descripción y características del PLC (Programable Logic Controller)

El PLC será el equipo encargado para el control del motor y la válvula solenoide. Este equipo funciona a partir de una serie de instrucciones o programa guardado en su memoria. El PLC controla el proceso activando una serie de actuadores o relés que permiten conectar o desconectar los equipo a ser controlados a sus respectivas fuentes de energía.

Los PLC modernos pueden guardar hasta 2000 instrucciones, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, la modificación o alteración de los mismos permiten de manera relativamente sencilla modificar el proceso de ser necesario.

En nuestro caso, el control de la válvula y el motor permitirá realizar el proceso de la prueba de manera automática, inyectando la cantidad de líquido necesario cada segundo al interior de las botellas, de esta manera se asegurará que todas las botellas sean sometidas al mismo tiempo de residencia y que el proceso de evaluación sea lo mas idéntico al probar uno u otro aditivo.

El PLC deberá estar conectado a un panel de interruptores de interfase hombre maquina para proporcionar las funciones de entrada, cada interruptor activará una operación previamente asignada a ese interruptor en específico y programada en la memoria interna del PLC.

Inicialmente estaría asignado un interruptor para encender el equipo y comenzar el proceso de lavado completo tanto por inmersión como por inyección, un interruptor para detener y dejar el tren de copas en posición para reiniciar o apagar el proceso y por ultimo un interruptor de emergencia en caso que el equipo presente alguna falla grave.

Las características deseadas del PLC:

1. Fácil adquisición de sus componentes en el país.
2. Relativamente económico.
3. Que permita procesar formulas matemáticas.
4. Que posea funciones integradas de contadores y posicionadores.
5. Su configuración e interfase de programación sea rápida y sencilla.
6. Debe poseer una interfase hombre maquina para poder activar las entradas a manera de panel de control.

7. Poseer la capacidad de trabajar con al menos 3 entradas físicas, las cuales son necesarias para controlar todo el equipo tal y como esta planteado su funcionamiento.
8. Capacidad de trabajar tanto con corriente de 110 V como de 220 V, lo cual permitiría la movilidad del equipo del laboratorio a la planta de ser necesario.
9. Protección eléctrica al polvo y salpicaduras al menos de grado IP 65.

Descripción del proceso de lavado para la programación del PLC

Para facilitar las instrucciones que se deben programar en la memoria del PLC se definirán una serie de parámetros que serán de utilidad para la realización de los diagramas de flujo del programa:

1. Se define la posición de reposo o de inyección de la siguiente manera: visto M-01 desde atrás e instalado en su posición en el tanque, el bastidor o tren de copas debe tener una posición tal que las botellas estén boca abajo.
2. Se define la posición de inmersión de la siguiente manera: un giro de 180° del armazón o tren de copas con respecto a la posición de inmersión de tal manera que las botellas se encuentren sumergidas en la solución de lavado y boca arriba.
3. Se define giro CW como en sentido de giro de las manecillas del reloj.
4. Se define giro CCW como en sentido contrario al giro de las manecillas del reloj.

5. Se define t como una variable dentro del programa del PLC que es un contador restituible y configurable sirve como temporizador general del proceso, sus incrementos son equivalentes a segundos reales.
6. Se define Nlv como un contador similar a t pero donde se almacenan las veces que las botellas se lavan.
7. Nr la variable, similar a las anteriores, pero donde se almacenan el número de rociados de las botellas.
8. Se define Nlt como la variable que guarda el número de ciclos completos, [2 x (lavados + rociados)].
9. Se define el estado de la válvula solenoide, V-06, descrita anteriormente, como 1 si esta está activada (deja pasar detergente) y 0 si no lo está (se encuentra cerrada).
10. Se define el estado de los detectores Ls1 y Ls2 de posición como 1, cuando se encuentran activados y 0 cuando no lo están.

Configuración de los interruptores de señales de entradas del PLC en proceso de lavado del equipo

- a) Configuración de señal de inicio del proceso de lavado

Una vez programados los interruptores de señales de entradas del PLC y suponiendo que el interruptor a activar sea el del programa de lavado completo, éste se ejecutaría de la forma como se muestra en la figura 5.14

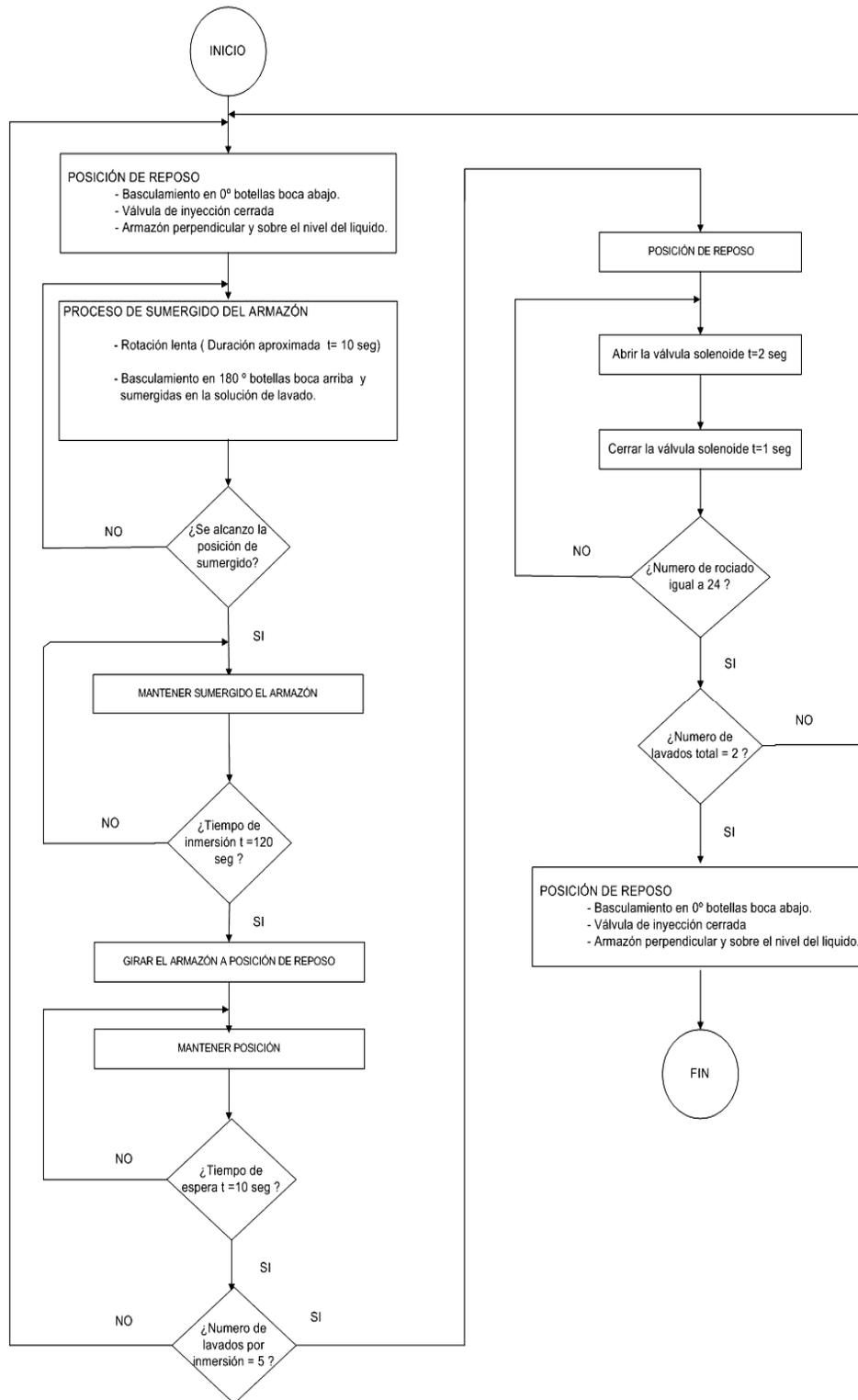


Figura 5.14 Esquema del proceso de lavado completo del equipo

A partir del diagrama anterior es posible configurar el equipo de dos maneras:

1. Que el tren de copas o bastidor gire en un solo sentido CW para llegar a la posición de inmersión, y continúe en ese sentido CW para de nuevo a la posición de reposo o de inyección.
2. Que el tren de copas gire en un sentido CW para llegar a la posición de inmersión y se devuelva en el sentido contrario CCW para llegar a la posición de reposo o de inyección.

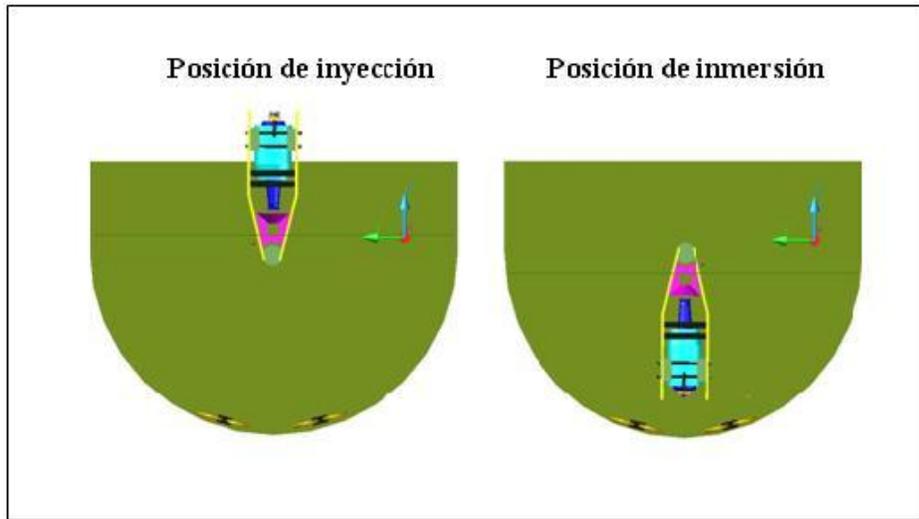


Figura 5.15 Posición de inyección he inmersión del tren de copas

Para la configuración del equipo es preferible que este gire en un solo sentido, debido que se ahorra circuiteria de comandos para el funcionamiento del motor, ya que para hacerlo girar en ambos sentidos se necesitaría un rele especializado del tipo polarizado que cambie la polaridad del motor. Sin embargo se dejan a continuación los diagramas de flujo para la programación del PLC en ambos sentidos:

b) Configuración de señal de reseteo o finalización del proceso de lavado

Al activar este interruptor se lleva el equipo a la posición de reposo, su función es llevar el equipo a la posición inicial para realizar una prueba nueva, en caso de que suceda un error ó para apagar el equipo. Su esquema de proceso seria el siguiente.

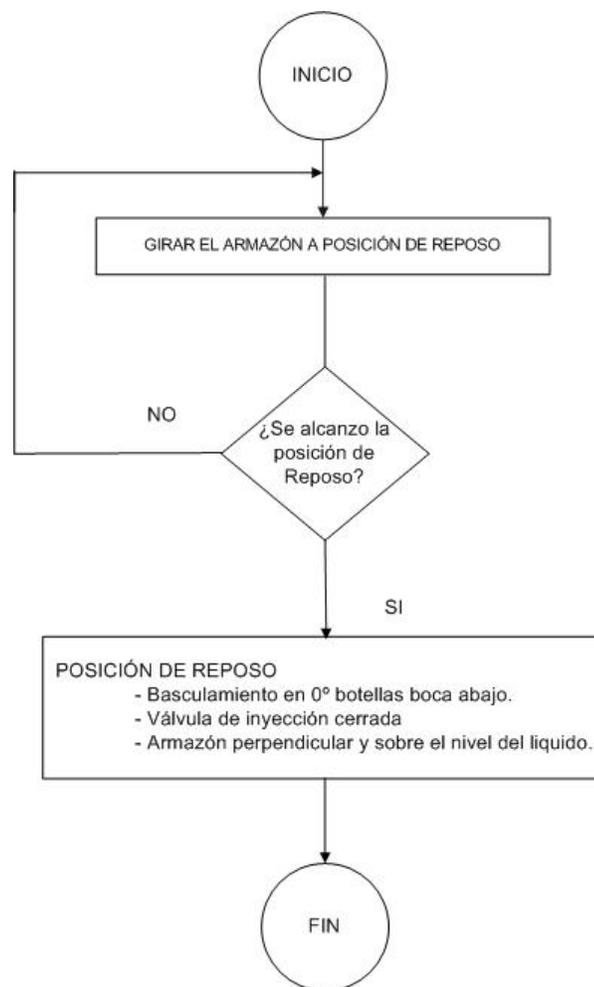


Figura 5.18 Esquema del proceso de reseteo o finalización del proceso de lavado

Mientras que el diagrama de flujo para la programación del proceso de reseteo o parada del equipo quedaría de la siguiente manera:

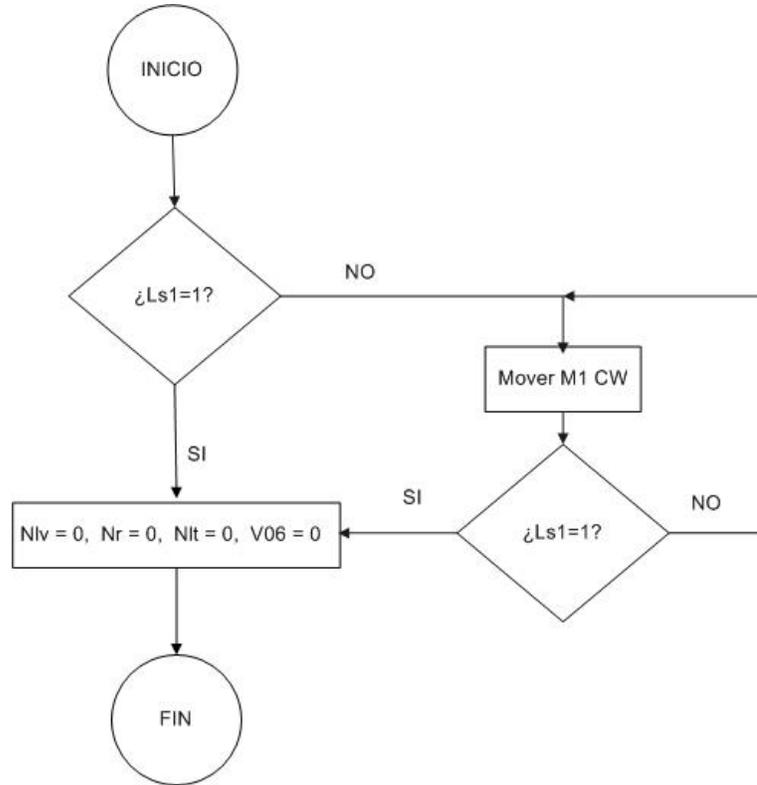


Figura 5.19 Diagrama de flujo del programa de reseteo o finalización del proceso de lavado.

c) Configuración de señal de parada de emergencia

Al activar este interruptor se corta toda señal del PLC hacia el motor y la válvula, de esta manera el equipo se para en el acto y la válvula solenoide se cierra ya que esta activada de modo normalmente cerrado. La función del interruptor es parar el proceso en caso de que ocurra alguna falla grave en el sistema. Tanto el esquema del proceso (figura (20.a)) como el diagrama de flujo del programa (figura (20.b)) son muy similares y se muestran a continuación:

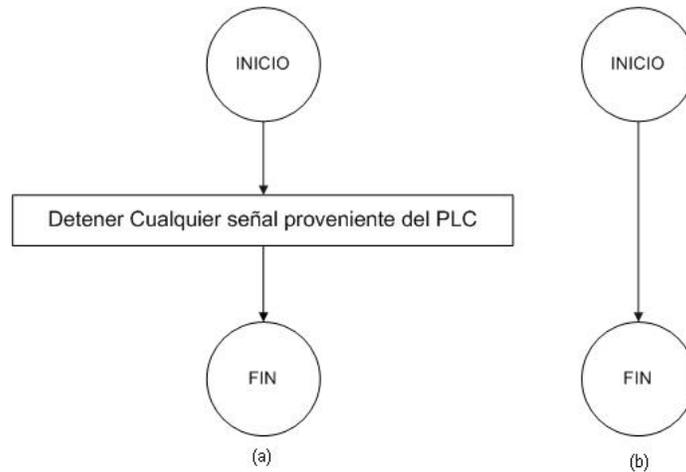


Figura 5.20. Esquema y diagrama de flujo del programa de parada de emergencia del proceso de lavado

Instructivo de operación del equipo proceso de lavado a nivel de laboratorio

Aunque el equipo de simulación de lavado presentado en este trabajo especial de grado no se ha construido aun, se presenta a continuación un instructivo de operación para su uso, a manera de ejemplificar los pasos a seguir para su futuro uso.

Este instructivo se enfoca solo en la parte de lavado de las botellas debido a que las metodologías de las diversas pruebas a nivel de laboratorio aplicadas a los aditivos para la solución de lavado son distinta en su preparación según el tipo prueba que se vaya a realizar (Ver sección de metodologías). Sin embargo, la parte aplicada al proceso de lavado es similar en todas ellas, por lo tanto el funcionamiento del equipo en el proceso de lavado se realizaría de la siguiente manera para cualquier prueba

- (a) Calibrado de la válvula de Globo para la regulación de flujo

Para garantizar el flujo de solución de lavado a los caudales para los cuales las diversas unidades fueron diseñadas, y con el objetivo de realizar el proceso de

inyección efectivo y sin que se produzca el fenómeno de inundación los cuellos de las botellas de prueba, se debe calibrar la válvula de globo, la cual regula el flujo de inyección. Esta calibración debe hacerse una vez y no mover más el regulador de flujo de la válvula de globo.

Para esta operación se necesitara un cilindro graduado de 2 Litros y un cronometro, tomando como referencia la Figura 5.10 “Esquema básico del Equipo de lavado a nivel de laboratorio”

Esta operación se realizaría de la siguiente manera:

1. Asegurar se que todas las válvulas se encuentran cerradas.
2. Se llena el tanque de inmersión con agua, lo suficiente para que el nivel de la misma este por debajo de la tubería de recirculación.
3. Se abren completamente las válvulas de paso V-01; V-02, V-04.
4. Se enciende el sistema hidroneumático ajustando la presión de salida del tanque hidroneumático a la presión de operación calculada para el equipo, esto se realiza mediante manipulación del presostato que ya viene incorporado en el sistema hidroneumático.
5. Se espera a que el sistema alcance la presión de operación.
6. Se abre la válvula de globo un poco lo cual permitirá un flujo continuo a través de la tubería de recirculación, con la ayuda del cronometro se coloca el cilindro graduado durante 5 segundos a recolectar agua de la salida de la tubería de recirculación.
7. Se calcula el caudal de liquido mediante la siguiente ecuación:

$$Caudal(Litros / seg) = \frac{Nivel \text{ de liquido recolectado (Litros)}}{5 \text{ seg}} \quad (\text{Ec.8})$$

8. Con el caudal obtenido se procede a modificar empíricamente el flujo de regulación abriendo o cerrando la válvula de globo según sea el caso, hasta obtener el caudal deseado, repitiendo los paso 6 al 8 hasta que este se alcance.
9. Una vez que se obtenga el caudal se repite 3 veces la medición para verificar que esta sea la correcta y se deja la válvula sin moverse en esa posición durante todas las pruebas.

(b) Llenado y preparación de la solución de lavado

10. Asegurarse de que todas las Válvulas estén cerradas.
11. Se llena el tanque de inmersión con la solución de lavado según la concentración de soda-aditivo establecida para la prueba dentro del rango de nivel de líquido necesario según los cálculos realizados para el diseño.
12. Se selecciona el set point (80°C) en el control de temperatura para la prueba, se tapa el tanque y se espera hasta que se alcance la temperatura seleccionada.

(c) Preparación del equipo para la prueba

13. Una vez alcanzada la temperatura se procede a abrir la válvula de entrada hacia el filtro (V-01), hacia la entrada de la bomba del tanque hidroneumático (V-02), la válvula globo (V-03) ya se encuentra abierta según la calibración realizada para la regulación de flujo, se abre la válvula de paso (V-05) hacia la válvula solenoide (V-06) .

14. Encender el sistema hidroneumático, ajustar el presostato y esperar hasta que el tanque alcance la presión necesaria, verificar la presión alcanzada en el manómetro de la tubería de inyección y que esta se encuentre dentro del rango óptimo de inyección según los cálculos realizados (Nota: La bomba del hidroneumático se apaga automáticamente una vez alcanzada la presión deseada y se enciende cuando la presión baja de cierto límite establecido).
15. Colocar las botellas para las pruebas en el armazón de la tubería de inyección y asegurarlas al equipo.
16. Cerrar la tapa del tanque.
17. Activar el interruptor del controlador del PLC que ejecuta el programa específico para la prueba.

(d) Procedimiento de lavado automatizado con el PLC

Una vez programados los interruptores del PLC y suponiendo que el programa a activar sea el del lavado completo, y que el tiempo de inmersión total establecido para la prueba sea de 20 minutos, éste proceso se ejecutaría de la siguiente forma:

(e) Etapa de inmersión

18. Al activar el interruptor el motor se activa y gira la tubería 180 grados para sumergir las botellas en el tanque de soda. Estas se mantendrán 120 segundos sumergidas y luego volverían a la posición de reposo o de inyección durante unos 10 segundos para vaciarse, seguidamente se repite este movimiento hasta alcanzar 5 ciclos de inmersión.

(f) Etapa de Inyección

19. Al finalizar la primera etapa de inmersión las botellas regresan a la posición de inyección y comienza la primera etapa de inyección, el PLC da la señal para que la válvula solenoide normalmente cerrada, se

abra durante dos segundos, dejando pasar la solución de lavado perpendicularmente al interior de la botella luego se cierre por un segundo, para luego volver abrir repitiendo este ciclo 24 veces seguidas.

20. Se vuelve a repetir las etapas de inmersión e inyección, pasos 18 y 19 una vez más y se termina el proceso de lavado para las muestras.

21. El armazón vuelve a la posición de reposo para poder extraer las muestras lavadas.

(g) Enjuague con agua

Una vez culminadas todas las pruebas se procede al enjuague del sistema para retirar los restos de solución de lavado y dejar el equipo óptimo para su próxima utilización.

22. Se apaga el equipo Hidroneumático y se cierra la válvula de paso rápido V-05 y la válvula de paso hacia el sistema hidroneumático V-02.

23. Se abre la válvula de la tubería de desagüe V-07 para que salga la solución de lavado del tanque principal.

24. Se abre la válvula V-04 hacia la tubería de reciclaje para que salga la solución de lavado que aun se encuentra presurizada en la tubería.

25. Se purga el tanque hidroneumático para sacar los restos de solución contenida en el.

26. Se procede a enjuagar con agua fresca el tanque y el armazón de inyección.

27. Se cierra la válvula de desagüe V-07

28. Terminado el enjuague, se procede a realizar el lavado como está descrito desde los pasos 10 al 21 pero con agua fresca en reemplazo de

la solución de lavado esto con el objetivo de eliminar los restos de solución dentro de la tubería de inyección.

29. Se procede nuevamente a enjuagar con agua fresca como se describe los pasos 22 al 27.
30. Se cierran todas las válvulas y se apagan todos los componentes eléctricos del equipo.

CAPITULO VI

CÁLCULOS DE DISEÑO

A continuación se presentan de forma detallada, los cálculos realizados para el diseño de las unidades pertenecientes a este Trabajo Especial de Grado:

1. Tanque de lavado

El tanque esta formado por una sección circular de 41,5 centímetros de radio en su fondo, la cual tiene como centro en el eje de la tubería de inyección, permite que el tren de copas rote con el suficiente espacio en el fondo del mismo para poder colocar las resistencias eléctricas. Posterior a esta sección circular, el tanque se extiende de manera rectangular unos 20 centímetros hasta su borde, de manera que sea posible instalar una tapa para evitar salpicaduras y que exista una distancia del nivel del líquido del tanque y el borde de al menos 30 centímetros de largo, el tanque tiene una longitud de 60 centímetros lo suficiente para albergar el tren de copas con 5 botellas de prueba y dejar un espacio necesario para colocar tanto el sello mecánico como el sensor de temperatura Pt-100.

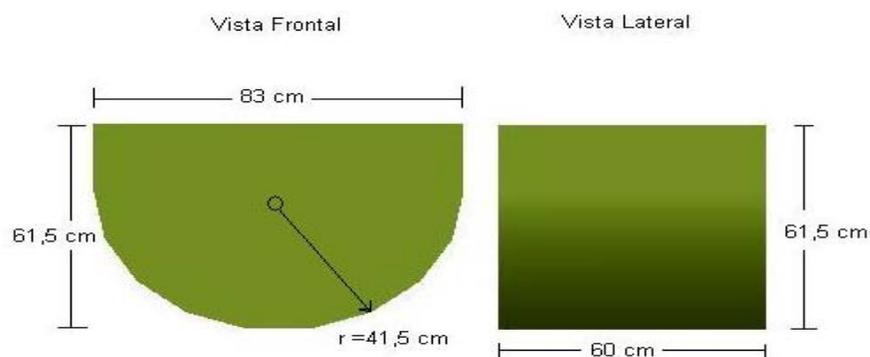


Figura 6.1 Dimensiones de las caras del tanque de lavado.

2. Nivel de líquido

Se tiene previsto que el nivel de líquido este comprendido entre 28 a 36 centímetros de altura desde la base del tanque de manera que es lo suficiente profundo para que las botellas sean sumergidas y lo suficientemente bajo para que no sea cubierta la tubería de inyección.

3. Volumen de líquido contenido en el tanque

Para calcular el volumen de líquido contenido en el tanque primero se debe calcular el área superficial del nivel de líquido, la cual se calcula a partir del área de una sección circular. Tomando como base un nivel de líquido de 32 cm. en promedio. Se tiene que la sección circular del nivel de líquido en el tanque (área marcada), esta definida por las siguientes ecuaciones:

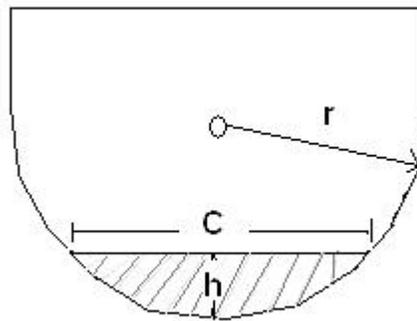


Figura 6.2 Área de sección circular

$$h = r - \frac{1}{2} \times \sqrt{4r^2 - C^2} \quad (\text{Ec. 9})$$

$$r = \frac{C^2 + 4h^2}{8h} \quad (\text{Ec.10})$$

$$A_{NL} = r^2 \times \arccos\left(\frac{r-h}{r}\right) - (r-h)\sqrt{2rh-h^2} \quad (\text{Ec. 11})$$

Donde:

C: Longitud del nivel de liquido (cm.)

h: Altura del nivel de liquido (cm.)

r: radio de la sección circular del tanque de lavado (cm.)

$$A_{NL} = (41,5)^2 \times \arccos\left(\frac{41,5-32}{41,5}\right) - (41,5-32)\sqrt{2 \times 41,5 \times 32 - 32^2}$$

$$A_{NL} = 1924 \text{ cm}^2$$

Por lo tanto a partir de esta área y la longitud del tanque obtenemos el volumen de diseño del líquido contenido en el tanque al nivel preestablecido.

$$V_{NL} = A_{NL} \times L \quad (\text{Ec.12})$$

Donde:

V_{NL} : Volumen del nivel del liquido (cm³)

A_{NL} : Área superficial del nivel del liquido (cm²)

L: longitud del tanque (cm)

$$V_{NL} = 1924 \times 60 = 115440 \text{ cm}^3$$

$$V_{NL} = 115,4 \text{ Litros}$$

4. Flujo de líquido en el sistema

Los sistemas de inyección industrial trabajan con un flujo de líquido de inyección de 60 mililitros sobre segundo por botella para los envases de 222 ml, el cual permite una efectiva limpieza en las botellas y evita la inundación en el cuello de las botellas que puede ocurrir a flujos mayores. Por lo tanto para el equipo diseñado que carga 5 botellas en el tren de copas el flujo de inyección total sería:

$$Q_{\text{inyec}} = N^{\circ} \text{inyectores} \times \text{Flujo de inyección recomendado (Ec.13)}$$

Donde:

Q_{inyec} : Flujo total de inyección

$$Q_{\text{inyec}} = 5 \times 0,06 \text{ L/seg} = 0,3 \text{ L/seg}$$

$$Q_{\text{inyec}} = 18 \text{ L/min}$$

Como todo el líquido que entra al sistema sale por el sistema de inyección, este flujo será el seleccionado para hacer todos los cálculos posteriores para el diseño.

5. Velocidad de flujo en las tuberías

Para realizar los cálculos de pérdida por fricción en las tuberías es necesario calcular la velocidad del flujo de líquido en ellas.

En donde la velocidad se calcula de la siguiente manera.

$$v_i = \frac{Q_T}{A_i} \quad (\text{Ec.14})$$

Donde:

v_i : Velocidad lineal de flujo del componente i (m/seg)

Q_T : Flujo total (m³/min.)

A_i : Área de la sección transversal de i (m²)

Para la tubería de 1,5 pulgadas a partir de la tabla de diseños de tubería del apéndice C tenemos que el área de su sección transversal es de:

$$A_{\text{tubería}} = 0,00114 \text{ m}^2$$

Por lo tanto la velocidad de flujo por la tubería de 1,5 pulgadas es de:

$$V_{\text{Tubería}} = \frac{0,018 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}}{0,00114 \text{m}^2} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{seg}} = 0,263 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

Mientras que para los inyectores de las tuberías que tienen un diámetro de 1/8 de pulgada ó 3,2 milímetros calculando su área en metros cuadrados tenemos:

$$A_{\text{inyec}} = \frac{\pi \times D^2}{4} \times N^{\circ} \text{ de inyectores (Ec.15)}$$

Donde:

D: diámetro de la sección circular (m²)

$$A_{\text{inyec}} = \frac{3,14 \times (0,032 \text{m})^2}{4} \times 5 = 0,0004 \text{m}^2$$

Y la velocidad de salida de flujo en el sistema de inyección:

$$V_{\text{inyec}} = \frac{0,018 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}}{0,0004 \text{m}^2} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{seg}} = 7,5 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

6. Numero de Reynolds para las secciones de tubería

Para realizar estos cálculos se tomarán como base tanto para los valores de densidad como los de viscosidad los valores tabulados para el agua pura a 80° C que

es la temperatura máxima de trabajo del equipo. Debido a que la soda cáustica se encuentra lo suficientemente diluida en la solución (2,5% p/p)

Por lo tanto:

$$\rho (80\text{ }^{\circ}\text{C}) = 1\text{ g/cm}^3 = 1000\text{ kg/m}^3$$

$$\mu (80\text{ }^{\circ}\text{C}) = 0,35\text{ cp} = 0,00035\text{ Pa}\cdot\text{seg}$$

Donde:

$\rho (80\text{ }^{\circ}\text{C})$: Densidad del líquido a 80 °C

$\mu (80\text{ }^{\circ}\text{C})$: Viscosidad del líquido a 80 °C

Para el cálculo del número de Reynolds se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Re} = \frac{D \times v \times \rho}{\mu} \quad (\text{Ec.16})$$

Por lo tanto el número de Reynolds para la sección tubería de 1,5 pulgadas es:

$$\text{Re}_{\text{tuberías}} = \frac{0,038\text{m} \times 0,263 \frac{\text{m}}{\text{seg}} \times 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{0,00035\text{Pa}\cdot\text{seg}} = 28554 \quad (\text{Régimen turbulento})$$

Mientras que para los orificios de los inyectores:

$$\text{Re}_{\text{inyec}} = \frac{0,0032\text{m} \times 7,5 \frac{\text{m}}{\text{seg}} \times 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{0,00035\text{Pa}\cdot\text{seg}} = 68371 \quad (\text{Régimen turbulento})$$

Ambos valores se encuentran en la zona de régimen turbulento N° Reynolds > 10.000.

7. Cálculos del factor de fricción en la tubería de 1,5 pulgadas.

Para el cálculo del factor de fricción de Fanny se necesita la rugosidad relativa la cual se obtiene de la figura C.1 del apéndice C.

Para acero comercial de 1,5 pulgadas la rugosidad relativa reportada es de:

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0,0012$$

Por lo tanto el factor de fricción de Fanny para régimen turbulento se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$f = \left[-3,6 \cdot \log \left(\frac{6,9}{\text{Re}} \right) + \left(\frac{\varepsilon}{D} \right)^{1,11} \right]^{-2} \quad (\text{Ec.17})$$

De la cual se obtiene, que para una aspereza relativa de 0,0012 y un número de Reynolds de 28554 el factor de fricción de Fanny generado da como resultado:

$$f = 0,0067$$

8. Coeficientes de resistencia para la sección de tubería de 1,5 pulgadas

Para poder calcular las pérdidas por fricción en las tuberías y accesorios es necesario obtener los coeficientes de resistencia para cada uno de ellos. Para ello en la siguiente imagen se muestra la vista lateral del equipo en donde es posible identificar los componentes necesarios para realizar estos cálculos.

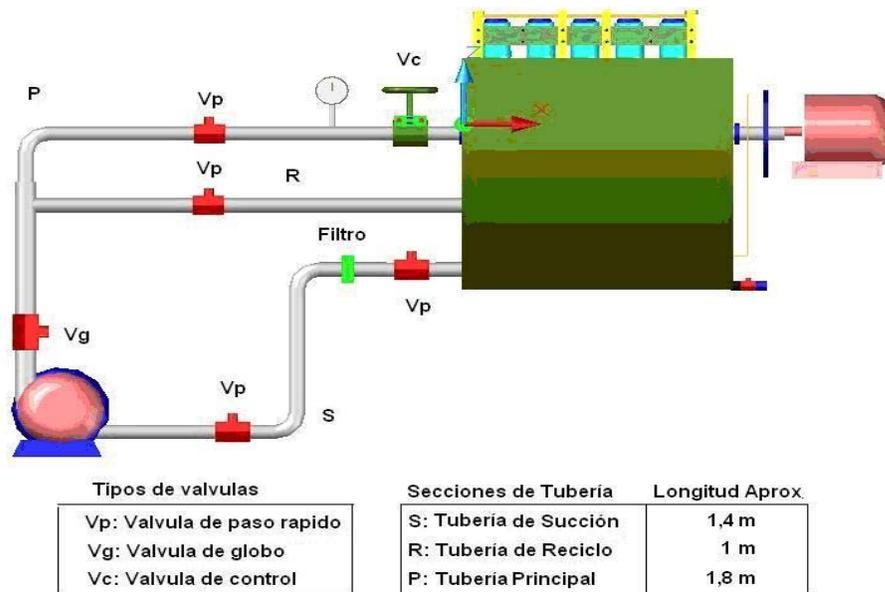


Figura 6.3 Vista lateral del equipo de lavado y sus accesorios.

Los componentes del equipo y sus respectivos coeficientes de resistencia se resumen de la siguiente manera:

- Una contracción en el fondo del tanque con entrada aguda del fluido la cual posee un coeficiente de resistencia de $K=0,5$ según la figura de coeficiente de resistencia para cambios de la sección transversal que se encuentra en el apéndice C.
- Tres válvulas de paso rápido totalmente abiertas que se encuentran funcionales al momento de la prueba, la válvula de la sección de tubería R solo se utiliza para recirculación y mantenimiento. Estas válvulas poseen según la tabla C.3 d del apéndice C, un L/D de 18.

A partir de este dato y de la figura C.3, en la cual se reportan los coeficientes de resistencia de las válvulas se obtiene el valor de $K=0,32$ para cada una de ellas.

- c) Una válvula de globo reguladora de flujo, cuyos cálculos son similares los de las válvulas de paso, en este caso se obtiene un L/D de 340 y un coeficiente de resistencia de $K=9$
- d) Para la válvula de control debido a que no se tienen estos datos experimentalmente se tomará un coeficiente de resistencia similar a la válvula de globo $K=9$
- e) Se tiene una conexión tipo T cuyo valor del coeficiente de resistencia según la figura C.2 del apéndice C es de $K = 0,9$
- f) Cuatro codos de noventa grados cuyo valor del coeficiente de resistencia según la figura C.2 del apéndice C es de $K = 0,35$ cada uno.
- g) La longitudes totales aproximadas de las secciones de tubería son:
 - Tubería de succión: 1,4 metros
 - Tubería Principal: 1,8 metros
 - Tubería de recicló: 1 metro, del cual, solo a 0,4 metros de ella le entrara líquido con el uso del sistema hidroneumático durante la prueba.
- h) Además el equipo posee de un filtro de malla de acero que produce una caída de presión de diseño de 10 KPa.

9. Longitud equivalente de los accesorios en la tubería de 1,5 pulgadas

La longitud equivalente producida por los accesorios se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$L_{eq} = \frac{d}{4 \times 10^3 \times f} \times \sum K \quad (\text{Ec.18})$$

Donde:

L_{eq} : Longitud equivalente (m)

d : Diámetro de la tubería (mm)

f : Factor de fricción de Fanny

K : coeficientes de resistencias

$$L_{eq} = \frac{38}{4 \times 10^3 \times 0,0067} \times (3 \times 0,32 + 9 + 9 + 0,9 + 0,5 + 4 \times 0,35) = 30,8m$$

Por lo tanto la longitud total para los cálculos de perdidas por fricción vendría dada por

$$L_{total} = L_{eq} + L_{tuberia} \quad (\text{Ec.19})$$

$$L_{total} = 30,8m + (1,4 + 1,8 + 0,4)m = 34,4m$$

10. Caída de presión por fricción a lo largo de la tubería de 1,5 pulgadas

La caída de presión por fricción en el equipo se calcula mediante la siguiente formula:

$$(\Delta P)_{fricción} = 10^{-3} \times \frac{4 \times f \times L_{total}}{D} \times \frac{\rho \times v^2}{2} \quad (\text{Ec.20})$$

De la cual:

$$(\Delta P)_{\text{tubería-accesorios}} = 10^{-3} \times \frac{4 \times 0,0067 \times 34,4m}{0,038m} \times \frac{1000 \frac{kg}{m^3} \times \left(0,263 \frac{m}{seg}\right)^2}{2} = 0,83 \text{ KPa}$$

11. Caída de presión por fricción en la tubería de inyección

Para los cálculos de caída de presión en el sistema de inyección, se seguirá con la metodología propuesta en PDVSA (1996) para el diseño de tuberías perforadas.

12. Cálculo de energía cinética por unidad de volumen en la corriente de salida del sistema de inyección.

El cálculo de la energía cinética se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$E_K = \frac{10^{-3} \times \rho \times (v_{\text{tubería}})^2}{2 \times g_c} \quad (\text{Ec.21})$$

Donde:

E_K : Energía cinética de la corriente de entrada

ρ : Densidad del fluido

$v_{\text{tubería}}$: Velocidad de flujo en la tubería

$$g_c: 1 \times 10^3 \frac{kg}{KPa \cdot m \cdot seg^2}$$

Por lo tanto la energía cinética del flujo de entrada es:

$$E_K = \frac{10^{-3} \times 1000 \frac{kg}{m^3} \times (0,263)^2}{2 \times 10^3 \frac{kg}{KPa \cdot m \cdot seg^2}} = 0,000034 \text{ KPa}$$

13. Cambio de presión a lo largo de la tubería de inyección debido a la fricción y recuperación de momento

$$(\Delta P)_{orificio} = 4000 \times \left(\frac{f \times L_{inyeccion} \times J}{d_{inyectores}} - 1 \right) \times E_K \quad (Ec.22)$$

Donde:

$d_{inyectores}$ d: Diámetro de los inyectores (mm)

f : Factor de fricción de Fanny

$L_{inyeccion}$: Longitud de la tubería de inyección (m)

E_K : Energía cinética de la corriente de entrada (KPa)

J: Factor Adimensional que depende del numero de orificios de la tubería.

El Factor J se calcula mediante el grafico C.5 del Apéndice C. El cual para una tubería perforada con 5 orificios genera un valor de $J=0,44$, por lo tanto:

$$(\Delta P)_{orificio} = 4000 \times \left(\frac{0,0067 \times 0,6m \times 0,44}{3,2mm} - 1 \right) \times 0,000034 \text{ KPa} = -0,14 \text{ KPa}$$

Se tiene como nota que la caída de presión a través de los inyectores $(\Delta P)_{inyectores}$, se obtiene multiplicado $(\Delta P)_{orificio}$ por 10, si el valor calculado es menor a 1,75 KPa se toma el valor de 1,75 Kpa como $(\Delta P)_{inyectores}$

Luego:

$$(\Delta P)_{inyectores} = (\Delta P)_{orificio} \times 10 \quad (Ec.23)$$

$$(\Delta P)_{inyectores} = 0,14 \text{ KPa} \times 10 = 1,4 \text{ Kp} < 1,75 \text{ KPa}$$

Por lo tanto $(\Delta P)_{inyectores} = 1,75 \text{ KPa}$

14. Caída de presión total a lo largo del equipo de lavado al momento de funcionamiento:

$$(\Delta P)_{Total} = (\Delta P)_{Tubería-acesorios} + (\Delta P)_{inyectores} + (\Delta P)_{filtro} \quad (\text{Ec.24})$$

$$(\Delta P)_{Total} = 0,83KPa + 1,75KPa + 10Kpa = 12,6KPa$$

15. Cabezal de salida mínimo del equipo hidroneumático para la operación del equipo

Luego de tener los valores de las perdidas por fricción del equipo para las condiciones de operación establecidas, para que este produzca un flujo de inyección de 2 barg., el cabezal de salida mínimo necesario del tanque presurizado del sistema hidroneumático en metros de agua se calcula mediante la siguiente formula.

$$H_B = \frac{\text{Presion de salida de los inyectores}}{\rho \times g} + \frac{(\Delta P)_{Total}}{\rho \times g} \quad (\text{Ec.25})$$

Donde:

H_B : Cabezal necesario de bombeo en metros de agua

$(\Delta P)_{Total}$: Perdida por fricción total a través del sistema

g: Constante de gravedad

ρ : Densidad del fluido

$$H_B = \frac{200000Kpa}{1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,8 \frac{m}{seg^2}} + \frac{12600Pa}{1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,8 \frac{m}{seg^2}} = 21,6 \text{ metros de } H_2O$$

16. Calculo del NPSH (Net Positive Suction Head) disponible del tanque de simulación de Lavado

Para el cálculo del cabezal de succión es necesario conocer la altura del líquido dentro del tanque con respecto al nivel del suelo que será el nivel de referencia. En la figura siguiente se muestra la altura del tanque con respecto al nivel del suelo.

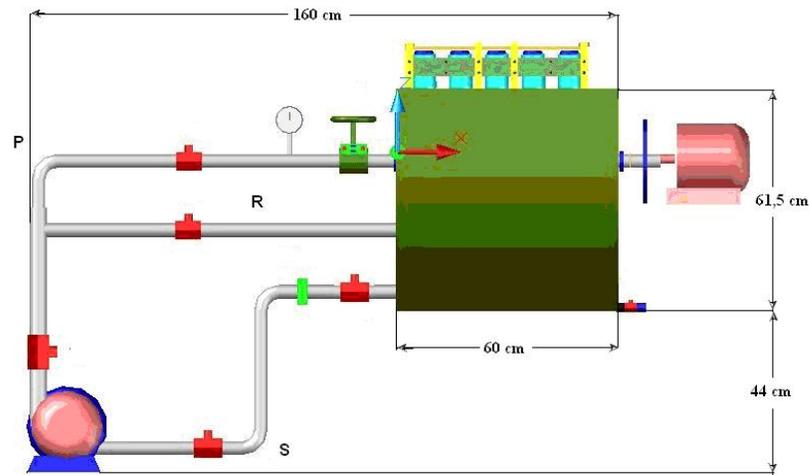


Figura 6.4 Dimensiones generales del equipo respecto al nivel del suelo

Como se observa en la figura la base del tanque esta a 44 cm del liquido mientras que la altura de la superficie del liquido por consideraciones de diseño esta a 32 cm con respecto a la base del tanque, por lo cual sumando estas dos alturas se obtiene la altura del nivel de liquido con respecto del nivel del suelo el cual es de unos 76 cm.

A partir de este valor el cambio de presión por elevación del líquido contenido en el tanque abierto a la atmósfera se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$(\Delta P)_{elevation} = P_{atmosferica} + \rho \times g \times z \quad (\text{Ec. 26})$$

Donde:

$P_{\text{atmosférica}}$: Presión atmosférica (Pa)

g : Constante de gravedad

ρ : Densidad del fluido (kg/m^3)

Z : Altura del nivel del líquido respecto al suelo (m)

Del cual:

$$(\Delta P)_{\text{elevacion}} = 101300 + 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2} \times 0,76\text{m} = 108748\text{Pa}$$

$$(\Delta P)_{\text{elevacion}} = 108,7 \text{ KPa}$$

Para el calculo de la presión de succión se necesita calcular las perdidas de presión por fricción de solo la tubería de succión S, sin embargo, como se observa, las perdidas de presión a causa de las tuberías son despreciables en comparación con las perdidas de presión del filtro se tomará las perdidas de presión de las tuberías aproximadamente igual a las de la sección de succión, por lo cual:

$$\text{Presión de succión} = (\Delta P)_{\text{elevacion}} - \left((\Delta P)_{\text{tubería-accesorios}} + (\Delta P)_{\text{filtro}} \right) \quad (\text{Ec.27})$$

$$\text{Presión de succión} = 108,7 \text{ KPa} - (0,83+10)\text{Kpa} = 97,9 \text{ Kpa}$$

De tal manera que el $NPSH_{\text{disponible}}$ en metros de agua puede ser calculado mediante la ecuación:

$$NPSH_{\text{Disponible}} = \frac{\text{Presión de succión}}{\rho \times g} - \frac{\text{Presión de vapor del fluido}}{\rho \times g} \quad (\text{Ec.28})$$

De la cual la presión de vapor del fluido se tomara como la presión de vapor del agua a 80 °C ya que el NaOH se encuentra muy diluido (2,5%), la cual reporta un valor según la bibliografía de 47 Kpa a la temperatura de operación.

$$NPSH_{Disponible} = \frac{97900 \text{ pa}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}} - \frac{47000}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}} = 5,2 \text{ metros de H}_2\text{O}$$

17. Cálculos necesarios para la selección del motoreductor

Para especificar el motoreductor se deben apoyar los cálculos primero en que este tenga un par (τ) capaz de levantar el armazón con las botellas llenas y además que este pueda vencer la resistencia del liquido al estar sumergido, y segundo que las revoluciones por minuto a las cual trabaja sea lo suficientemente lento para que el armazón rote lentamente para que el tiempo de basculamiento a la posición de inmersión sea mayor a 10 segundos.

18. Cálculos del par de torsión (τ) mínimo necesario para la selección del motoreductor

El peso que debe soportar el eje de rotación esta comprendido principalmente de la siguiente manera:

- 5 botellas de 222 ml de 220 gramos en promedio cada una.
- El peso del líquido contenido dentro de las botellas el cual es aproximado al peso de estas botellas llenas de agua, lo cual sumaria 5 volúmenes de líquido de 222 gramos cada uno.

- 5 cestas contenedoras de botellas de 50 gramos en promedio cada una.
- 5 copas de inyección de 70 gramos en promedio cada una.
- El armazón hecho de acero el cual contiene laminas de 8 laminas estructurales de 34 cm de largo por 2 cm de ancho por 0,2 cm de espesor ($34 \times 2 \times 0,2$) con una densidad de $7,8 \text{ gramos/cm}^3$ lo cual nos da un peso aproximado de 100 gramos cada una.
- Tres laminas para sostener las botellas de ($50 \times 2 \times 0,2$) con un peso aproximado según la densidad del acero de 160 gramos cada una.
- Mas accesorios como tuercas y tornillos para unirlos que se supone serán unos 100 gramos mas.

Sumando todos estos componentes, se obtiene un total de peso aproximado de 41N en total a levantar.

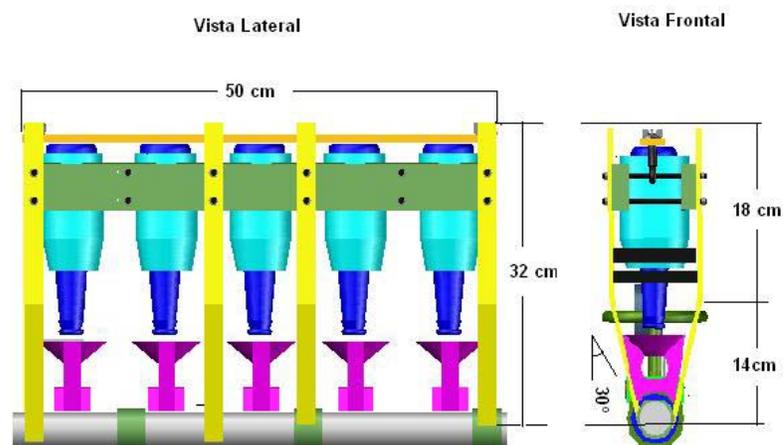


Figura 6.5 Dimensiones generales del armazón de inyección

Aunque este peso esta distribuido por todo lo largo del armazón, el cálculo se hará suponiendo que el peso se encuentra colocado en el extremo del armazón, esta seria la situación mas desfavorable donde el par de torsión (τ) seria el máximo posible para el diseño y el mínimo necesario que debe tener el motoreductor.

La separación del eje de rotación de la tubería hasta, el extremo del armazón perpendicularmente es de 32 cm. de largo. Por lo tanto el par de torsión se calcula de la siguiente manera:

$$\tau = FxL \text{ (Ec.29)}$$

Donde:

τ : Par de torsión (N.m)

F: Fuerza en Newton

L: longitud a la cual se encuentra aplicada la fuerza en metros (Brazo)

Teniendo en cuenta la fuerza minima a vencer es de 41 newtons, el par de torsión seria el siguiente:

$$\tau = 41N \times 0,32m = 13,12N.m$$

Como criterio en la escogencia del motoreductor se tiene que el par de torsión sea como mínimo 5 veces el calculado por diseño por las características del armazón. Por lo cual el par de torsión de diseño será

$$\tau_{Diseño} = 5 \times 13,12 \text{ N.m} = 65,6 \text{ N.m}$$

19. Cálculos de las revoluciones por minuto (RPMs) necesarias para la selección del motoreductor

En la placa del motoreductor viene especificado: τ , las revoluciones por minuto del motor y las revoluciones por minuto en la salida de la caja, además de, el voltaje nominal, su corriente nominal, su potencia en Watts o en hp

Con estos datos se puede especificar un motoreductor que tenga un par de, al menos $5 \times \tau$ y que sus RPMs (revoluciones por minuto) sean tal que el tiempo de basculamiento a la posición de inmersión sea mayor a 10s.

Por lo tanto si para que el motor gire 180° se necesitan 10 segundos como mínimo, una vuelta completa la recorre en 20 segundos, es decir el motor en un minuto da 3 vueltas alrededor de su eje y esa seria la velocidad máxima angular que debe dar ese motor para la especificación: 3 RPMs

Por lo cual la potencia del motor debe ser al menos:

$$P = \tau_{Diseño} \times \frac{2\pi}{60} \times N^\circ r.p.m \text{ (Ec.30)}$$

Donde:

P: Potencia en watts

$N^\circ r.p.m$: Velocidad de giro en revoluciones por minuto

$$P = 65,6 N.m \times \frac{2\pi}{60} \times 3 r.p.m = 20,6 \text{ watts}$$

Consideraciones y datos adicionales

Se presenta a continuación en la siguiente tabla, un resumen de los datos y consideraciones importantes de los cálculos realizados para el diseño del equipo de simulación de lavado a nivel de laboratorio

Tabla 6.1 Resumen de consideraciones y datos de diseño

Consideraciones y datos adicionales	
Caudal en el sistema de inyección (5botellas)	0,3 L/seg
Caudal de inyección por botella	60 ml/seg
Tiempo de Inyección	2 seg
Tiempo de vaciado	1 seg
Numero de Inyecciones por ciclo	24
Tiempo de inmersión	120 seg
Numero de inmersiones por ciclo	2
Presión en el sistema de inyección	2-2,5 barg
Presión de Salida Tanque Hidroneumático	2,4 barg
Presión mínima del Presostato Hidroneumático	2,2 barg
Caída de Presión del Sistema	0,2 barg
Potencia Resistencias eléctricas	1000 Watts c/u
Temperatura de Operación	80°C
NPSH disponible del equipo	0,97 barg
Par torsión mínimo del armazón de inyección	13,12 N.m
Par torsión de diseño	65,6 N.m
Potencia de diseño del motoreductor	20,6 watts
Nº de revoluciones de salida motoreductor	3 rpm

Materiales y equipos

Se presenta a continuación en la siguiente tabla, un resumen de los materiales y equipos necesario para la construcción del equipo de simulación de lavado a nivel de laboratorio.

Tabla 6.2 Lista de materiales de construcción

Cantidad	Equipo
5	Inyectores Lavadora de botellas
5	Copas Lavadora de botellas
5	Cestas para lavadoras de botellas 222 ml
1	Manómetro 0-4 Barg
2	Resistencias eléctricas 1000 watts
1	PLC
2	Reles de conexión
2	Detectores de posición tipo microswitches
1	Termocupla PT 100
1	Controlador de temperatura
1	Motoreductor
1	Válvula Solenoide 1 plg
1	Válvula de Globo acero inoxidable 1,5 plg
1	Sistema hidroneumático 20 Litros Incluye: Bomba presostato y manómetro
6	Válvulas de paso rápido acero inoxidable 1,5 Plg
7	Metros de Tubería 1,5 Plg acero inoxidable ced 80
1	Metros de Tubería 1 Plg acero inoxidable ced 80
3	Conexiones en T 1,5 plg acero inoxidable
5	Codos de 90 1,5 plg acero inoxidable
4	Reductores de tubería de 1,5 a 1 plg
1	Filtro Acero 1,5 plg conexión de roscas
1	Sello mecánico rotativo 1,5 plg
	Laminas de acero 4 mm (construcción tanque)
	Laminas de acero 2 mm (construcción del armazón)
	Tornillos y tuercas varias (armazón)
	Material aislante
	Material para las conexiones eléctricas

Equipos Seleccionados para el equipo de simulación de lavado a nivel de laboratorio

Se muestra a continuación un resumen de los equipos seleccionados, basados en las características requeridas según los cálculos de diseño

Tabla 6.3 Hoja de especificación del motoreductor.

Identificación: Motoreductor tipo PM9SIW		Equipo de simulación de lavado de botellas a nivel de laboratorio		Pag:
Descripción del equipo: Promover el giro del sistema de inyección en el equipo de simulación				
Cantidad: Uno				
Condiciones de Proceso		Datos del equipo		
Temperatura	30°C	Tipo de Corriente	DC	
Presión	atmosférica	Protección eléctrica	Grado IP54	
		Voltaje (Disponibles)	24-220 V	
Datos del fabricante		Datos del equipo		
Marca	PARVALUX	Potencia (Disponibles)	17-70 watts	
Aplicación	Varias	Velocidades motor	2000 r.p.m	
Distribuidor en Vzla	MIVALCA C.A	Velocidad final reductor	3 r.p.m	
Ciudad	Valencia	Par torsión	79N.m	
		Peso	1,9kg	
				
Observaciones: Caja reductora de de doble relación: Primera reducción 27:1 Segunda reducción: 25:1				
Realizado por:		Fecha		
Revisado por		Fecha		

Tabla 6.4 Hoja de especificación del Filtro de malla.

Identificación: Filtro malla modelo TI-P063-02		Equipo de simulación de lavado de botellas a nivel de laboratorio		Pag:
Descripción del equipo: Proteger el sistema de bombeo del Sistema hidroneumático a objetos extraños				
Cantidad: Uno				
Condiciones de Proceso		Datos del equipo		
Temperatura	80° C	Material de construcción	Acero Inoxidable	
Presión	2-4 barg	Tamaño de conexiones	1,5 pulgadas	
		Perforaciones del tapiz	3 mm	
Datos del fabricante		Datos del equipo		
Marca	Spirax Sarco	Presión máxima admisible	50 barg	
Aplicación	Filtrado	Temp. máxima admisible	400°C	
Distribuidor en Vzla	Spirax Sarco	Longitud	15 cm	
Ciudad	Caracas			
				
Observaciones:				
Realizado por:		Fecha		
Revisado por		Fecha		

Tabla 6.5 Hoja de especificación del Sistema hidroneumático.

Identificación: Sistema hidroneumático		Equipo de simulación de lavado de botellas a nivel de laboratorio		Pag:
Descripción del equipo: Promover el bombeo de liquido a la presión necesaria de operación del sistema				
Cantidad: Uno				
Condiciones de Proceso		Datos del equipo		
Temperatura	80° C	Material de construcción	Acero Inoxidable	
Presión	2-2,5 barg	Capacidad del tanque	20 litros	
		Potencia de la bomba	1 HP	
Datos del fabricante		Datos del equipo		
Marca	TEMCO	conexiones	1 pulgada	
Aplicación	Bombeo de líquidos	Temp. máxima	120 °C	
Distribuidor en Vzla	Fermetal	Presión de salida	1,4 -3,8 barg	
Ciudad	Caracas			
				
Observaciones:				
Realizado por:		Fecha		
Revisado por		Fecha		

Tabla 6.6 Hoja de especificación de la válvula solenoide.

Identificación: Válvula solenoide modelo 2W200		Equipo de simulación de lavado de botellas a nivel de laboratorio		Pag:
Descripción del equipo: Promover el flujo de inyección pulsante en el sistema de inyección				
Cantidad: Uno				
Condiciones de Proceso		Datos del equipo		
Temperatura	80° C	Material de construcción	Acero Inoxidable	
Presión	2-2,5 barg	Falla	Cerrada	
		Opciones de voltajes	12-24VDC 24-220VAC	
		Protección bobina	Grado IP65	
Datos del fabricante		Datos del equipo		
Marca	STC C.A.	Conexiones	1 pulgada	
Aplicación	Paso de fluido	Temperatura de operación	0-100 °C	
Distribuidor en Vzla	Control Sytems Valencia	Presión max de operación	7,5 barg	
Ciudad	Valencia	Cv	7,6	
				
Observaciones:				
Realizado por:		Fecha		
Revisado por		Fecha		

Tabla 6.7 Hoja de especificación de las resistencias electrosumergibles.

Identificación: Resistencias eléctricas sumergibles 2041-02		Equipo de simulación de lavado de botellas a nivel de laboratorio		Pag:
Descripción del equipo: Promover el calentamiento de la solución de lavado				
Cantidad: Dos				
Condiciones de Proceso		Datos del equipo		
Temperatura	80° C	Material de construcción	Acero Inoxidable	
Presión	Atmosférica	Potencia	1000 watts	
		Voltaje	220 V	
Datos del fabricante		Datos del equipo		
Marca	Vulcanic	conexiones	1,5 pulgada	
Aplicación	Calentamiento	Longitud	25 cm	
Distribuidor en Vzla	Fermetal	Peso	0,6 kg	
Ciudad	Caracas			
				
Observaciones:				
Realizado por:		Fecha		
Revisado por		Fecha		

Tabla 6.8 Hoja de especificación del controlador de temperatura.

Identificación: Control de temperatura Autonics TZN4S		Equipo de simulación de lavado de botellas a nivel de laboratorio		Pag:
Descripción del equipo: Control de temperatura de la solución de lavado				
Cantidad: Uno				
Condiciones de Proceso		Datos del equipo		
Temperatura	30 °C	Tamaño	48x48 mm	
Presión	Atmosférica	Protección eléctrica	Grado IP65	
		Alimentación	24-48 VDC 100-240 VAC	
Datos del fabricante		Datos del equipo		
Marca	Autonics	Control	PID On/off	
Aplicación	Control de temperatura	Multientrada de sensores	PT-100 Termocuplas	
Distribuidor en Vzla	Sequin C.A.			
Ciudad	Barquisimeto			
 <p>The image shows a black rectangular temperature controller. The top panel features a red LED display showing '88.88' and a green LED display showing '40.0'. Below the displays are labels for 'PV' and 'SV'. There are also labels for 'SV2', 'AT', 'OUT', and 'EV1'. At the bottom, there are four buttons: a yellow 'MD' button, a yellow 'AT' button, a grey left arrow button, and a grey right arrow button. The model number 'TZN4S' and the brand name 'Autonics' are printed at the bottom of the panel.</p>				
Observaciones: Necesita un sensor de temperatura PT-100 Standard adquirible en cualquier tienda especializada.				
Realizado por:		Fecha		
Revisado por		Fecha		

Tabla 6.9 Hoja de especificación del PLC.

Identificación: PLC SIMATIC S7-300		Equipo de simulación de lavado de botellas a nivel de laboratorio		Pag:
Descripción del equipo: Control de temperatura de la solución de lavado				
Cantidad: Uno				
Condiciones de Proceso		Datos del equipo		
Temperatura	30 °C	Memoria	85k Instrucciones	
Presión	Atmosférica	Protección eléctrica	Grado IP65	
		Alimentación	24-48 VDC 100-240 VAC	
Datos del fabricante		Datos del equipo		
Marca	SIEMENS	Entradas/Salidas	8 / 8	
Aplicación	Control PLC	Configuración	Modular ampliable	
Distribuidor en Vzla	SIEMENS	Procesamiento de formulas matemáticas	Si	
Ciudad	Caracas			
				
Observaciones:				
<p>El S7-300 es un PLC (Programed Logic Controller) de Siemens, extensible, dependiendo de la aplicación. Para esta aplicación, necesitaría los siguientes módulos:</p> <p>Módulo CPU 314: Para las condiciones ambientales que se trabaja.</p> <p>Módulo entrada/salida digital SM 323: Ya que se trabajará con niveles de tensión máximo y mínimo (todo o nada)</p> <p>Módulo de fuente de alimentación PS-307 de 10A: Fuente de alimentación de 24V/10A para que se pueda alimentar tanto el PLC como los reles de los dispositivos que controla</p> <p>Componente de Interfase Hombre-Maquina: Sirve como interfase entre el usuario y su máquina. Las funciones, interruptores o valores procesados son visualizados en paneles de operador o táctiles.</p>				
Realizado por:		Fecha		
Revisado por		Fecha		

Tabla 6.10 Hoja de especificación de los relés de contacto.

Identificación Rele de contacto 10 Amp Bobina		Equipo de simulación de lavado de botellas a nivel de laboratorio		Pag:
Descripción del equipo: Permite el paso de las fuentes de alimentación a los equipos controlados por el PLC				
Cantidad: Dos				
Condiciones de Proceso		Datos del equipo		
Temperatura	30°C	Corriente nominal	10 Amp	
Presión	atmosférica	Numero de Contactos	1	
Datos del fabricante		Datos del equipo		
Marca	Varias	Peso	18 g	
Aplicación	Contacto eléctrico	Dimensiones	29x12.4x25mm.	
Distribuidor en Vzla	Varios	Tensión de alimentación	3-125 VDC 6-240 VAC	
Ciudad	Varias			
				
Observaciones: Adquirible en cualquier tienda especializada en componentes electrónicos				
Realizado por:		Fecha		
Revisado por		Fecha		

Tabla 6.11 Hoja de especificación de los detectores de posición.

Identificación: Detectores de posición (microswitches)		Equipo de simulación de lavado de botellas a nivel de laboratorio		Pag:
Descripción del equipo: Permite la detección de la posición de inyección y de inmersión de la tubería rotativa.				
Cantidad: Dos				
Condiciones de Proceso		Datos del equipo		
Temperatura	30°C	Corriente nominal	2 Amp	
Presión	atmosférica	Tensión nominal	125 VAC	
Datos del fabricante		Datos del equipo		
Marca	Varias	Vida útil	100.000 ciclos	
Aplicación	Detector de posición			
Distribuidor en Vzla	Varios			
Ciudad	Varias			
				
Observaciones: Adquirible en cualquier tienda especializada en componentes electrónicos				
Realizado por:		Fecha		
Revisado por		Fecha		

Tabla 6.12 Hoja de especificación del manómetro de Bourdon.

Identificación: Manómetro de presión tipo Bourdon		Equipo de simulación de lavado de botellas a nivel de laboratorio	Pag:
Descripción del equipo: Permite la medida del nivel de presión del líquido a la tubería de inyección.			
Cantidad: Dos			
Condiciones de Proceso		Datos del equipo	
Temperatura	80° C	Gama de presión	0-4 bars
Presión	2-2,5 barg	Material de la caja	Acero inoxidable
		Diámetro de caja	100 mm
Datos del fabricante		Datos del equipo	
Marca	Varias	Tamaño de conexión en pulgadas	3/8 plg
Aplicación	Medidor de Presión		
Distribuidor en Vzla	Varios		
Ciudad	Varias		
			
Observaciones: Adquirible en cualquier tienda especializada			
Realizado por:		Fecha	
Revisado por		Fecha	

Tabla 6.13 Hoja de especificación del sello mecánico rotativo

Identificación: Sello mecánico		Equipo de simulación de lavado de botellas a nivel de laboratorio		Pag:
Descripción del equipo: Permite el giro de la tubería del sistema de inyección del equipo.				
Cantidad: uno				
Condiciones de Proceso		Datos del equipo		
Temperatura	80°C	Diámetro	1,5 Plg	
Presión	2 barg	Rotación	bidireccional	
		Material	Acero inoxidable	
Datos del fabricante		Datos del equipo		
Marca	Varias	Presión de operación máxima	25 barg	
Aplicación	Sello rotativo	Temperatura de operación	-20°C Hasta 350°C	
Distribuidor en Vzla	Varios			
Ciudad	Varias			
				
Observaciones:				
Realizado por:		Fecha		
Revisado por		Fecha		

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

El análisis de los resultados obtenidos en la evaluación de aditivos de la soda cáustica para el lavado de botellas retornables y la optimización del equipo de lavado para realizar estas pruebas a nivel de laboratorio, permitió establecer las siguientes conclusiones:

Evaluación de aditivos

1. La eficiencia de lavado obtenida con el aditivo INTEGRA HD[®] es estadísticamente menor a los demás aditivos evaluados.
2. No se presentan diferencias estadísticamente significativas entre los aditivos Vidral II-LST[®] y el aditivo STABILON WT[®] en cuanto a la eficiencia de lavado alcanzada a nivel de laboratorio.
3. El aditivo Vidral II-LST[®] aprobó los ensayos de resistencia al pirograbado realizados según la norma COVENIN 3130:1994
4. El aditivo STABILON WT[®] aprobó los ensayos de resistencia al pirograbado realizados según la norma COVENIN 3130:1994
5. El aditivo Vidral II-LST[®] disminuye en promedio el número de ciclos en sobrepasar el nivel 4 de rayado en aproximadamente un 40 % con respecto al Stabilon WT[®].
6. El tiempo de vida útil de las botellas lavadas con Vidral II-LST[®] de acuerdo la extrapolación del nivel de rayado es de aproximadamente 50 ciclos.

7. El tiempo de vida útil de las botellas lavadas con Stabilon WT[®] de acuerdo a la extrapolación del nivel de rayado es de aproximadamente 70 ciclos.
8. El aditivo de prueba Vidral II-LST[®] aumenta en un 10 % el porcentaje de pérdida de masa en comparación con los resultados obtenidos con el aditivo actual Stabilon WT[®].
9. Existe una relación lineal entre la formación del anillo de rayado y la pérdida de masa en las botellas retornables.
10. Se incrementan los costos de reposición de botellas si se utiliza el aditivo de prueba Vidral II-LST[®] como aditivo de la solución de lavado.
11. Se disminuyen los costos anuales de adquisición de aditivo (1,2%) si se utiliza el Vidral II-LST[®] como aditivo de la solución de lavado.
12. No se evidencia que ninguno de los aditivos evaluados afecten la calidad de la cerveza en cuanto a la evaluación de la estabilidad de la espuma.
13. Se obtiene una desmejora integral de un 12 % el proceso de lavado si se utiliza el aditivo de prueba Vidral II-LST en lugar del aditivo actual Stabilon WT[®] según los resultados evaluados y ponderados en la matriz de comparación.

Equipo de simulación de lavado

14. El equipo propuesto permitirá una mejora significativa en el proceso de evaluación de aditivos a nivel de laboratorio, al incluir el efecto mecánico de lavado producido por los inyectores de las lavadoras a escala industrial.

15. El uso del PLC para automatizar el proceso permite que en cada evaluación se sometan las muestras a un tiempo de tratamiento similar, generando datos más confiables que los obtenidos de forma manual.

16. El uso del PLC además permite modificar de manera sencilla el proceso de lavado y adaptarlo a cualquier cambio realizado en las lavadoras industriales mediante la modificación de la lista de instrucciones programadas.

RECOMENDACIONES

Finalizadas las diversas evaluaciones se plantean una serie de recomendaciones para el mejoramiento de las evaluaciones de aditivos a nivel de laboratorio.

1. Se recomienda no cambiar el aditivo actual Stabilon WT[®] ya que obtuvo un mejor desempeño integral en las diversas pruebas evaluadas en comparación con los aditivos Integra HD[®] y Vidral II-LST[®].
2. Considerar la modificación del sistema de inyección para que pueda albergar más botellas de prueba para cada ensayo.

CAPITULO IX**BIBLIOGRAFÍA**

1. ALTMAJER, D. (2004) **Formulaciones de Detergentes Biodegradables: Ensayos de Lavado**. Tesis Doctoral. Universidad de Granada. Granada, España.
2. BARROETA, G. (2007) **Mejoramiento del proceso de tapado en botellas no retornables de cervecería polar C.A.** Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.
3. BRODERICK, H. (1982) **Beer Packaging, Manual for Brewing and Beverage Industries**. Master Brewers Association of the Americas. Primera Edición, Wisconsin, USA.
4. BROWNE, J. (2001). **Excellence in Packaging of Beverages**. Publisher by the Binsted Group Plc.
5. CABALLERO, C. (2001) **Evaluación de la eficiencia y funcionamiento de las lavadoras de botellas en las cuatro plantas de Cervecería Polar**. Informe final de Cursos en Cooperación, Universidad Simón Bolívar. . Inédito. Sartanejas, Venezuela.
6. CERVECERIA POLAR C.A. (2005) **Instructivo de inspección, medición y/o ensayo: Eficiencia de lavadoras metodologías de sucio estándar**. Caracas Venezuela.
7. CERVECERIA POLAR C.A. Gerencia de Envasado (2007). **Guía de aprendizaje: Actividades en la línea de producción operario de lavadora botellas**. Caracas, Venezuela.
8. DE SOUSA, L. (2002) **Mejoramiento del proceso de Lavado de Botellas de Cervecería Polar del Centro C.A.** Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad de Carabobo. Bárbula, Venezuela.

9. DUFFY, G & LANGFOR, D (1998) **Bottle Appearance Upgrade**. MBAA. Technical Quarterly, Volumen 35, Numero 1, Pág 9 – 15.
10. EMPRESAS POLAR. (1997-2004) Página oficial de Empresas Polar. Disponible: www.empresas-polar.com, [Consulta: 2007, Mayo 27]
11. FRA, A. (2005) **Evaluación de aditivos en el lavado de botellas diseño de metodologías para la eficiencia de lavado**. Informe final de Cursos en Cooperación, Universidad Simón Bolívar. . Inédito. Sartanejas, Venezuela.
12. GRAHAM, M & SHEWMAKE, B (2000) **Reducing Glass Etching During Bottle Washing**. MBAA. Technical Quarterly. Volumen 37. Numero 4 Pág 459 – 463.
13. GUTIERREZ, H. & DE LA VARA, S. (2003) **Análisis y diseño de experimentos**. Mc Graw Hill. Primera Edición, Atrampa, México.
14. GUTIERREZ, H. & DE LA VARA, S. (2005) **Control estadístico de calidad y seis sigma**. Mc Graw Hill. Primera Edición, Atrampa, México.
15. KRONES. (2003). **Manual Instrucciones de servicio: Lavadora de Botellas Lavateck** [Disco Compacto] Flensburg, Alemania
16. KUNZE, W. (1999) **Technology, Brewing and Maltin**. VLB Edición Internacional. Segunda Edición. Berlín, Alemania.
17. LIBRETTI, M. (2005) **Diseño de una metodología para la evaluación de aditivos utilizados en el proceso de lavado de botellas. Evaluación de dos productos industriales**. Informe final de Cursos en Cooperación. Inédito. Universidad Simón Bolívar. Sartanejas, Venezuela.
18. MOTT, R. (1994) **Mecánica de Fluidos Aplicada**. Prentice-Hall Hispanoamericana. Cuarta Edición, México.
19. PDVSA (1996) **Manual de diseño de proceso: Flujo en fase líquida**. Caracas, Venezuela.

20. PEREIRA, J. (2004) **Estudio de Scuffing en Botellas Retornables Solera 222 ml**. Informe de Pasantía. Inédito. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.
21. PERRY, R. (1995) **Manual del Ingeniero Químico**. México. Editorial McGraw-Hill. Quinta Edición, México.
22. RENFROW, L. (1999) **New Advancements in Cleaning Technology**. MBAA. Technical Quarterly, Volumen 36. Numero 1 pag 85 – 91.
23. ROSENS A & TIMMERMNAS, S (1996) **Scuffing**. MBAA. Technical Quarterly, Volumen 33, Numero 2 Pág 78 -81
24. SALISBURY, M.J. (1989) **Improvement in bottle appearance**. MBAA Technical Quarterly, Volumen 26. Pág. 30-34.

CAPITULO VIII**APÉNDICES****APÉNDICE A****Preparación del sucio estándar**

A continuación se presenta la metodología empleada para la preparación de sucio estándar según el instructivo de de inspección, medición y/o ensayo: Eficiencia de lavadoras metodologías de sucio estándar (CERVECERIA POLAR, 2005).

1. Preparación del Sucio Base

1.1. Tomar en un recipiente de 2000 mL limpio y seco, aproximadamente, 1500 mL de la suspensión de levadura.

1.2. Rotular dos envases de centrifugado (100 mL) limpios y secos. Realizar los pasos del 1.3 al 1.9 simultáneamente, para cada uno de los envases.

1.3. Pesar un envase de centrífuga, rotulado en el paso 1.2. Registrar este peso como el Peso 1.

1.4. Homogeneizar la muestra de levadura del envase del paso 1.1, con agitación suave.

1.5. Tomar una muestra de, aproximadamente, 70 mL de levadura, del envase del paso 1.1, en el envase de centrifugado del paso 1.3.

1.6. Centrifugar la muestra del paso 1.5 a 3500 r.p.m, durante 5 minutos.

1.7. Pesar el envase de centrifugado del paso 1.6, luego de cumplido el tiempo establecido (5 minutos). Registrar este peso como el Peso 2.

1.8. Descartar el sobrenadante y pesar el envase de centrifugado con el sedimento. Registrar este peso como el Peso 3.

1.9. Realizar el cálculo de la concentración de la suspensión de levadura, mediante la siguiente formula:

$$\%p/p = \frac{\text{Peso3} - \text{Peso1}}{\text{Peso2} - \text{Peso1}} \times 100$$

Donde:

% p/p = Concentración de la suspensión de levadura.

1.10. Comparar los cálculos de concentración obtenidos entre los dos envases de centrifugado, si la diferencia es mayor a 0,5 % p/p, realizar los pasos del 1.2 al 1.10 nuevamente, de lo contrario continuar con el paso 1.11.

1.11. Si la concentración calculada en el paso 1.9 es de (60 ± 1) % p/p, continuar con el paso 1.15, de lo contrario pasar al punto 1.12.

1.12. Si la concentración calculada en el paso 1.9 es menor a 59 % p/p, agregar el precipitado obtenido en el paso 1.8 al recipiente que contiene la levadura del paso 1.1 y continuar con el paso 1.2, de lo contrario pasar al punto 1.13.

1.13. Si la concentración calculada en el paso 1.9 es mayor a 61 % p/p. Determinar el volumen de agua necesaria para diluir la levadura, mediante la siguiente formula:

$$V_{\text{AGUA}} = \frac{\%p/p \times V_{\text{EST}}}{60} - V_{\text{EST}}$$

Donde:

VAGUA: Volumen de agua destilada para diluir la levadura, en mL.

VEST: Volumen de la solución de levadura del recipiente del paso 1.1, luego de determinar su concentración, en mL.

1.14. Agregar el volumen de agua (VAGUA) al recipiente del paso 1.1 y continuar con el paso 1.2. Se debe utilizar únicamente agua destilada, de lo contrario se disminuiría la vida útil del Sucio Base.

1.15. Colocar, aproximadamente, 500 mL de la solución de levadura (al 60 ± 1 %) en un Beacker de 1000 mL.

1.16. Colocar un agitador magnético en el recipiente del paso 1.15, cuidando que éste se encuentre en el centro del envase.

1.17. Colocar el recipiente del paso 1.16 sobre una plancha de agitación magnética con calentamiento.

1.18. Colocar la perilla del suministro de agitación magnética de la plancha, en la posición media de la escala.

1.19. Colocar la perilla de suministro de calor de la plancha, al 60 % de la escala.

1.20. Introducir un termómetro en el recipiente del paso 1.17.

1.21. Agregar 350 mL de levadura adicional al envase del paso 1.20, cuando éste haya alcanzado los 60 °C.

1.22. Colocar la perilla de suministro de calor de la plancha, en la posición apagado, luego de que el termómetro del paso 1.20 alcance los 70 °C.

1.23. Colocar la perilla de suministro de agitación magnética de la plancha, en la posición apagado.

- 1.24. Retirar el termómetro del paso 1.20.
- 1.25. Con ayuda de un Beacker de 200 mL, retirar solución de levadura (aprox. 50 mL) del recipiente del paso anterior, hasta que queden 800 mL en el beacker de 1000 mL.
- 1.26. Repetir el paso 1.18, colocando la perilla en la posición media alta.
- 1.27. Agregar 10 mL de la solución de NaOH al 50 % y dejar homogenizar la solución durante 10 minutos.
- 1.28. Repetir el paso 1.23.
- 1.29. Retirar el recipiente de la plancha y dejar enfriar hasta alcanzar la temperatura ambiente. Se recomienda el uso de un baño de agua fría.
- 1.30. Retirar el agitador magnético del recipiente, con ayuda de la barra magnética.
- 1.31. Adicionar 35 mL de HCl 2.5N al recipiente del paso anterior y homogeneizar.
- 1.32. Con ayuda de un pH-metro, determinar el pH. (Éste debe ser de $9,0 \pm 0,5$). En caso contrario, ajustar a este valor (con NaOH o HCl diluido).
- 1.33. Centrifugar la solución obtenida en el paso anterior a 3500 r.p.m, durante 10 minutos.
- 1.34. Luego del centrifugado, descartar el sobrenadante y agregar agua destilada equivalente al mismo volumen del sobrenadante. Se debe utilizar únicamente agua destilada, de lo contrario se disminuiría la vida útil del Sucio Base.

1.35. Homogeneizar completamente el precipitado con el agua destilada y repetir el paso 1.33 con esta solución.

1.36. Luego del centrifugado, descartar el sobrenadante. Eliminar completamente el sobrenadante del precipitado.

1.37. Remover la capa superficial del precipitado obtenido en el paso anterior.

1.38. Transvasar el precipitado restante del paso anterior a un recipiente de cierre hermético. Se debe cuidar de no transvasar los sólidos que comúnmente sedimentan en el fondo del recipiente de centrifugado.

1.39. En caso de no ser necesario preparar muestras de inmediato, cerrar el recipiente y almacenar refrigerado a 4°C. Éste Sucio Base puede almacenarse refrigerado durante 10 días, aproximadamente, sin perder sus propiedades.

1. Preparación del Sucio Estándar:

La siguiente metodología está diseñada para la preparación de aproximadamente 40 botellas.

2.1. Colocar 250 mL de producto (cerveza o Maltín) en el degasificador, hasta observar la ausencia de gas en el producto (3 – 5 minutos).

2.2. Pesar 90 g de Sucio Base en un Beacker de 250 mL. El Sucio Base debe estar a temperatura ambiente.

2.3. Agitar suavemente, con ayuda de una varilla de vidrio homogenizando, el Sucio Base pesado en el paso anterior.

2.4. Agregar 15 g de producto y homogeneizar suavemente, evitando la formación de espuma. El producto debe estar a temperatura ambiente.

2.5. Agregar 18 g de producto y homogeneizar completa y suavemente, evitando la formación de espuma. Esta formulación, Sucio Estándar, debe ser utilizada al momento; no se recomienda reutilizarla para otra ocasión.

3. Preparación de las muestras:

3.1. Pesar una botella tipo flint, limpia y seca, con ayuda de la balanza analítica. Es indispensable que se realice la medición con cuatro cifras decimales. Éste peso se registra como PLA, (peso de la botella limpia antes del lavado).

3.2. Agregar, aproximadamente, 20 mL de Sucio Estándar en la botella flint e impregnar completamente la botella. Se recomienda girar la botella en un solo sentido e inclinarla poco a poco hasta cubrir toda la superficie interna de la botella con el Sucio Estándar, se coloca la botella en posición horizontal hasta escurrirse completamente el fondo de la misma y finalmente se coloca a aproximadamente 30° respecto a la horizontal, durante 2 minutos. El sucio remanente se debe recolectar en un Beacker, para luego ser utilizado en la próxima muestra.

3.3. Colocar la botella impregnada en posición vertical durante, aproximadamente, cuatro, (4) minutos. El sucio remanente se debe recolectar en un Beacker, para luego ser utilizado en la próxima muestra.

3.4. Secar el Sucio Estándar, impregnado en la superficie interna de la botella, con inyección de aire seco, utilizando el secador de botellas. La botella impregnada debe permanecer en el secador, hasta que en apariencia esté seca (aprox. 5 – 10 minutos).

3.5. Retirar la botella del secador y remover el exceso de Sucio Estándar de la boca de la botella, con ayuda de una varilla de vidrio, procurando que el impregnado en esta zona sea uniforme.

3.6. Colocar, la botella impregnada, en la estufa por un periodo de 45 minutos a 70 °C.

3.7. Luego de cumplirse el paso 3.6, retirar la botella impregnada de la estufa y se deja enfriar a temperatura ambiente.

3.8. Pesar la muestra obtenida en el paso anterior en una balanza analítica. Es indispensable que la balanza tenga una precisión de 4 cifras decimales. Se registra este valor como PBI, (peso de la botella impregnada).

3.9. Someter la botella impregnada (muestra) a la prueba de lavado. Es importante que las muestras a utilizar no excedan de 48 horas de elaboradas, es decir, después de su preparación.

3.10. Introducir la muestra en la estufa a 70 °C, hasta secarse en su totalidad. Se debe ser cuidadoso de no remover el sucio remanente en la botella con las manos, durante la manipulación de las muestras.

3.11. Retirar la muestra de la estufa y dejar enfriar a temperatura ambiente.

3.12. Pesar la botella, en la balanza analítica de cuatro cifras decimales, y registrar este peso como PBL (peso de la botella lavada).

3.13. Lavar la botella con ayuda de un cepillo y jabón líquido. Se recomienda dejar la muestra en remojo con el jabón antes de lavarla.

3.14. Introducir la botella limpia nuevamente en la estufa, a 70 °C, hasta secarse en su totalidad.

3.15. Repetir el paso 3.11 con la botella del paso 3.14.

3.16. Pesar la botella en la balanza analítica de cuatro cifras decimales, y registrar éste peso como PLD, (peso de la botella limpia después del lavado).

3.17. Determinar la eficiencia del lavado, mediante la siguiente ecuación:

$$\%E = \frac{(PBI - PLA) - (PBL - PLD)}{(PBI - PLA)} \times 100$$

APÉNDICE B

En esta sección de muestra las tablas de los datos obtenidos en las diversas pruebas realizadas a los aditivos para la solución de lavado.

Tabla B.1 Eficiencia de lavado utilizando el aditivo INTEGRA HD®

Botella	Peso botella Limpia PBA (g) (± 0,001 g)	Peso botella Impregnada PBI (g) (± 0,001 g)	Peso botella lavada PBL (g) (± 0,001 g)	Peso botella Limpia 2 PLD (g) (± 0,001 g)	% Eficiencia de lavado
1	149,682	150,126	149,727	149,679	89,19
2	150,017	150,508	150,060	150,013	90,43
3	149,600	150,079	149,637	149,599	92,07
4	149,539	149,960	149,586	149,534	87,65
5	148,944	149,480	148,970	148,938	94,03
6	149,749	150,214	149,777	149,744	92,90
7	149,735	150,140	149,769	149,730	90,37
8	149,667	149,978	149,702	149,662	87,14
9	149,911	150,261	149,944	149,914	91,43
10	149,962	150,345	149,998	149,958	89,56
11	149,365	149,770	149,395	149,366	92,84
12	149,292	149,650	149,317	149,289	92,18
13	149,882	150,260	149,917	149,880	90,21
14	149,655	150,009	149,694	149,655	88,98
15	149,329	149,799	149,362	149,326	92,34
16	149,793	150,155	149,824	149,790	90,61
17	149,674	150,097	149,702	149,676	93,85
18	149,611	150,001	149,639	149,610	92,56
19	149,941	150,328	149,970	149,940	92,25
20	149,900	150,294	149,929	149,893	91,09
Media	149,650	150,061	149,684	149,648	91,08
Desviacion	0,269	0,254	0,272	0,270	1,97

Tabla B.2 Eficiencia de lavado utilizando el aditivo Stabilon WT®.

Botella	Peso botella Limpia PBA (g) (± 0,001 g)	Peso botella Impregnada PBI (g) (± 0,001 g)	Peso botella lavada PBL (g) (± 0,001 g)	Peso botella Limpia 2 PLD (g) (± 0,001 g)	% Eficiencia de lavado
1	149,725	150,181	149,750	149,724	94,30
2	149,526	149,950	149,548	149,522	93,87
3	149,597	150,096	149,624	149,591	93,39
4	149,150	149,737	149,184	149,145	93,36
5	149,936	150,581	149,966	149,931	94,57
6	149,265	149,922	149,320	149,261	91,02
7	149,459	150,026	149,485	149,453	94,36
8	150,145	150,659	150,164	150,136	94,55
9	149,984	150,586	150,006	149,980	95,68
10	149,602	150,199	149,622	149,600	96,31
11	149,790	150,313	149,830	149,788	91,97
12	149,948	150,480	149,975	149,943	93,98
13	149,954	150,503	149,978	149,949	94,72
14	149,287	149,739	149,314	149,280	92,48
15	149,620	150,047	149,649	149,617	92,51
16	149,658	150,093	149,684	149,655	93,55
17	149,200	149,687	149,248	149,199	89,94
18	149,836	150,336	149,865	149,835	94,00
19	149,365	150,011	149,400	149,361	93,96
20	149,718	150,273	149,747	149,711	93,51
Media	149,637	150,175	149,667	149,633	93,604
Desviacion	0,294	0,301	0,289	0,293	1,521

Tabla B.3 Eficiencia de lavado utilizando el aditivo VIDRAL II-LST®

Botella	Peso botella Limpia PBA (g) (± 0,001 g)	Peso botella Impregnada PBI (g) (± 0,001 g)	Peso botella lavada PBL (g) (± 0,001 g)	Peso botella Limpia 2 PLD (g) (± 0,001 g)	% Eficiencia de lavado
1	150,184	150,694	150,199	150,180	96,27
2	149,322	149,814	149,338	149,317	95,73
3	149,351	149,845	149,368	149,346	95,55
4	149,576	149,985	149,593	149,569	94,13
5	149,324	149,717	149,345	149,322	94,15
6	149,573	149,967	149,586	149,570	95,94
7	149,467	149,950	149,488	149,461	94,41
8	149,780	150,261	149,803	149,775	94,32
9	149,796	150,246	149,815	149,790	94,44
10	149,176	149,633	149,199	149,172	94,09
11	149,365	149,818	149,384	149,358	94,26
12	149,126	149,517	149,145	149,121	93,86
13	149,350	149,768	149,375	149,343	92,34
14	149,720	150,125	149,737	149,716	94,81
15	149,842	150,222	149,860	149,840	94,74
16	149,449	149,863	149,473	149,445	93,24
17	149,568	149,967	149,590	149,565	93,73
18	149,500	149,921	149,527	149,505	94,77
19	149,237	149,689	149,282	149,233	89,16
20	149,849	150,347	149,869	149,848	95,78
Media	149,514	149,952	149,535	149,511	94,285
Desviacion	0,269	0,279	0,266	0,269	1,583

Tabla B.4 Anillo de rayado en las botellas utilizando el aditivo VIDRAL II-LST®

Botella	Rayado ciclo 0 (± 0,05 mm)	Rayado ciclo 5 (± 0,05 mm)	Rayado ciclo 10 (± 0,05 mm)	Rayado ciclo 15 (± 0,05 mm)	Rayado ciclo 20 (± 0,05 mm)	Rayado ciclo 25 (± 0,05 mm)
1	0,00	1,44	2,60	3,10	3,38	4,08
2	0,00	1,76	2,52	3,18	3,59	3,73
3	0,00	1,57	2,48	3,16	3,59	4,27
4	0,00	1,86	2,36	3,32	3,84	4,20
5	0,00	1,88	2,22	3,28	3,67	3,89
6	0,00	1,48	2,56	3,03	3,41	3,95
7	0,00	1,84	2,30	3,04	3,42	3,92
8	0,00	1,77	2,33	3,25	3,87	4,15
9	0,00	1,85	2,47	2,96	3,46	3,98
10	0,00	1,87	2,32	2,96	3,48	3,88
11	0,00	1,92	2,67	3,24	3,60	3,84
12	0,00	2,09	2,34	2,72	3,49	3,90
13	0,00	2,01	2,72	3,35	3,82	3,90
14	0,00	1,78	2,40	2,99	3,72	4,12
15	0,00	1,81	2,62	2,86	3,55	3,84
16	0,00	1,87	2,37	3,03	3,37	3,80
17	0,00	1,58	2,19	2,90	3,41	3,98
18	0,00	1,93	2,35	3,13	3,61	4,14
19	0,00	2,02	2,70	3,11	3,68	4,05
20	0,00	1,64	2,25	2,84	3,45	3,93
Media	0,00	1,80	2,44	3,07	3,57	3,98
Desviacion	0,00	0,18	0,16	0,17	0,16	0,14

Tabla B.5 Pérdida de masa en las botellas utilizando el aditivo VIDRAL II-LST®

Botella	Peso botella inicial (g) (± 0,001 g)	Ciclo 10		Ciclo 20		Ciclo 25	
		Masa (± 0,001 g)	% Pérdida	Masa (± 0,001 g)	% Pérdida	Masa (± 0,001 g)	% Pérdida
1	220,70	220,54	0,07	220,47	0,10	220,43	0,12
2	221,72	221,60	0,05	221,47	0,11	221,44	0,13
3	221,87	221,72	0,07	221,62	0,11	221,60	0,12
4	221,51	221,42	0,04	221,33	0,08	221,24	0,12
5	220,42	220,25	0,08	220,16	0,12	220,14	0,13
6	221,17	220,99	0,08	220,90	0,12	220,87	0,14
7	220,20	219,99	0,10	219,94	0,12	219,92	0,13
8	220,75	220,63	0,05	220,53	0,10	220,51	0,11
9	220,63	220,53	0,05	220,48	0,07	220,440	0,09
10	220,94	220,86	0,04	220,75	0,09	220,700	0,11
11	220,56	220,43	0,06	220,40	0,07	220,360	0,09
12	220,77	220,66	0,05	220,62	0,07	220,590	0,08
13	220,31	220,19	0,05	220,16	0,07	220,140	0,08
14	220,92	220,79	0,06	220,75	0,08	220,710	0,10
15	219,53	219,44	0,04	219,37	0,07	219,340	0,09
16	221,70	221,58	0,05	221,51	0,09	221,450	0,11
17	221,85	221,76	0,04	221,66	0,09	221,620	0,10
18	221,13	221,01	0,05	220,97	0,07	220,950	0,08
19	220,96	220,80	0,07	220,77	0,09	220,740	0,10
20	220,24	220,12	0,05	220,02	0,10	219,980	0,12
Media	220,89	220,77	0,06	220,69	0,09	220,66	0,11
Desviación	0,62	0,63	0,02	0,61	0,02	0,60	0,02

APÉNDICE C

En esta sección de muestra las tablas e imágenes que fueron utilizadas para los cálculos necesarios en el diseño del equipo de simulación de Lavado a nivel de laboratorio.

Tabla C.1. Dimensiones de tubos de acero calibre 80

Tamaño nominal de la tubería (pulg)	Diámetro exterior		Grosor de la pared		Diámetro interior			Área de flujo	
	(pulg)	(mm)	(pulg)	(mm)	(pulg)	(pie)	(mm)	(pie ²)	(m ²)
1/8	0.405	10.3	0.095	2.41	0.215	0.017 92	5.5	0.000 253	2.350 × 10 ⁻⁵
1/4	0.540	13.7	0.119	3.02	0.302	0.025 17	7.7	0.000 497	4.617 × 10 ⁻⁵
3/8	0.675	17.1	0.126	3.20	0.423	0.035 25	10.7	0.000 976	9.067 × 10 ⁻⁵
1/2	0.840	21.3	0.147	3.73	0.546	0.045 50	13.9	0.001 625	1.510 × 10 ⁻⁴
3/4	1.050	26.7	0.154	3.91	0.742	0.061 83	18.8	0.003 00	2.787 × 10 ⁻⁴
1	1.315	33.4	0.179	4.55	0.957	0.079 75	24.3	0.004 99	4.636 × 10 ⁻⁴
1 1/4	1.660	42.2	0.191	4.85	1.278	0.106 5	32.5	0.008 91	8.278 × 10 ⁻⁴
1 1/2	1.900	48.3	0.200	5.08	1.500	0.125 0	38.1	0.012 27	1.140 × 10 ⁻³
2	2.375	60.3	0.218	5.54	1.939	0.161 6	49.3	0.020 51	1.905 × 10 ⁻³
2 1/2	2.875	73.0	0.276	7.01	2.323	0.193 6	59.0	0.029 44	2.735 × 10 ⁻³
3	3.500	88.9	0.300	7.62	2.900	0.241 7	73.7	0.045 90	4.264 × 10 ⁻³
3 1/2	4.000	101.6	0.318	8.08	3.364	0.280 3	85.4	0.061 74	5.736 × 10 ⁻³
4	4.500	114.3	0.337	8.56	3.826	0.318 8	97.2	0.079 86	7.419 × 10 ⁻³
5	5.563	141.3	0.375	9.53	4.813	0.401 1	122.3	0.126 3	1.173 × 10 ⁻²
6	6.625	168.3	0.432	10.97	5.761	0.480 1	146.3	0.181 0	1.682 × 10 ⁻²
8	8.625	219.1	0.500	12.70	7.625	0.635 4	193.7	0.317 4	2.949 × 10 ⁻²
10	10.750	273.1	0.593	15.06	9.564	0.797 0	242.9	0.498 6	4.632 × 10 ⁻²
12	12.750	323.9	0.687	17.45	11.376	0.948 0	289.0	0.705 6	6.555 × 10 ⁻²
14	14.000	355.6	0.750	19.05	12.500	1.042	317.5	0.852 1	7.916 × 10 ⁻²
16	16.000	406.4	0.842	21.39	14.314	1.193	363.6	1.117	0.1038
18	18.000	457.2	0.937	23.80	16.126	1.344	409.6	1.418	0.1317
20	20.000	508.0	1.031	26.19	17.938	1.495	455.6	1.755	0.1630
24	24.000	609.6	1.218	30.94	21.564	1.797	547.7	2.535	0.2344

Tabla C.2. Dimensiones de tubos de acero calibre 40

Tamaño nominal de la tubería (pulgadas)	Diámetro exterior		Grosor de la pared		Diámetro interior			Área de flujo	
	(pulg)	(mm)	(pulg)	(mm)	(pulg)	(pie)	(mm)	(pie ²)	(m ²)
1/8	0.405	10.3	0.068	1.73	0.269	0.0224	6.8	0.000 394	3.660 × 10 ⁻⁵
1/4	0.540	13.7	0.088	2.24	0.364	0.0303	9.2	0.000 723	6.717 × 10 ⁻⁵
3/8	0.675	17.1	0.091	2.31	0.493	0.0411	12.5	0.001 33	1.236 × 10 ⁻⁴
1/2	0.840	21.3	0.109	2.77	0.622	0.0518	15.8	0.002 11	1.960 × 10 ⁻⁴
3/4	1.050	26.7	0.113	2.87	0.824	0.0687	20.9	0.003 70	3.437 × 10 ⁻⁴
1	1.315	33.4	0.133	3.38	1.049	0.0874	26.6	0.006 00	5.574 × 10 ⁻⁴
1 1/4	1.660	42.2	0.140	3.56	1.380	0.1150	35.1	0.010 39	9.653 × 10 ⁻⁴
1 1/2	1.900	48.3	0.145	3.68	1.610	0.1342	40.9	0.014 14	1.314 × 10 ⁻³
2	2.375	60.3	0.154	3.91	2.067	0.1723	52.5	0.023 33	2.168 × 10 ⁻³
2 1/2	2.875	73.0	0.203	5.16	2.469	0.2058	62.7	0.033 26	3.090 × 10 ⁻³
3	3.500	88.9	0.216	5.49	3.068	0.2557	77.9	0.051 32	4.768 × 10 ⁻³
3 1/2	4.000	101.6	0.226	5.74	3.548	0.2957	90.1	0.068 68	6.381 × 10 ⁻³
4	4.500	114.3	0.237	6.02	4.026	0.3355	102.3	0.088 40	8.213 × 10 ⁻³
5	5.563	141.3	0.258	6.55	5.047	0.4206	128.2	0.139 0	1.291 × 10 ⁻²
6	6.625	168.3	0.280	7.11	6.065	0.5054	154.1	0.200 6	1.864 × 10 ⁻²
8	8.625	219.1	0.322	8.18	7.981	0.6651	202.7	0.347 2	3.226 × 10 ⁻²
10	10.750	273.1	0.365	9.27	10.020	0.8350	254.5	0.547 9	5.090 × 10 ⁻²
12	12.750	323.9	0.406	10.31	11.938	0.9948	303.2	0.777 1	7.219 × 10 ⁻²
14	14.000	355.6	0.437	11.10	13.126	1.094	333.4	0.939 6	8.729 × 10 ⁻²
16	16.000	406.4	0.500	12.70	15.000	1.250	381.0	1.227	0.1140
18	18.000	457.2	0.562	14.27	16.876	1.406	428.7	1.553	0.1443
20	20.000	508.0	0.593	15.06	18.814	1.568	477.9	1.931	0.1794
24	24.000	609.6	0.687	17.45	22.626	1.886	574.7	2.792	0.2594

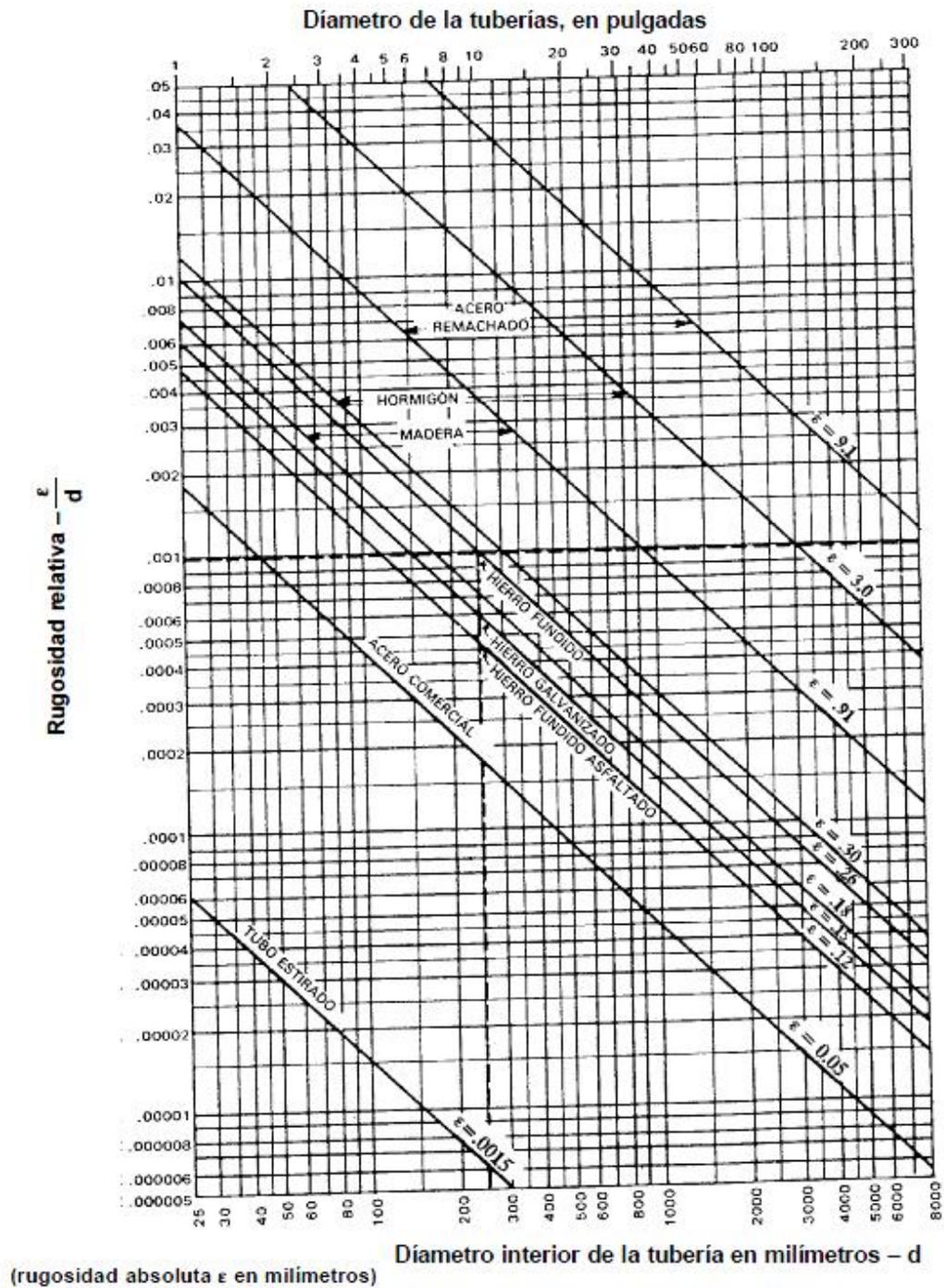


Figura C.1. Rugosidad relativa de los materiales de las tuberías

COEFICIENTE DE RESISTENCIA PARA CAMBIOS EN LA SECCION TRANSVERSAL

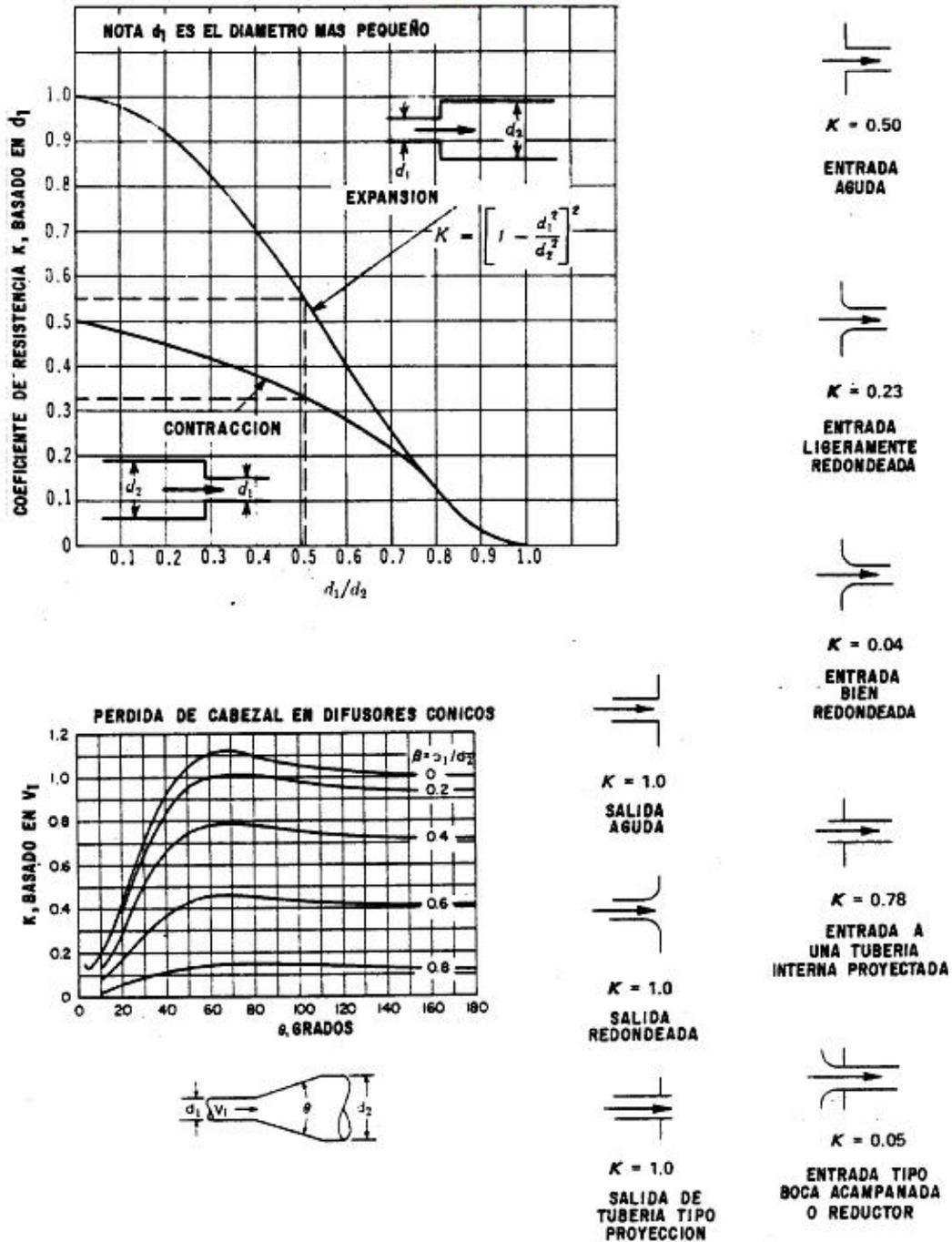


Figura C.2. Coeficientes de resistencia para cambios en la sección transversal

Tabla C.3. Longitudes equivalentes en diámetro de tuberías para válvulas

LONGITUDES EQUIVALENTES REPRESENTATIVAS DE VARIOS TIPOS DE VALVULAS, EN DIAMETROS DE TUBERIA (L/D)

Descripción del Producto			Longitud equivalente en diámetro de tubería (L/D)		
Válvulas de Globo	Vástago Perpendicular al recorrido	Sin obstrucción en el asiento, de tipo plano, bisal o tapón	Abierta totalmente	340	
		Con perno o pasador de disco	Abierta totalmente	450	
	Modelo y	Sin obstrucción en el asiento, de tipo plano, bisel o tapón	Abierta totalmente	175	
		– Con vástago a 60° de la línea de la tubería	Abierta totalmente	145	
Válvulas Angulares		Sin obstrucción en el asiento, de tipo plano, bisal o tapón	Abierta totalmente	145	
		Con pernos o pasador de disco	Abierta totalmente	200	
Válvulas de Compuerta	Acuñaadas, disco doble o disco tapón		Abierta totalmente	13	
			Abierta a tres cuartas partes	35	
			Abierta 50%	180	
			Abierta 25%	900	
	Para manejo de pulpas		Abierta totalmente	17	
			Abierta a tres cuartas partes	50	
		Abierta 50%	260		
		Abierta 25%	1200		
Válvulas de compuerta, globo o tapón en tuberías conduit			Abierta totalmente	3**	
Válvulas de Retención	Giro convencional	3.5*	Abierta totalmente	135	
	Giro de despeje ("Clearaway Swing")	3.5*	Abierta totalmente	50	
	Horizontal de retención; vástago perpendicular al flujo o tipo "Y"	14.0*	Abierta totalmente	Igual como la de globo	
	Angular o de cierre	14.0*	Abierta totalmente	Igual a la angular	
	En líneas de municiones 1.75 vert. y 1.75 horiz.	*	Abierta totalmente	150	
Válvulas de pie con colador		Con disco tipo varilla	2.1*	Abierta totalmente	420
		Con disco de cuero articulado	2.8*	Abierta totalmente	75
Válvulas de mariposa (mayores de 200 mm (8 pulg))			Abierta totalmente	40	
Válvulas de paso	Una vía	Area de la puerta rectangular del tapón igual a 100% del área de la tubería	Abierta totalmente	18	
	Tres vías	Area de la puerta rectangular del tapón igual a 80% del área de la tubería (totalmente abierta)	Flujo recto Flujo a través de la bifurcación	44 140	

* Caída de presión mínima calculada (kPa) a través de la válvula para proveer de suficiente flujo a una apertura del disco total. Para obtener los valores en psi, multiplique por 0.145.

** La longitud equivalente es igual a la longitud entre las caras de las bridas o la soldadura.

LONGITUDES EQUIVALENTES L Y L/D Y COEFICIENTES DE RESISTENCIA K PARA VALVULAS

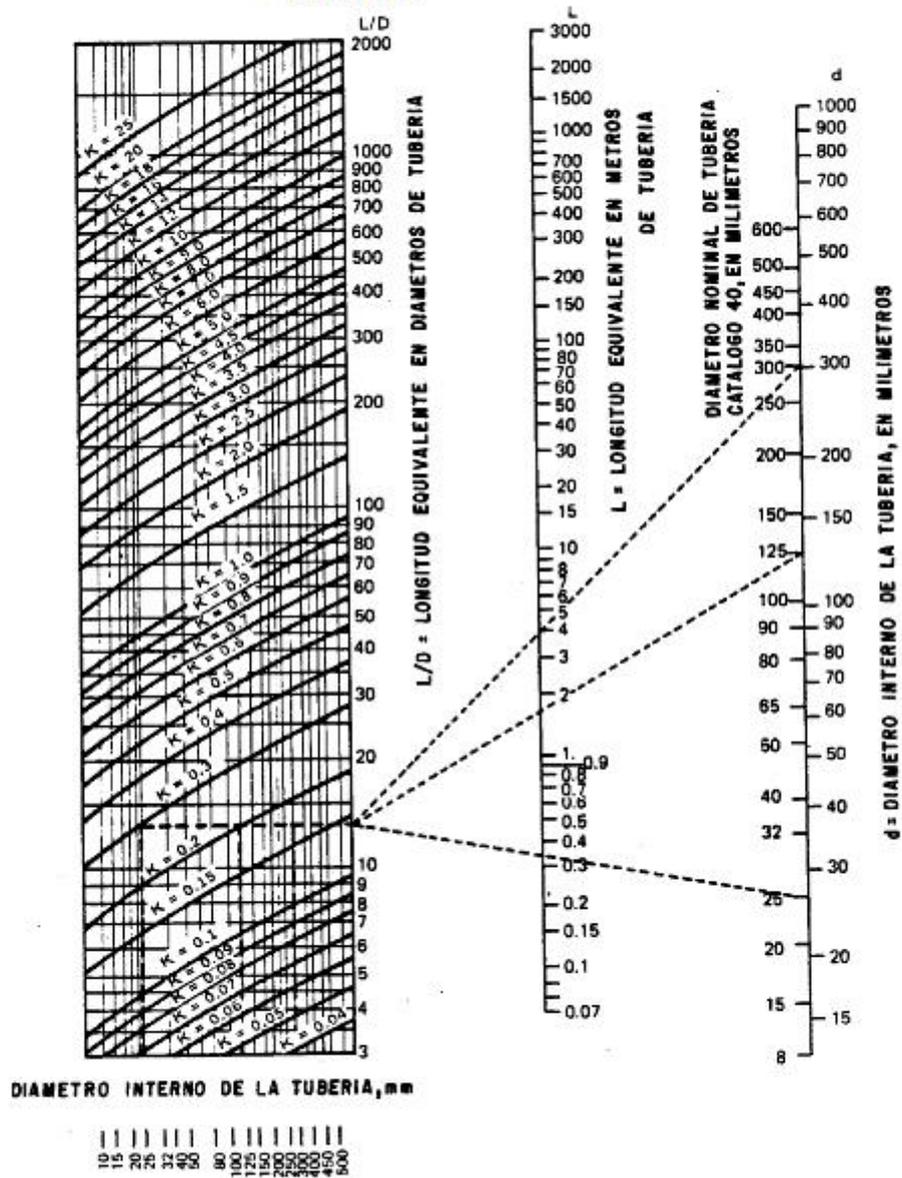
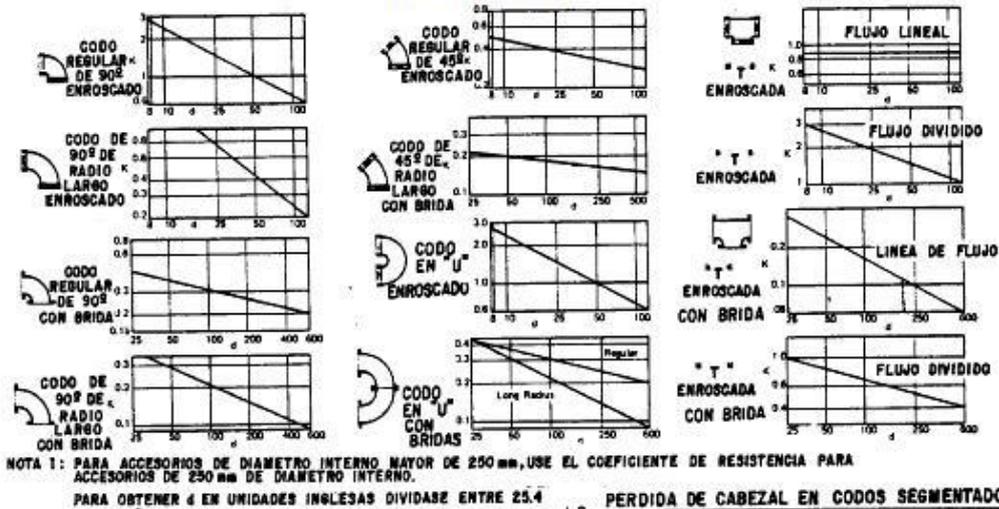
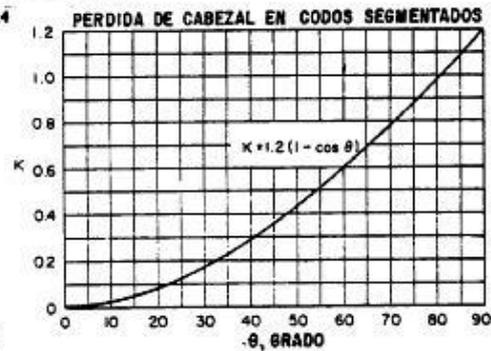
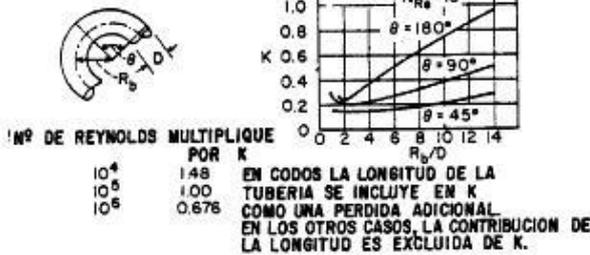


Figura C.3. Coeficientes de resistencia para válvulas

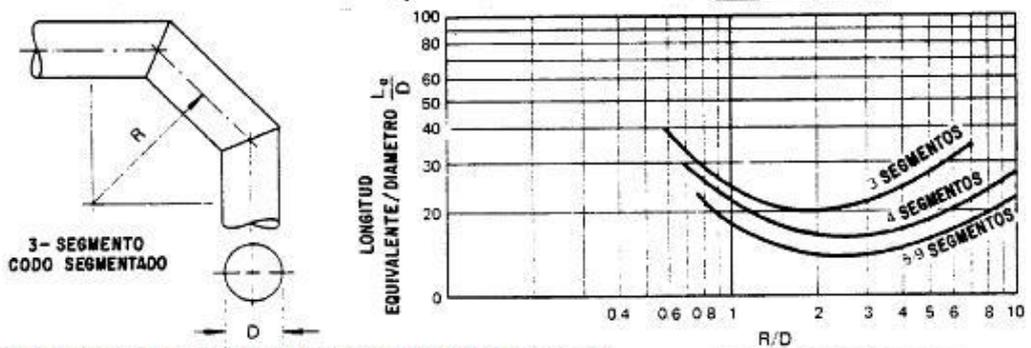
COEFICIENTE DE RESISTENCIA PARA CODOS Y CONECTORES TIPO "L" Y "T"



CODOS EN TUBERIAS LISAS



LONGITUD EQUIVALENTE TOTAL (L_e/D) PARA CODOS DE 90º



TOMADO DE CHEMICAL ENGINEERING 75 No. 13, 198-199 (JUNIO 17, 1986)

* USE SOLAMENTE PARA ≥ 350 mm DIAMETROS DE TUBERIA

Figura C.4. Coeficientes de resistencia para codos y conectores

FACTOR J PARA CALCULO DE PERDIDA DE CABEZAL EN DISTRIBUIDORES

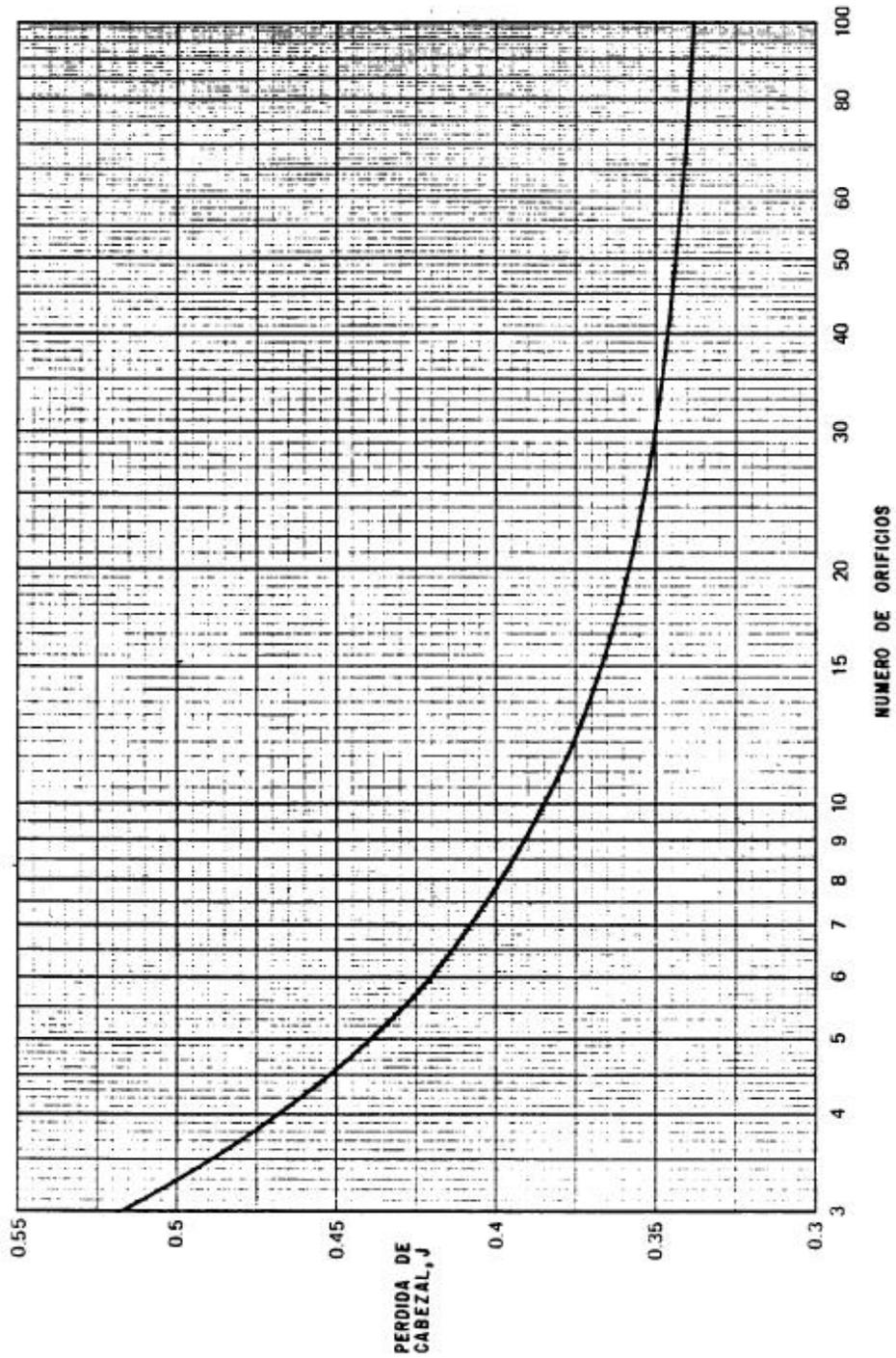


Figura C.5. Factor J para cálculo de pérdida de cabezal en distribuidor

ANEXOS

En esta sección se muestran las salidas del software MINITAB 14, para la realización de los análisis de resultados con bases estadísticas en las pruebas que se requirieron.

EFICIENCIA DE LAVADO

Reporte del ANOVA por el método de Tukey realizado por el software estadístico Minitab 14

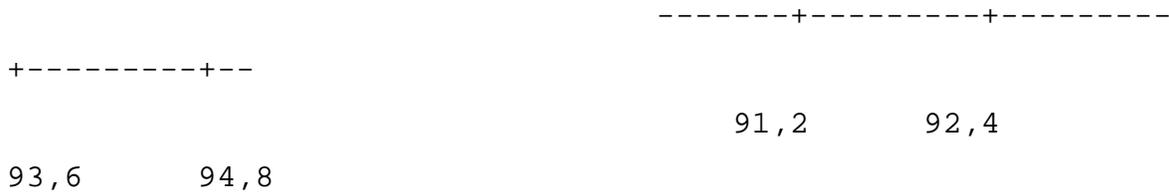
One-way ANOVA: Eficiencia de Lavado (%) versus Aditivo

Source	DF	SS	MS	F	P
Aditivo	2	108,04	54,02	18,65	0,000
Error	54	156,40	2,90		
Total	56	264,44			

S = 1,702 R-Sq = 40,86% R-Sq(adj) = 38,66%

Individual 95% CIs For Mean Based on

Level	N	Mean	StDev	Pooled StDev
INTEGRA HD	20	91,084	1,968	(-----*-----)
STABILON WT	20	93,604	1,520	(-----)
VIDRAL II-LST	20	94,284	1,582	(-----*-----)



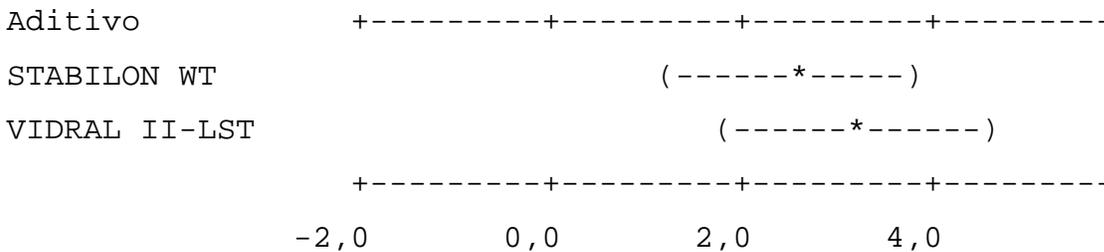
Pooled StDev = 1,702

Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals
 All Pairwise Comparisons among Levels of Aditivo

Individual confidence level = 98,07%

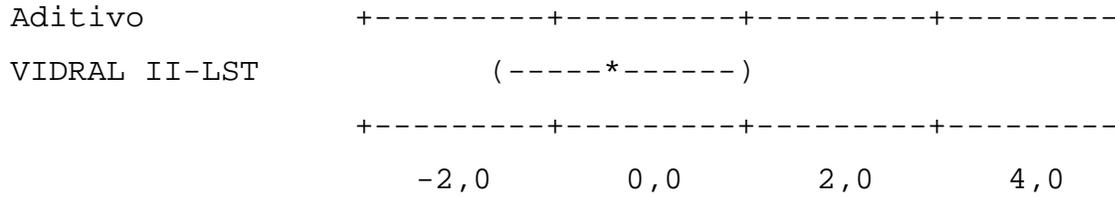
Aditivo = INTEGRA HD subtracted from:

Aditivo	Lower	Center	Upper
STABILON WT	1,189	2,521	3,852
VIDRAL II-LST	1,869	3,201	4,532



Aditivo = STABILON WT subtracted from:

Aditivo	Lower	Center	Upper
VIDRAL II-LST	-0,651	0,680	2,011



ESTABILIDAD DE LA ESPUMA

Reporte del ANOVA por el método de Tukey realizado por el software estadístico

Minitab 14

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	43,8	14,6	0,76	0,534
Error	16	308,0	19,3		
Total	19	351,8			

S = 4,387 R-Sq = 12,45% R-Sq(adj) = 0,00%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	-----+-----+-----
----				-----+-----+-----

```

Vidral II-LST      5  262,80  4,38  (-----*-----
---)
Stabilon WT Prue  5  264,40  3,78  (-----*-----
-----)
Integra HD        5  266,40  5,18  (-----
-*-----)
Stabilon WT Prue  5  262,80  4,09  (-----*-----
---)
-----+-----+-----
---+-----+-
267,0      270,0
261,0      264,0

```

Pooled StDev = 4,39

Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons

Individual confidence level = 98,87%

Vidral II-LST subtracted from:

	Lower	Center	Upper
Stabilon WT Prue	-6,347	1,600	9,547
Integra HD	-4,347	3,600	11,547
Stabilon WT Prue	-7,947	0,000	7,947


```

-----+-----+-----+-----+
Stabilon WT Prue  (-----*-----)
Integra HD        (-----*-----)
Stabilon WT Prue  (-----*-----)
-----+-----+-----+-----+
-6,0      0,0      6,0      12,0

```

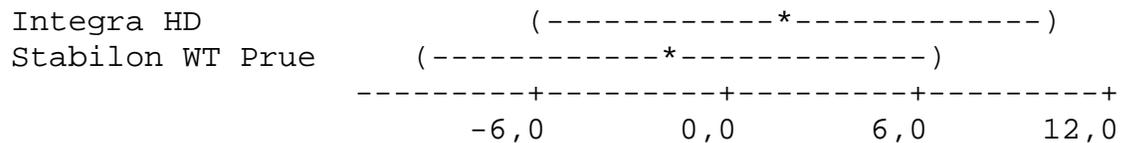
Stabilon WT Prueba V subtracted from:

	Lower	Center	Upper
Integra HD	-5,947	2,000	9,947
Stabilon WT Prue	-9,547	-1,600	6,347


```

-----+-----+-----+-----+

```



Integra HD subtracted from:

	Lower	Center	Upper
Stabilon WT Prue	-11,547	-3,600	4,347

