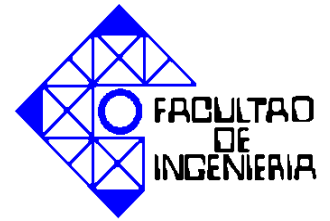




UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



**EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DE LAS ETAPAS DEL PROCESO DE  
ENVASADO SOBRE EL DESGASTE DE BOTELLAS RETORNABLES  
DE POLAR ICE EN CERVECERÍA POLAR PLANTA SAN JOAQUÍN**

Prof. Víctor Guanipa  
Tutor Académico

Luis Parra  
Tutor Industrial

Autora:  
Stefany Kancev

Valencia, Enero de 2006.

## **DEDICATORIAS**

*Siempre he creído en que tenemos un Ser Supremo cuidando nuestros pasos, protegiéndonos de las cosas que no nos deben pasar... a Dios por cuidarme y protegerme, y a la Virgen de Valle por ayudarme a no abandonar mis metas.*

*A mi madre, Luisa, eres el mejor ejemplo de lo que es ser mujer, madre y profesional, eres mi modelo a seguir... todos mis triunfos son un producto de tu constante guía e inspiración... sabes que esto es tanto mío como tuyo.*

*A mi hermano, Stefan José, que sabe que está siempre en mi corazón aunque él crea que no lo demuestro mucho.*

*A mis tías, Argelia y Verónica, que a lo largo de todo lo que llevo de vida me han apoyado con sus consejos y ayudas de todo tipo, y a mi tío, Pedro, quien ha sido un gran apoyo desde que tengo uso de razón, siendo el causante de mi desarrollo profesional.*

*A mis amigos, ya que sin ellos a mi lado a lo largo de mi vida universitaria no se que hubiese sido de mí, simplemente no sería lo que soy hoy.*

*A mis abuelas, Luisa y Mirta, ya que ellas son el ejemplo de lo que es tener resistencia y fé en esta vida.*

*A todos mis compañeros en Cervecería Polar, ya que me enseñaron lo que es ser una profesional, al darme la oportunidad de demostrar lo que puedo ser capaz de lograr.*

*Al Prof. Víctor Guanipa, quien me ha ayudado a lo largo de todo este proceso, siendo mi guía de esta última etapa de mi vida universitaria.*

*En memoria de la Prof. Morella Barreto, quién fue uno de los mejores seres humanos que he tenido el honor de conocer, y siento un gran orgullo de haberla tenido como profesora en la carrera.*

*Stefany M. Rancev Mata*

## **AGRADECIMIENTOS**

*Al Dios y la Virgen del Valle, quienes son los protectores de mi vida y mi alma.*

*Al mi madre, gracias por traerme al mundo, gracias por confiar en mis decisiones y por simplemente dejarme ser.*

*Al María... bien sabes que nada hubiese sido posible si tú no estuvieras, gracias por ayudarme en todo, se que lo hacías con todo el amor del mundo.*

*Al La Sra. Irene, por cuidarme mientras estuve fuera de casa, como una segunda madre...gracias por hacer este proceso más llevadero.*

*Al mi Padre, Stefan, por su interés y apoyo a lo largo de toda la carrera, sabes que sin ti todo hubiese sido más difícil.*

*Al mi familia... todos mis primos y tíos que estuvieron pendientes siempre de lo que hacia, y me apoyaban como nadie lo hacia.*

*Al Luis Parra, Orlando Pinzda, Linda Flores, Mariangela Calzadilla, Iván Silva, y el resto del personal de Aseguramiento de la Calidad de Envasado (Pedro, Emilio, Wilmer, José B., José H., Alfredo, César, Javier, Oscar, Efraín, Henry, Elizabeth y Yakima) quienes son mis compañeros y amigos de trabajo, quienes me han hecho sentir parte de la familia Polar... TODOS SON LO MÁXIMO.*

*Al mis amigos... Francis, Javier, Andreina, León, Cinthia... Uds. estuvieron en el inicio conmigo, eréanme que sin uds. no hubiera llegado hasta este punto... Juan, Leydi, Miguel, Bernabé, Thaimaly, Dhamelys, Migdelis... people son lo máximo por apoyarme en todo y darme ánimos cuando lo necesite... además de lograr distraerme aún cuando estaba en mi punto crítico... gracias por su compañía... que sé que seguirá por mucho más tiempo.*

*Al Prof. Víctor Guanipa, gracias por ayudarme con este trabajo, nada hubiese resultado sin su apoyo.*

*Al la Universidad de Carabobo, por formarme y convertirme en todo lo que soy académicamente.*

*Al todos los que de una u otra forma ayudaron en este proceso...mil gracias.*

*Stefany M. Kancev Mata*



## SUMARIO

Las botellas de vidrio son usadas, generalmente, como envases para el almacenamiento de distintos productos. Al tratar con botellas retornables se tiene que el rayado de las mismas reduce la atracción del cliente e incrementa los gastos de producción al aumentar el costo de reemplazo de botellas de vidrio. Es por ello, que el presente trabajo especial de grado tuvo como objetivo general la evaluación de la incidencia de las etapas del proceso de envasado en el desgaste de las botellas retornables de Polar Ice en Cervecería Polar Planta San Joaquín, a fin de aumentar la vida útil de las mismas.

Para el logro de este objetivo, fueron estudiadas las velocidades de las vías y la calidad de la solución limpiadora de las lavadoras, teniéndose que en esta última se determinaron los sólidos suspendidos y volátiles, la demanda química de oxígeno, los contenidos de sílice y la concentración en cada uno de los tanques estudiados. A partir de los resultados obtenidos se seleccionaron las acciones correctivas en el proceso y su impacto económico. Los trenes estudiados fueron el 8 y el 10.

El tren 8, presenta una lavadora Barry Wehmiller y una longitud corta; mientras que el tren 10, presenta una lavadora Krones y una longitud larga, además que este último trabaja con botellas con etiquetas (Solera Light 222 mL), lo que imparte una característica especial a los resultados obtenidos en la solución limpiadora. Estos trenes tienen distintas tecnologías y tiempos de uso, haciendo que sus comportamientos sean diferentes en cuanto a la formación de rayado en las botellas.

En la evaluación de la formación de rayado se realizó un diagrama de Ishikawa, con la finalidad de organizar y seleccionar las variables a estudiar. Se procedió a tomar las velocidades de los equipos y de las vías, introducir botellas en los trenes y a realizar los estudios de la calidad de la soda. Al cambiar la velocidad de las vías, se introdujeron botellas y se compararon los resultados obtenidos en esta ocasión con los iniciales. Se calculó el ahorro asociado a los resultados obtenidos.

Con el estudio realizado se obtuvo que la altura de rayado en las botellas introducidas en el tren 8 fue de  $(2,80 \pm 0,01)$  mm después de 10 vueltas; mientras que las botellas introducidas en el tren 10 presentaron una altura de rayado de  $(2,36 \pm 0,01)$  mm después de 10 vueltas. Al ajustar las velocidades del tren 10 para balancearlo, se obtuvo una altura de rayado en las botellas de  $(1,77 \pm 0,01)$  mm después de 8 vueltas, observándose una disminución de 25% en la altura de rayado, lo que indica un ahorro de un 95% a la hora de cambiar la flota de botellas, en los primeros 4 años.



Entre las conclusiones se tuvieron que la vida útil de las botellas aumenta al doble una vez que se balancea el tren, de igual forma las grandes variaciones que existían en la solución limpiadora del tren 8 produjeron mayor pérdida de peso y del diámetro del cuerpo de la botella, ésto adjudicado a la pérdida en el pirograbado. En el caso del tren 10, la alta exposición en el proceso de fricción entre las botellas produjo mayor pérdida de diámetro en el hombro y el talón, debido a que estos son los puntos de contacto entre las mismas.

Entre las recomendaciones se encontraron el balancear el resto de los trenes de envasado, de igual manera se recomendó realizar el estudio del efecto que presenta sobre el consumo de lubricante y energía el hecho de mantener los trenes balanceados.



## SUMMARY

The glass bottles are used, generally, like containers for the storage of different products. When it's worked with returnable bottles it has that the scuffing reduces the client's attraction and increases the production expenses when it's increased the cost of substitution of glass bottles. It's for it that the present Special Work of Grade had as general objective the evaluation of the incidence of the stages of the bottling process in the erosion of the returnable bottles of Polar Ice in Brewery Polar San Joaquin Plant, in order to increase the useful life of the same ones.

For the achievement of this objective, the speeds of the roads and the quality of the bottlewashing solution were studied, in this last one the suspended and volatile solids were determined, the chemical demand of oxygen, the silica contents and the concentration in each one of the studied tanks. The corrective actions were selected to improve the process; also the economic impact of this improvement was determined.

The train 8 presents a Barry- Wehmiller bottlewashing machine and a short longitude; while the train 10 presents a Kronos bottlewashing machine and a long longitude, also this last one works with bottles with labels (Solera Light 222 mL), what imparts a special characteristics to the results obtained in the bottlewashing solution. These trains have different technologies and times of use; this produces different behaviours as for the formation of scuffing in returnable bottles.

An Ishikawa diagram was carried out in the evaluation of the formation of scuffing, with the purpose of organize and select the variables to study. It was proceeded to take the speeds of the machines and of the lines then there were introduced bottles in the trains and there were carried out the studies of the quality of the bottlewashing solution. When the speeds of the roads were changed, bottles were introduced and the results obtained in this occasion were compared with the initials. The saving associated to the obtained results was calculated.

Among the results obtained with the investigation were that the height of the scuffing on the bottles introduced in the train 8 was  $(2,80 \pm 0,01)$  mm after 10 laps; while the bottles introduced in the train 10 presented a height of scuffing of  $(2,36 \pm 0,01)$  mm after 10 laps. When the speeds of the train 10 were adjusted to balance it, the height of scuffing obtained was  $(1,77 \pm 0,01)$  mm after 8 turns. Is observed a decrease of 25% in the height of scuffing which indicates a saving of 95% when the fleet of bottles is changed, in the first 4 years.

The most outstanding conclusions were that the useful life of the bottles is increased twice, once the train is balanced. The big variations in the bottlewashing



---

solution in the train 8 produced bigger loss of weight and of the diameter of the body of the bottle; this is adjudicated to the pyrography. In the case of the train 10, the high exhibition in the friction process, between the bottles, produced bigger diameter loss in the shoulder and the check, because these are the contact points among the same ones.

Among the recommendations were to balance the rest of the trains of the plant. In the same way it's recommended to carry out the study of the effect that the balanced trains present on the consumption of lubricant and energy.

---



# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	
1.1 Descripción del problema.....	3
1.2 Formulación del problema.....	5
1.2.1 Situación actual.....	5
1.2.2 Situación deseada.....	5
1.3 Objetivos.....	6
1.3.1 Objetivo general.....	6
1.3.2 Objetivos específicos.....	6
1.4 Justificación.....	6
1.5 Limitaciones.....	7
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL</b>	
2.1 Antecedentes.....	8
2.2 Bases teóricas.....	11
2.2.1 Proceso general de envasado de cerveza.....	11
2.2.2 Principios básicos del lavado de botellas.....	13
2.2.2.1 Diseño de la lavadora de botellas.....	14
2.2.2.2 Condición de las botellas retornables.....	19
2.2.2.3 Composición de la solución de lavado.....	19
2.2.2.4 Temperatura de la solución.....	24
2.2.2.5 Tiempo de contacto o inmersión.....	24
2.2.2.6 Efecto mecánico del lavado.....	25
2.2.2.7 Calidad de la solución de lavado.....	26
2.2.3 Botellas retornables.....	27
2.2.3.1 Producción de las botellas de vidrio.....	27
2.2.3.2 Recubrimiento superficial.....	28
2.2.3.3 Fenómeno de rayado de botellas.....	28
2.2.3.4 Análisis de las variables de calidad de las botellas.....	30
2.2.4 Velocidad de las vías.....	30
2.2.5 Análisis de sistemas de medición.....	31
2.2.6 Evaluación económica.....	32
2.2.6.1 Flujo de caja.....	32
<b>CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO</b>	
3.1 Diagnóstico del proceso de envasado de las botellas retornables.....	33
3.1.1 Reconocimiento del proceso de envasado de las botellas retornables.....	33
3.1.2 Selección de los trenes de trabajo.....	33
3.1.2.1 Criterios de selección.....	34
3.1.2.2 Determinación de los trenes en estudio.....	34
3.1.3 Identificación de las variables en el proceso de envasado de cerveza.....	34
3.1.3.1 Cuantificación de las botellas desechadas.....	34





	Pág.
3.1.3.2 Observación de la resistencia de las botellas a las pruebas de presión interna y choque térmico.....	35
3.1.3.3 Determinación de la eficiencia de las lavadoras de los trenes seleccionados.....	35
3.1.3.4 Diagrama causa- efecto.....	35
3.2 Evaluación del efecto de la velocidad de las vías y la calidad de la solución limpiadora sobre la formación de rayado.....	35
3.2.1 Calidad de la solución limpiadora.....	36
3.2.1.1 Determinación de la concentración de iones oxidrilo y carbonatos en la solución limpiadora.....	36
3.2.1.2 Determinación del contenido de sólidos volátiles y sólidos suspendidos.....	38
3.2.1.3 Determinación de la demanda química de oxígeno.....	39
3.2.1.4 Determinación del contenido de sílice.....	42
3.2.2 Velocidad de las vías.....	43
3.2.2.1 Determinación de la velocidad de los equipos.....	43
3.2.2.2 Determinación de la velocidad de las vías.....	47
3.2.2.3 Determinación del efecto de la velocidad en el rayado de las botellas.....	48
3.3 Generación de alternativas.....	49
3.4 Análisis económico.....	49
<b>CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS</b>	
4.1 Diagnóstico del proceso de envasado de las botellas retornables.....	50
4.1.1 Reconocimiento del proceso de envasado.....	50
4.1.2 Selección de los trenes de trabajo.....	56
4.1.3 Identificación de las variables en el proceso de envasado de cerveza.....	57
4.1.3.1 Botellas desechadas por la Linatronic.....	58
4.1.3.2 Resistencia de las botellas a las pruebas de presión interna y choque térmico...	59
4.1.3.3 Eficiencia de las lavadoras de los trenes seleccionados.....	60
4.1.3.4 Diagrama causa- efecto.....	61
4.2 Evaluación del efecto de la velocidad de las vías y la calidad de la solución limpiadora sobre la formación de rayado.....	66
4.2.1 Calidad de la solución limpiadora.....	67
4.2.2 Velocidad de las vías.....	91
4.3 Generación y aplicación de las alternativas de mejora.....	98
4.4 Análisis económico.....	105
4.4.1 Estimación del ahorro de las botellas.....	106
4.4.2 Estimación del impuesto sobre la renta.....	106
4.4.3 Flujos de cajas netos.....	107
4.4.4 Flujos de caja diferencial.....	107
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
Conclusiones.....	109
Recomendaciones.....	111
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>112</b>
<b>APÉNDICE A: DATOS EXPERIMENTALES.....</b>	<b>114</b>



	Pág.
APÉNDICE B: TABLAS DE RESULTADOS EXPERIMENTALES.....	129
APÉNDICE C: CÁLCULOS TÍPICOS.....	136
APÉNDICE D: METODOLOGÍA.....	147



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Pág.
3.1 Cantidades de muestra y reactivos para varios vasos de digestión.....	41
4.1 Recopilación total en la toma de muestras del Linatronic.....	58
4.2 Porcentajes de defectos presentes en las botellas rechazadas.....	58
4.3 Porcentaje de aparición de los distintos niveles de rayado en las botellas rechazadas.....	59
4.4 Evaluación preliminar de sucio estándar en los trenes 8 y 10.....	60
4.5 Relación de ahorro asociado al ajuste de las vías.....	106
4.6 Costos asociados al impuesto sobre la renta.....	106
4.7 Flujos de cajas netos en cada período antes y después del ajuste en las vías.....	107
4.8 Flujos de caja diferencial.....	108
4.9 Ingresos relacionados al aumento de la eficiencia del tren 10.....	108



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Pág.
1.1 Diagrama de bloques del proceso de envasado de las botellas en Cervecería Polar.....	4
2.1 Diagrama esquemático del proceso de envasado de cerveza en la Cervecería Polar.....	12
2.2 Diagrama del Circulo Sinérgico.....	14
2.3 Forma de inyección de las lavadoras de botellas.....	17
2.4 Diagrama de la lavadora Barry- Wehmler.....	18
2.5 Diagrama de la lavadora Kronos.....	18
2.6 Moléculas surfactantes.....	22
2.7 Mecanismo de remoción de gotas de aceite.....	23
2.8 Partes de la botella.....	29
2.9 Formación de anillos en una botella retornable.....	29
2.10 Nivel de rayado en botellas de vidrio retornables.....	30
2.11 Diagrama en V genérico.....	31
4.1 Diagrama de flujo del proceso de envasado.....	50
4.2 Forma de distribución de cajas en una paleta.....	51
4.3 Distribución de las moléculas de CO <sub>2</sub> y O <sub>2</sub> en las botellas con diferentes volúmenes de llenado.....	55
4.4 Diagrama causa- efecto.....	62
4.5 Diagrama causa- efecto simplificado.....	66
4.6 Variación de la concentración de iones OH <sup>-</sup> y CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> en la lavadora del tren 8.....	68
4.7 Variación de la concentración de iones OH <sup>-</sup> y CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> en el tanque 1 de la lavadora del tren 8...	67
4.8 Variación de la concentración de iones OH <sup>-</sup> y CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> en el tanque 2 de la lavadora del tren 8...	69
4.9 Variación de la concentración de iones OH <sup>-</sup> y CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> en los tanques individuales la lavadora del tren 8 desde 27/06/2006 hasta 27/07/2006.....	70
4.10 Variación de la concentración de iones OH <sup>-</sup> y CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> en la lavadora del tren 10.....	71
4.11 Variación de la concentración de iones OH <sup>-</sup> y CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> en el tanque 1 de la lavadora del tren 10.	69
4.12 Variación de la concentración de iones OH <sup>-</sup> y CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> en los tanques individuales la lavadora del tren 10 desde 15/06/2006 hasta 20/07/2006.....	72
4.13 Variación de la cantidad de sólidos suspendidos y volátiles presentes en la lavadora del tren 8.....	74
4.14 Variación de la cantidad de sólidos suspendidos y volátiles en el tanque 1 de la lavadora del tren 8.....	73
4.15 Variación de la cantidad de sólidos suspendidos y volátiles en el tanque 4 de la lavadora del tren 8.....	75
4.16 Variación de la cantidad de sólidos suspendidos y volátiles en los tanques individuales de la lavadora del tren 8 desde 27/06/2006 hasta 27/07/2006.....	76
4.17 Variación de la cantidad de sólidos suspendidos y volátiles en la lavadora del tren 10.....	77
4.18 Variación de la cantidad de sólidos suspendidos y volátiles en los tanques individuales de la lavadora del tren 10 desde 15/06/2006 hasta 20/07/2006.....	78
<del>4.19 Variación de la demanda química de oxígeno en la lavadora del tren 8.....</del>	<del>79</del>
4.20 Variación de la demanda química de oxígeno en los tanques individuales de la lavadora del tren 8 desde 27/06/2006 hasta 27/07/2006.....	80



Figura	Pág
4.21 Variación de la demanda química de oxígeno en los tanques individuales de la lavadora del tren 8 desde 27/06/2006 hasta 27/04/2006 (Continuación).....	81
4.22 Variación de la demanda química de oxígeno en la lavadora del tren 10.....	84
4.23 Variación de la demanda química de oxígeno en los tanques individuales de la lavadora del tren 10 desde 15/06/2006 hasta 20/07/2006.....	85
4.24 Variación de la cantidad de sílice presente en la lavadora del tren 8.....	86
4.25 Variación de la cantidad de sílice presente en el tanque 1 de la lavadora del tren 8.....	83
4.26 Variación de la cantidad de sílice presente en el tanque 7 de la lavadora del tren 8.....	87
4.27 Variación de la cantidad de sílice presente en los tanques individuales la lavadora del tren 8 desde 27/06/2006 hasta 27/07/2006.....	88
4.28 Variación de la cantidad de sílice presente en el agua filtrada proveniente de PTAB.....	87
4.29 Variación de la cantidad de sílice presente en la lavadora del tren 10.....	89
4.30 Variación de la cantidad de sílice presente en los tanques individuales la lavadora del tren 10 desde 15/06/2006 hasta 20/07/2006.....	90
4.31 Identificación de las botellas nuevas.....	91
4.32 Comparación de las velocidades reales y teóricas de los equipos en el tren 8 antes del ajuste.....	92
4.33 Porcentaje de velocidad respecto a la máquina crítica en las vías y los equipos en el tren 8 antes de los ajustes.....	93
4.34 Condición de las botellas introducidas en el tren 8 después de 10 vueltas antes de los ajustes.....	92
4.35 Porcentaje de pérdida de peso y diámetro en las botellas introducidas en el tren 8 antes del ajuste.....	94
4.36 Comparación de las velocidades reales y teóricas de los equipos del tren 10 antes de los ajustes.....	95
4.37 Porcentaje de velocidad respecto a la máquina crítica en las vías y los equipos en el tren 10 antes de los ajustes.....	96
4.38 Condición de las botellas introducidas en el tren 10 después de 10 vueltas antes de los ajustes.....	95
4.39 Porcentaje de pérdida de peso y diámetro en las botellas introducidas en el tren 10 antes del ajuste.....	97
4.40 Comparación de los valores finales de pérdida en las botellas introducidas en los trenes 8 y 10 antes del ajuste.....	98
4.41 Comparación de las botellas introducidas en los trenes antes del ajuste.....	98
4.42 Comparación de las velocidades reales y teóricas en los equipos del tren 8 después de los ajustes.....	99
4.43 Porcentaje de velocidad respecto a la máquina crítica en las vías y los equipos en el tren 8 después de los ajustes.....	100
4.44 Comparación de las velocidades reales y teóricas de los equipos del tren 10 después de los ajustes.....	101



Figura		Pág.
4.45	Porcentaje de velocidad respecto a la máquina crítica en las vías y los equipos en el tren 10 después de los ajustes.....	102
4.46	Condición de las botellas introducidas en el tren 10 después de 8 vueltas una vez realizados los ajustes.....	101
4.47	Porcentaje de pérdida de peso y diámetro en las botellas introducidas en el tren 10 después del ajuste.....	103
4.48	Comparación de las alturas de rayado de las botellas introducidas en el tren 10.....	104
4.49	Comparación de las pérdidas, para la octava vuelta, de las botellas introducidas en el tren 10 antes y después de los ajustes.....	104
4.50	Comparación de las pérdidas, para la cuadragésima vuelta, de las botellas introducidas en el tren 10 antes y después de los ajustes.....	105



## INTRODUCCIÓN

Al trabajar con botellas retornables se tiene la presencia del rayado en las mismas, lo que resta atracción sobre la apariencia de la botella, haciéndola menos apetecible para el cliente. Es por ello que el presente Trabajo Especial de Grado tuvo como finalidad la evaluación de las etapas del proceso de envasado para determinar la influencia de las mismas sobre el rayado de las botellas retornables de Polar Ice, realizando para ello el diagnóstico del proceso de envasado de las botellas retornables, la evaluación del efecto que tienen las variables que intervienen en las etapas del proceso de envasado sobre el rayado de botellas, la generación de alternativas de mejora, el análisis técnico y la determinación de la factibilidad económica de las alternativas generadas.

Para lograr este fin se realizó un estudio en los trenes de envasado retornables, evaluando el efecto que presentan las velocidades de las vías sobre la formación de rayado en las botellas, así mismo se estudió el efecto de la calidad de la solución limpiadora de las lavadoras sobre la formación de rayado.

La investigación comenzó con el reconocimiento de cada una de las etapas del proceso de envasado. Posteriormente, se definen las variables y los trenes a estudiar, cuidando de no interferir con la producción. Se tomaron las velocidades de las líneas y de los equipos de cada tren, comparando estas velocidades con las teóricas, una vez realizado esto se introducen en los trenes botellas identificadas, manteniendo un seguimiento sobre el peso y el diámetro de las mismas. En paralelo se tomaron muestras de cada uno de los tanques de las lavadoras de los trenes en estudio, realizándose distintos análisis como la presencia de sólidos, sílice, demanda química de oxígeno. Al ajustar las velocidades de los trenes se validaron las mismas, y una vez ejecutado esto se introdujeron botellas identificadas, manteniendo de nuevo el seguimiento sobre el peso y el diámetro de las mismas. Se compararon los resultados y se determinaron los beneficios económicos que representaban.

El Trabajo Especial de Grado presentado, se expone en 4 capítulos. En el primero la problemática existente en la formación de rayado de botellas; en el segundo capítulo se muestran las bases teóricas que sustentan la investigación. En el tercer capítulo se presenta la metodología empleada para alcanzar las metas planteadas; y en el cuarto se establecen las discusiones que explican los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto. Por último, se presentan las conclusiones a las que se llegó en el estudio, así como las recomendaciones aportadas por la presente investigación. Adicionalmente, en los apéndices se presentan los datos experimentales recolectados,



las tablas de resultados experimentales, algunos cálculos realizados durante el desarrollo del proyecto y la metodología detallada de algunos análisis.

La importancia de esta investigación radica en que permitió aumentar la vida útil de las botellas retornables, obteniendo con esto un ahorro por concepto de compra de botellas nuevas, así mismo se presentó una reducción de los niveles de ruido en las líneas, mejorando el ambiente laboral de los operarios, de igual manera se disminuyó el desgaste de las vías, por lo que representa un ahorro en cuanto a reemplazo por concepto de mantenimiento de las mismas.





## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En esta sección se indica el problema en estudio, definiendo el propósito, la situación actual y la situación deseada; de igual manera se darán a conocer los objetivos generales y específicos de la investigación, sus justificaciones, sus limitaciones y sus alcances.

#### 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La Cervecería Polar planta San Joaquín, está ubicada en San Joaquín, estado Carabobo, fue establecida en el año 1978, siendo la última de las cuatro grandes cervecerías en fundarse. La planta se instauró debido al incremento de las ventas en esa zona, y fue la primera cervecería del mundo equipada para realizar los procesos de fermentación y maduración en los mismos tanques cilindro cónicos. Empresas Polar se convierte en la primera organización de Latinoamérica que recibe la certificación integral de calidad Platinum 9000, para sus cuatro plantas cerveceras, por contar con sistemas de gestión de calidad certificados según la norma Covenin ISO 9000 y, al mismo tiempo, poseer la Marca Norven en sus productos.

Polar elabora Maltín y cerveza Pilsen, Solera, Solera Light, Ice, Light; sus presentaciones van desde botellas de vidrio retornables y no retornables, lata de aluminio hasta envases de PET. Su producción abastece el mercado nacional y exporta al caribe, Estados Unidos y ciertos países europeos.

En el proceso de producción de la cerveza se tienen dos grandes etapas, la elaboración de la cerveza y su envasado, por lo que la empresa se divide de esta misma manera. El proceso de envasado, tal como se ve en la figura 1.1, comienza con la recolección de los vacíos del almacén, pasan por la depaletizadora, donde son retiradas de las paletas, luego pasan a la desembaladora, la cual retira las botellas de las cajas, estas últimas son enviadas a las lavadoras de cajas, mientras que las botellas también son enviadas a un proceso de lavado y enjuague con agua previamente tratada, la cual contiene aditivos y NaOH en distintas concentraciones, posteriormente pasan por un sistema automático de inspección de vacío, el cual examina las botellas, y si cumplen con los parámetros establecidos pasan a ser llenadas con el líquido proveniente de elaboración (cerveza o malta) y es tapada. Posteriormente, pasan por un sistema automático de inspección de lleno, el cual comprueba el nivel de líquido

según parámetros establecidos. Luego, las botellas pasan por un proceso de pasteurización, donde al salir son embaladas, paletizadas y despachadas a los clientes. Durante este recorrido las botellas son expuestas a distintos gradientes de temperatura y al constante choque entre ellas como consecuencia de la velocidad que llevan las vías transportadoras.

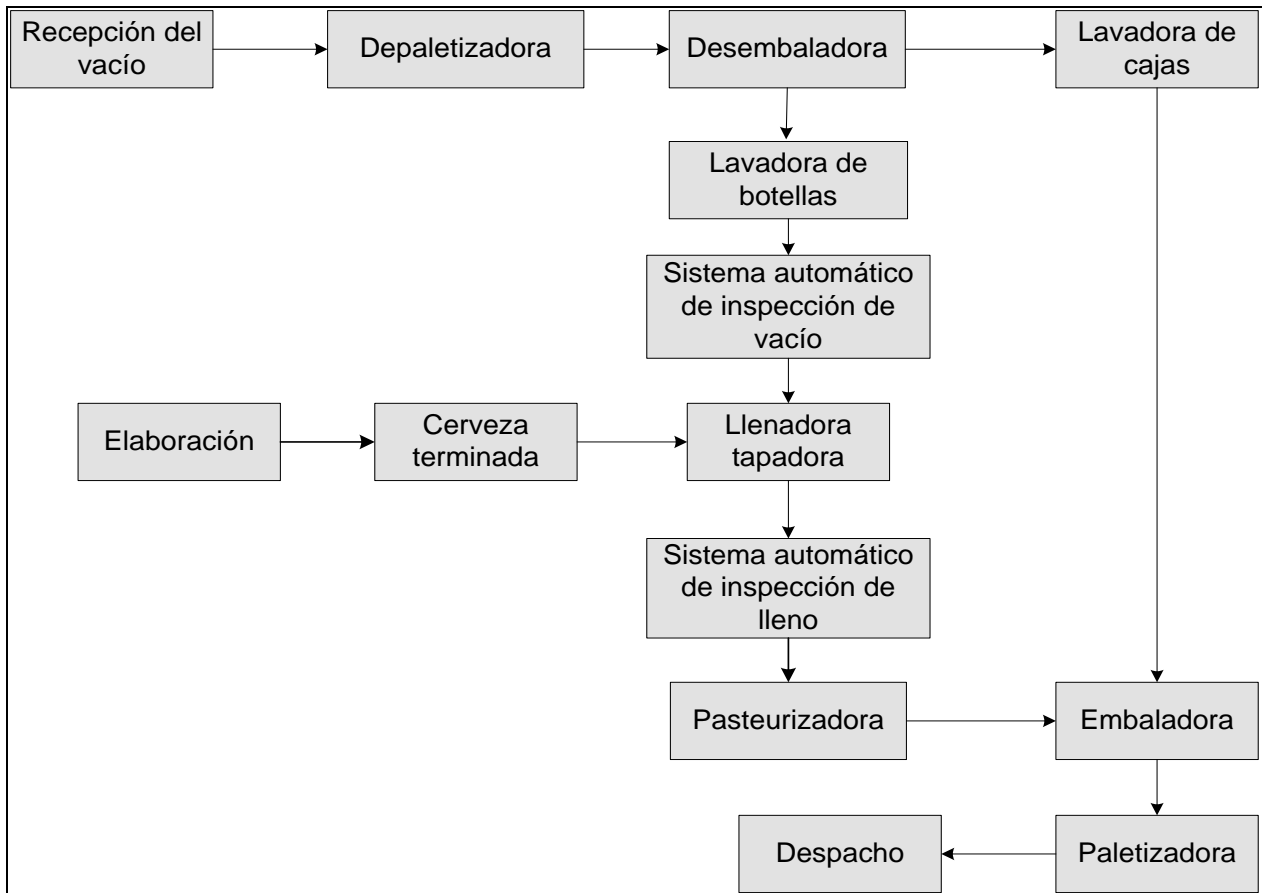


Figura 1.1 Diagrama de bloques del proceso de envasado de las botellas en Cervecería Polar, (Portal Empresas Polar, 2006).

Las botellas retornables sufren a través del tiempo un desgaste producto del constante uso, hasta que llega al punto en que su estado no es apto para su empleo según los estándares de calidad de la empresa, lo que trae como consecuencia que sean desechadas después de pasar por el sistema electrónico de control de calidad y deben ser reemplazadas por botellas nuevas. El índice de botellas desechadas por desgaste es desconocido, debido a la ausencia de estudios que permitan contabilizarlos.

El propósito de este trabajo de investigación consiste en hacer el estudio diagnóstico actual de las botellas retornables de Polar Ice, evaluar el estado en el que son desechadas y su repercusión en los costos de la empresa, así como determinar la



etapa del proceso de envasado que tiene la mayor incidencia sobre el desgaste de las botellas retornables y proponer alternativas de mejora para disminuir las mismas.

## 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Cervecería Polar planta San Joaquín gasta grandes sumas de dinero en la sustitución de botellas retornables de Polar Ice ya desgastadas por el uso constante, esto debido a que los estándares de calidad de la empresa no permiten ofrecerle al público un producto en una presentación que no sea agradable a la vista y en buen estado.

Se plantea hacer el estudio de la incidencia de cada etapa del proceso sobre el desgaste en las botellas, para sugerir de esta forma mejoras en dicho proceso para disminuir costos y mantener la calidad de la botella por más tiempo, es decir, alargar su período de vida.

### 1.2.1. Situación actual

Las botellas retornables de Polar Ice son usadas constantemente, salen al mercado y regresan a la empresa donde son lavadas con soluciones de NaOH y expuestas a un gradiente de temperatura en el proceso de lavado, lo que se traduce en corrosión, de igual manera a lo largo del proceso las mismas avanzan a una cierta velocidad y existe contacto entre ellas produciéndose un desgaste en las vías de transporte por abrasión. Cada botella, cuyo desgaste sea de tal magnitud que al pasar por el sistema de control de calidad sea rechazada, debe ser reemplazada por una nueva, acarreando costos a la empresa, la cual debe comprar nuevas botellas.

Se hizo un diagnóstico para comprobar el estado actual de la situación, ya que el índice de botellas afectadas es desconocido.

### 1.2.2. Situación deseada

Cervecería Polar planta San Joaquín requiere disponer de un estudio que determinará la incidencia de las etapas de envasado sobre el proceso de desgaste de las botellas retornables de Polar Ice, así como determinar las causas específicas que influyen en el desgaste de las mismas.

Con este análisis se pretendía llegar al planteamiento de alternativas para mejorar el proceso y de esta forma disminuir el desgaste de las botellas y aumentar su vida útil, así como disminuir el costo asociado a ésta.



### 1.3. OBJETIVOS

#### 1.3.1. Objetivo general

Evaluar la incidencia de las etapas del proceso de envasado en el desgaste de las botellas retornables de Polar Ice en Cervecería Polar planta San Joaquín, a fin de aumentar la vida útil de las mismas.

#### 1.3.2. Objetivos específicos

- 1.3.2.1. Diagnosticar el proceso de envasado de las botellas retornables, a fin de conocer las condiciones de operación y las variables que lo integran.
- 1.3.2.2. Evaluar el efecto de la velocidad de las vías y la calidad de la solución limpiadora sobre la formación de rayado, en dos trenes diferentes, con la finalidad de comparar el comportamiento de estas variables en ambos trenes.
- 1.3.2.3. Generar alternativas de mejora a fin de alargar la vida útil de las botellas retornables.
- 1.3.2.4. Analizar la factibilidad técnica de las alternativas de mejora generadas, con la finalidad de determinar la más adecuada a aplicar en los trenes de envasado.
- 1.3.2.5. Determinar la factibilidad económica de las alternativas de mejora, para seleccionar la más adecuada para la empresa.

### 1.4. JUSTIFICACIÓN

Este trabajo de grado tiene gran relevancia a nivel económico ya que serviría para reducir costos en la empresa al mejorar la condición de las botellas al aumentar el tiempo de vida útil de las mismas.

Desde el punto de vista ambiental se estaría disminuyendo la cantidad de vidrio nuevo que necesitaría la empresa, lo que disminuiría la cantidad de vidrio que produce la Owens- Illinois.

Lo expuesto en este trabajo llenaría el vacío teórico que existe en este proceso, ya que las investigaciones en este campo son reducidas, por lo que otros estudiantes de la Universidad de Carabobo serán capaces de utilizar como base este tipo de investigación.



La autora tendría un beneficio al ampliar sus conocimientos en el área de procesos, ya que se tendría que trabajar en planta, lo que llevaría a tener que utilizar todos los conocimientos adquiridos en las asignaturas de la carrera de Ingeniería Química de la Universidad de Carabobo.

## 1.5. LIMITACIONES

Entre las limitaciones que presentó la investigación se encuentra la confidencialidad de la información manejada, ya que al trabajar en los trenes de producción es posible que información de los equipos o de los procesos no pudieran ser revelados.

La disponibilidad de los trenes de producción para hacer las pruebas respectivas estuvo limitada, debido a que cualquier cambio que se requería hacer para estudiar su efecto se debía consultar con la Gerencia de Envasado, ya que se estaban manipulando los índices de producción.

El tiempo de trabajo en los trenes era muy crítico, debido a que existían paradas en los equipos, haciendo que el estudio realizado tuviera complicaciones.



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

En el siguiente capítulo presentan los antecedentes que preceden a esta investigación así como los conceptos básicos de los elementos involucrados en el proceso, los cuales son necesarios para la correcta comprensión del desarrollo de la investigación.

#### 2.1. ANTECEDENTES

Los antecedentes son parte importantes de la investigación, ya que permiten apreciar los procedimientos y los resultados obtenidos en investigaciones anteriores, permitiendo la formación de la etapa experimental de la presente investigación.

© Mauricio Libretti, quien para el año 2005 realiza una investigación sobre el **Diseño de una metodología para la evaluación de aditivos utilizados en el proceso de lavado de botellas. Evaluación de dos productos industriales.** El objetivo general de esta investigación consiste en minimizar los efectos y cambios visibles en las botellas de vidrio debido al uso de una solución cáustica en los equipos de lavado, como al roce producido en las líneas, comparando el aditivo usado actualmente con uno nuevo.

Entre las conclusiones a las que se llegaron se encuentran que la pérdida de masa de la botella disminuye al utilizar el aditivo nuevo, de igual forma, la formación del anillo en el hombro y en el fondo de la botella es constante con el tiempo. El nuevo aditivo disminuye la velocidad del rayado.

La similitud se encuentra en la investigación del rayado de botellas, ya que al contar con este antecedente se tiene como punto de partida el hecho que el aditivo actual puede ser mejorado. La diferencia está en que no sólo se estudió el rayado sino también la estabilidad de la espuma en la cerveza y la eficiencia de su lavado, sólo comparan ambos aditivos, no estudian el efecto de otras variables sobre el rayado de botellas.

© Astrid Fra, quien para el año 2005 realiza la **Evaluación de aditivos en el lavado de botellas. Diseño de metodología para la eficiencia del lavado.** El objetivo general consiste en hacer el estudio de 2 aditivos nuevos en la solución cáustica, comparando su actuación con la investigada por Libretti (2005), con la finalidad de



disminuir la pérdida de masa y el rayado en las botellas de vidrio, ocasionado por la solución de lavado y el roce en las líneas de transporte.

Entre las conclusiones más resaltantes se encuentran que los dos aditivos nuevos estudiados mejoran la eficiencia del lavado pero aumentan la pérdida de peso de la botella. De igual forma, la concentración de la soda cáustica en el lavado es significativa, ya que al disminuirla en 0,5%, la eficiencia disminuye en 20%.

La similitud radica en que se estudia el efecto del aditivo sobre el rayado, la diferencia radica en que no estudian la interacción de variables, es decir, sólo comparan los aditivos trabajados bajo los mismos parámetros.

Ⓒ Agius, G; Tobia, A. realizan en 2005 una investigación sobre el **Mejoramiento de la actuación del la solución lavadora de botellas**. El objetivo principal consiste en estudiar la causa de las capas sólidas que están suspendidas en el agua y sedimentan sobre la botella, las cuales son insolubles en ácido, aparecen después de largas paradas en las líneas, y las mismas están constituidas por Ca, Mg, Al, Si, Ti.

La conclusión a la que se llegó es que esos sólidos suspendidos provienen de las etiquetas usadas en las botellas, los cuales sedimentan en la superficie de las mismas.

La similitud radica en que toman en cuenta la presencia de las partículas desprendidas por las etiquetas en la solución limpiadora, las cuales podrían afectar el rayado, ya que al disolverse los materiales que lo conforman sedimentan sobre las botellas y al entrar en contacto entre sí puede aumentar la abrasión de las mismas. La diferencia es que no hacen el estudio en cuanto al aspecto físico del proceso.

Ⓒ De Sousa, Lenine realiza en el 2002 un trabajo de grado titulado **Mejoramiento del proceso de lavado de botellas de Cervecería Polar del Centro, C.A.** El objetivo principal de esta investigación fue mejorar el proceso de la máquina lavadora de botellas del tren 8 en el área de envasado de la Cervecería Polar del Centro, C.A., con la finalidad de aumentar la eficiencia y la calidad del lavado.

Entre sus conclusiones más resaltantes se encuentran que cualquier pérdida de peso de la botella debida a su manipulación a través del proceso de lavado, debe ser tomada en cuenta para la determinación de la eficiencia del lavado; la instalación de los equipos Power Jet en el sistema de inyección de solución limpiadora, aumenta la presión de inyección a más del doble. De igual manera se concluyó que la eficiencia del lavado aumenta linealmente respecto al aumento en la concentración de NaOH.

Las similitudes encontradas se basan en el estudio detallado de la lavadora de botellas, siendo de suma importancia para este trabajo, ya que se tendría mucha



información sobre las concentraciones de NaOH y de los distintos aditivos que se utilizan como soluciones limpiadoras. La diferencia radica en que el estudio se hizo para mejorar la eficiencia y la calidad del lavado sin profundizar en el efecto de ésta sobre el desgaste de las botellas.

© Cameron, R; Paulson, A; Speers, R. investigaron en 2002 los **Efectos de los iones metálicos y gluconato en los residuos superficiales en las botellas retornables**. El objetivo principal de la investigación fue estudiar los efectos que tenían sobre los residuos depositados en las botellas retornables el tipo de agua y la concentración de secuestrante.

Se concluyó que el tipo de agua es de gran influencia en el grosor de la película formada en la botella, el efecto del gluconato en la aparición de la película depende de la concentración, de la cantidad de iones metálicos y del tipo de agua.

La similitud de la investigación radica en que estudiaron los efectos del tipo de agua y la cantidad de secuestrante utilizado para disminuir la precipitación de partículas en la superficie de las botellas, siendo este efecto una posible causa del rayado en las botellas. La diferencia está en que no van más allá en cuanto a los efectos que pudieran tener estas precipitaciones sobre la botella a lo largo del proceso.

© Graham, M.; Shewmake, B. estudiaron en 2000 la **Reducción del desgaste químico en el vidrio durante el lavado**. El objetivo principal de esta investigación es estudiar el efecto que tiene sobre el rayado de botellas la adición de un aditivo que reduce el desgaste químico de las mismas. Lograron poner en marcha a nivel de planta esta investigación, trabajando sólo con soda para una solución y con el aditivo en otra.

Llegaron a la conclusión que el rayado se reduce en un 50% utilizando el aditivo.

La similitud está en la metodología empleada, la diferencia radica en que analizaron de manera profunda los aditivos, al usar diferentes tipos.

© Rouillard, Carol en 1999 realizó una investigación sobre la **Reducción del la corrosión en el vidrio durante el lavado**. El objetivo principal de esta investigación consiste en estudiar el efecto que tiene sobre el rayado de las botellas la reducción del desgaste provocado por ataque químico, al estudiar los aditivos de la solución limpiadora de botellas de la lavadora. Al experimentar con una solución con sólo soda cáustica, una con el aditivo actual utilizado y una con el nuevo aditivo llegaron a la conclusión que el rayado se reduce en un 50% al utilizar el nuevo aditivo.

La similitud está en la metodología empleada, la diferencia radica en que analizaron de manera profunda con los aditivos, al usar diferentes tipos.





© Duffy, G.; Langford, D. estudiaron en 1998 **La mejora de la apariencia de las botellas**. Esta investigación cubre el trabajo realizado para establecer puntos de referencia para el rendimiento de las botellas de vidrio retornables, en lo que respecta al rayado y el impacto en la vida útil de los mismos. Se incluye el desarrollo de un material cosméticamente apropiado para cubrir los envases y la tecnología de aplicación, así como estrategias para corregir y reducir las causas del rayado en las botellas.

La similitud radica en los diferentes puntos que estudiaron, comenzando con un historial de la cantidad de botellas retornables que presentan rayado y el patrón de las mismas, luego el estudio de la eliminación del rayado y su prevención, tanto de forma química como física. La diferencia está en que estudiaron la aplicación de camuflaje de rayado en las botellas

## 2.2 BASES TEÓRICAS

A fin de profundizar en los conocimientos necesarios para la comprensión de la presente investigación, se debe contar con un grupo de bases teóricas, las cuales a su vez permiten respaldar los aspectos presentados en la discusión de resultados.

### 2.2.1 Proceso general de envasado de cerveza

A grosso modo el proceso de envasado comprende las siguientes etapas: lavado, inspección, llenado, pasteurización, embalaje y paletizado. A continuación se describe cada una de éstas siguiendo el orden en que se suceden en el proceso (ver figura 2.1).

**a. Depaletizado.** Al regresar a la planta las gaveras (vacíos) que contienen las botellas retornables sucias son descargadas de los camiones en paletas de madera en grupos rectangulares de aproximadamente 36 vacíos. Los grupos son separados y montados en las cintas transportadoras de forma individual para ser llevados del centro de recepción a la zona de envasado.

**b. Desembalaje.** Las botellas provenientes en vacíos individuales son retiradas de los mismos mediante un sistema de succión neumático y son acomodadas sobre la línea de entrada a la lavadora de botellas. En esta entrada se encuentra igualmente una línea de alimentación para botellas nuevas provenientes del patio de almacenamiento.

**c. Lavado.** Las botellas sucias pasan por un equipo de lavado constituido por una serie tanques, inyectores y rociadores de agua suave y soda cáustica a diferentes temperaturas y concentraciones. Estos aseguran que a la salida del equipo las botellas tengan una calidad microbiológica apta para ser llenada a temperatura ambiente. Esta etapa será descrita con detalle más adelante.

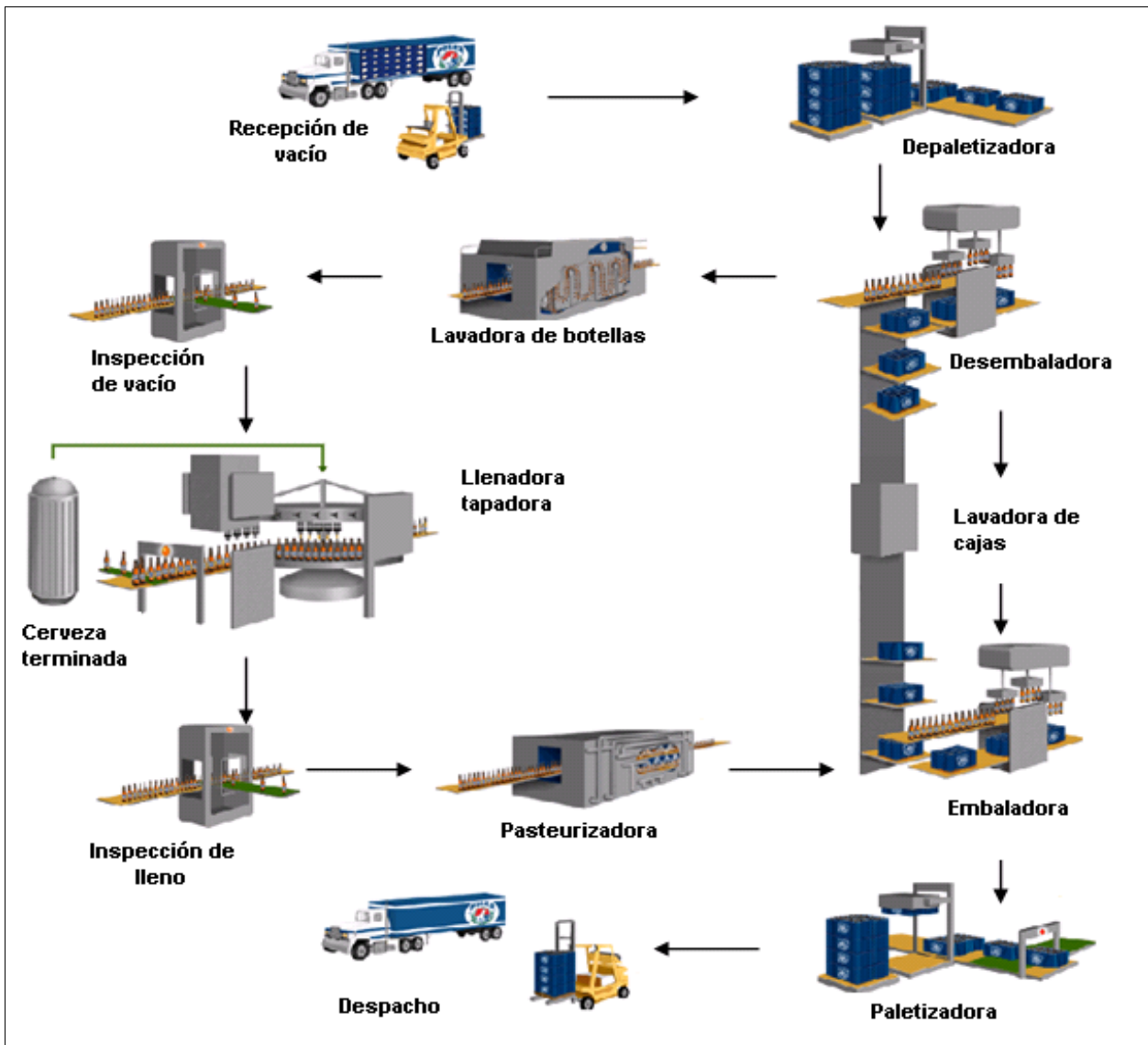


Figura 2.1. Diagrama esquemático del proceso de envasado de cerveza en la Cervecería Polar, (Caballero, 2001).

- d. Inspección de vacío.** Las botellas luego de salir de la lavadora pasan por una serie de equipos de inspección. El primero de éstos es un detector que descarta cualquier botella que no tenga las características de tamaño, color y logotipo de la botella o producto que se esté llenando en ese momento. Posteriormente se realiza una segunda inspección de detalle la cual descarta botellas que muestren una serie de defectos ya estandarizados como líquido remanente, sucios no removidos, rupturas, etc.
- e. Llenado.** Las botellas aptas que pasan el proceso de inspección llegan al equipo en donde son llenadas con el producto deseado. Esta máquina giratoria envasa de acuerdo con el nivel o volumen de cada presentación del producto, previa minimización del contenido de oxígeno en los envases, y bajo compresión de gas carbónico a una



velocidad de máxima de 2.000 botellas por minuto. A la salida de este equipo las botellas son automáticamente tapadas en forma hermética.

**f. Inspección de lleno.** En esta etapa se realiza una inspección del volumen de producto dentro de la botella. Si el mismo no se encuentra dentro del rango deseado ya preestablecido, la botella es descartada de la línea antes de entrar al pasteurizador.

**g. Pasteurizado.** Las botellas llenas son sometidas a un proceso de pasteurización a alta temperatura para garantizar que a la salida del mismo se obtenga un producto microbiológicamente impecable y a temperatura ambiente para ser embalado.

**h. Embalaje.** Las botellas listas para el almacenamiento son acomodadas de forma tal que se ajusten en número y tamaño de los vacíos a utilizar. Las mismas son levantadas por un sistema de succión neumática y colocadas dentro de los contenedores plásticos.

**i. Paletizadora.** Las gaveras con botellas llenas son tomadas de las cintas transportadoras y agrupadas en grupos mayores para su almacenaje en el centro de recepción mientras esperan su traslado a los camiones para su distribución, (Caballero, 2001).

El proceso total de envasado puede tomar de 2 a 3 horas dependiendo de la velocidad de producción así como de las paradas que se ocasionen en las líneas. Paralelamente a este proceso se realiza la limpieza de las gaveras plásticas. Las líneas de envasado son procesos automatizados (PLC) y poseen un centro de control que determina el movimiento o parada de las líneas y equipos, dependiendo de la cantidad de botellas que se tenga a la entrada de cada uno. Igualmente se tiene en todo momento un personal calificado de supervisión sobre las líneas que garantiza el buen funcionamiento de las mismas y corrección de cualquier problema que se pueda presentar.

### 2.2.2 Principios básicos del lavado de botellas

Las botellas retornables regresan a la planta sucias y en algunos casos aún etiquetadas. Para que puedan ser reutilizadas, deben ser limpiadas y las etiquetas removidas; es por esto que el uso de una lavadora de botellas es imprescindible en el proceso de envasado de botellas retornables.

Una lavadora de botellas tiene como objetivo principal remover el sucio visible del interior y exterior de la botella y garantizar que la carga microbiana esté por debajo del límite establecido como aceptable (10 unidades formadoras de colonias (ufc) de mesófilos totales, levaduras y/o mohos por envase). Es preciso que sea capaz de remover el sucio, polvo, insectos, lodo, olores, residuos de producto, y reducir la carga de levadura, hongos, bacterias y todo aquello que afecte la calidad microbiológica y el aspecto físico de las botellas retornables. A su vez, las botellas deben salir de la

lavadora con una apariencia brillante y sin ningún rastro que indique el contacto con la solución de lavado, (Fra, 2005).

Una serie de factores determinan el grado de limpieza que se puede alcanzar en el proceso de lavado de botellas. Aquellos más influyentes se enumeran a continuación:

- El diseño de la lavadora de botellas.
- La condición de las botellas retornables.
- La composición de la solución de lavado.
- La temperatura de la solución.
- El tiempo de contacto o inmersión.
- El efecto mecánico del lavado.
- La calidad de la solución de lavado.

Cuatro de estos efectos pueden ser manipulados para optimizar el grado de limpieza de las botellas. El diagrama del *Círculo Sinérgico* (ver figura 2.2) los representa gráficamente.

A continuación se describe la forma en que cada uno influye sobre la eficiencia de lavado de botellas retornables:

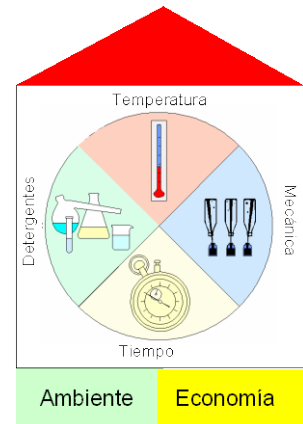


Figura 2.2 Diagrama del Círculo Sinérgico, (Browne, 2001).

### 2.2.2.1 Diseño de la lavadora de botellas

A pesar de que las máquinas lavadoras de botellas son fabricadas en muchos países del mundo, el diseño y operación de los distintos equipos incluyen operaciones básicas de pre-enjuague, lavado principal y enjuague final. Las diferencias que se pueden presentar están más relacionadas con el grado de énfasis en alguno de estos principios más que con una desviación de ellos, (Browne, 2001).

#### Equipos de la lavadora de botellas

Los principales equipos que conforman a una lavadora de botellas se mencionan a continuación.

↻ *Mesa de carga:* Mediante la cual las botellas entran en la lavadora y son cargadas en el transporte interno.

↻ *Cestas o bolsillos:* Para su movimiento dentro del equipo, las botellas son insertadas en cestas de polipropileno. Su función es la de cargar las botellas desde la entrada a la salida, centrarlas sobre los inyectores en la zona de enjuague y permitir la remoción de las etiquetas. Dependiendo del tipo de lavadora puede contener desde 48 hasta 74 bolsillos.

↻ *Cintas de transporte:* Se encarga de llevar las botellas en el interior de la máquina durante todo el proceso de lavado. Las correas transportadoras están



constituidas por una hilera de 40 a 68 cestas unidas entre sí, que se mueven de forma zigzagueante dentro del equipo y permiten la inmersión de las botellas en los tanques de lavado.

∞ *Tanques:* Compartimentos que contienen agua suave y/o soda cáustica a diferentes temperaturas y concentraciones. El equipo utilizado está constituido por un total de 10 tanques de los cuales 4 son de agua suave y 6 de solución cáustica.

∞ *Sistema de inyección y rociado:* Se usan alternadamente a los tanques de soda cáustica y agua como parte del proceso de lavado. La solución empleada es una recirculación de los tanques adyacentes excluyendo los últimos dos a la salida de la lavadora, los cuales usan agua suave para garantizar el nivel final de limpieza y eliminar trazas de compuestos indeseados.

∞ *Mesa de descarga:* El cual, a la salida de la lavadora separa las botellas del transportador interno y las coloca en la vía que las lleva a los inspectores electrónicos.

Los inyectores son desplazados de manera sincronizada hasta llegar muy cerca de la boca de la botella, para luego rociar la solución y poder desprender el sucio remanente del interior de la misma, (De Sousa, 2002).

#### **Operación de la lavadora de botellas:**

El proceso de lavado puede ser descrito por la siguiente serie de fases:

1. *Carga:* un transportador de cadenas, conduce las botellas provenientes de la desembaladora hasta la mesa de carga, la cual se encarga de apilar las botellas en filas sobre unas guías inclinadas. Unos golpeadores individuales darán paso a una fila de botellas por vez, en los 48 ó 74 canales de acceso para llenar un peine o línea completa. Gracias a los golpeadores, las botellas encajarán en los bolsillos o cestas, los cuales las sostendrán en su desplazamiento por el mecanismo.

2. *Pre-enjuague:* Esta es la primera operación que se realiza dentro de la lavadora. Las botellas pasan a través de una ducha de agua caliente que las enjuaga por dentro y por fuera. Esta agua suele no tener detergente, o tenerlo en muy bajas concentraciones. El objetivo principal de este paso del lavado es eliminar los residuos de líquido, remover el exceso de sucio y atemperar las botellas, para los siguientes pasos de lavado con soluciones cáusticas calientes. Un buen pre-tratamiento también reduce la contaminación de los primeros compartimentos, (Broderick, 1982).

3. *Lavado cáustico:* una vez culminado el proceso de pre-enjuague, las botellas pasan por seis tanques sucesivos de solución limpiadora a diferentes concentraciones de soda. La concentración de la solución va disminuyendo progresivamente, a fin de que la acción detergente sea mayor al comienzo, y disminuya a medida que se va



limpiando la botella. En el desarrollo de este proceso, la temperatura es un factor determinante en la acción ejercida por la soda cáustica, ya que a mayor temperatura, mayor es la acción ejercida por la solución cáustica. La temperatura máxima, a la que se calientan los tanques, suele ser de 75 a 80 °C.

Cuando la botella entra en cada tanque tiene la inclinación apropiada para llenarse completamente de líquido y expulsar todo el aire que contiene. Una vez sumergida, la soda va ejerciendo su acción detergente, disolviendo el sucio y despegándolo de la botella. Al salir del tanque, la botella se inclina y se vacía toda la solución antes de que entre al siguiente tanque, logrando con esto que la botella se vaya limpiando cada vez más y no se transfiera la solución de soda de un tanque a otro, (Fra, 2005).

4. *Lavado por inyección de solución limpiadora:* sobre el cuarto y sexto tanque las botellas pasan por inyectores especiales, que las rocían con solución limpiadora caliente a presión, eliminando los residuos que aún permanezcan en su interior. La acción mecánica de los inyectores es especialmente eficaz para remover el sucio más resistente, que no se despegaba con el remojo. Dicha acción se realiza a través de chorros intermitentes, generados por un sistema de inyección denominado Power Jet. Los inyectores se encuentran ubicados en carros de soda de 6 hileras, de tubos de inyección, que tienen un movimiento sincronizado con el sistema de transporte de las botellas. La solución para la inyección, proviene de la recirculación de los mismos tanques y debe pasar previamente por un filtro para evitar la excesiva obstrucción de los inyectores.

5. *Enjuague en agua:* al estar ya limpiadas las botellas, éstas se deben enjuagar y enfriar muy cuidadosamente, para eliminar todo residuo de detergente del interior y exterior de los envases. Después del sexto tanque de soda caliente las botellas pasan por dos tanques de agua que las enfrían y enjuagan. Se debe realizar un enfriamiento progresivo para evitar el choque térmico de éstas.

6. *Enjuague por inyección de agua:* luego de la inmersión en agua, las botellas pasan sobre otros inyectores, que las rocían por dentro y por fuera con agua cada vez más pura y fresca. Los carros de inyección de enjuague, se encuentran ubicados por lo general en los tanques 9 y 10, un carro de 6 hileras de tubos de inyección, en cada uno de los tanques. Las lavadoras hacen el enjuague inicial con agua recirculada de los propios tanques, mientras que el enjuague final se realiza con agua suave, tomada directamente de la línea de suministro. Estos enjuagues tienen la finalidad de eliminar todo residuo de solución detergente y enfriar las botellas, para estar aptas para el proceso de llenado, (Broderick, 1982).

7. *Descarga*: después de pasar por el enjuague final, las botellas se acercan a la mesa de descarga y son desprendidas de las cestas por un mecanismo golpeador, para luego caer por gravedad sobre unas levas de descarga que las bajan y empujan sobre las cadenas de salida.

### Tipos de lavadoras de botellas

En Cervecería Polar planta San Joaquín se utilizan 2 tipos de lavadoras: Las Barry- Wehmiller, las cuales son las más viejas, y las Krones, las cuales son más nuevas. Cada una de ellas se maneja de manera distinta.

El rociado interno en cada lavadora es diferente (ver figura 2.3). En el caso de la Barry-Wehmiller la inyección es de forma intermitente, el flujo de solución limpiadora choca con el fondo de la botella y se distribuye. Mientras que la inyección de las Krones se lleva a cabo de forma tal que el flujo de solución ingresa a la botella con inclinación y la sigue en su recorrido. La diferencia entre ambas lavadoras no sólo radica en la forma en que llevan a cabo su rociado interno, sino también en la cantidad de tanques que tienen. Las lavadoras Barry-Wehmiller (ver figura 2.24) presentan 10 tanques y sólo 2 rociados internos con soda, mientras que las Krones (ver figura 2.25) presentan 8 tanques con 5 rociados internos de soda.

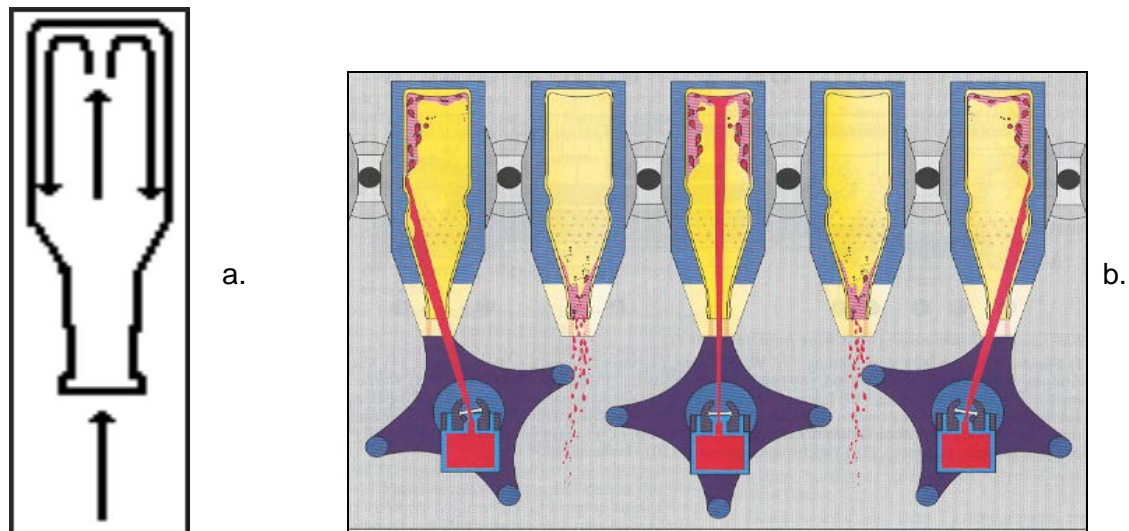


Figura 2.3. Forma de inyección de las lavadoras de botellas. a. Barry- Wehmiller b. Krones, (Broderick, 1982).

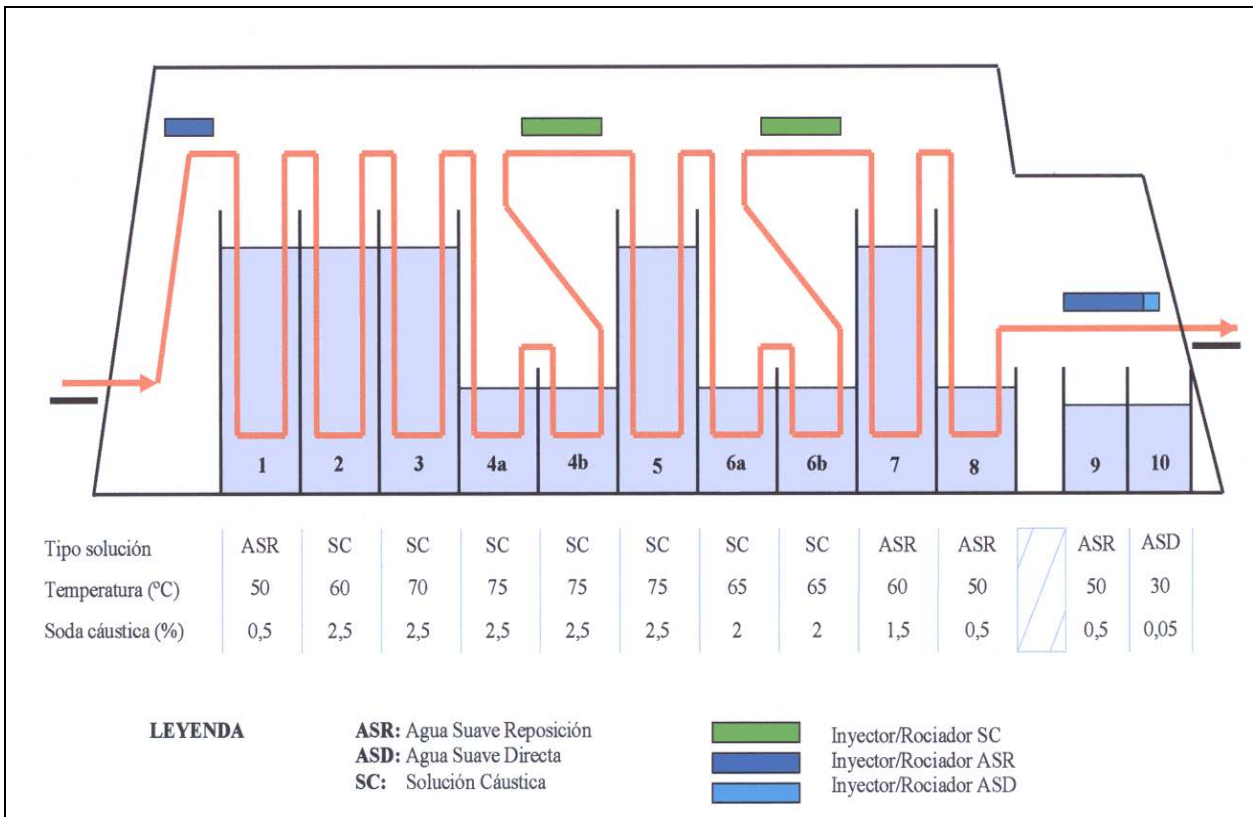


Figura 2.4. Diagrama de la lavadora Barry- Wehmiller, (Libretti, 2005).

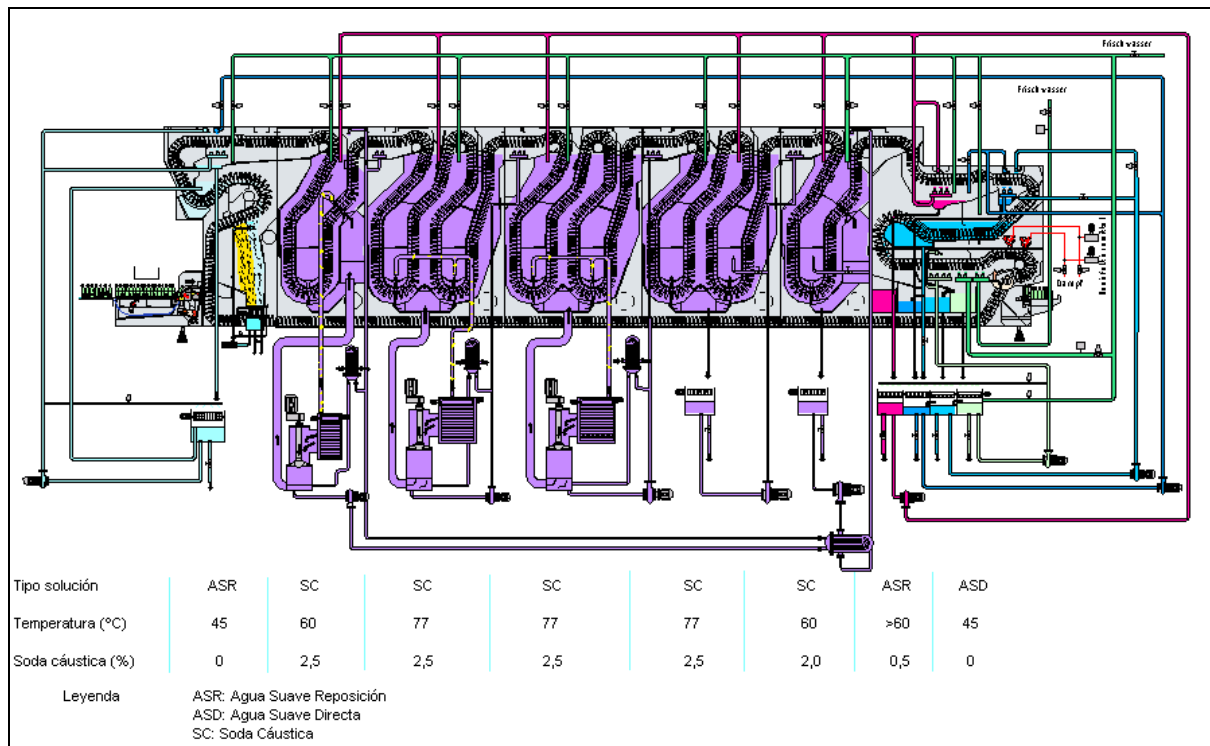


Figura 2.5. Diagrama de la lavadora Krones, (Libretti, 2005).





### 2.2.2.2 Condición de las botellas retornables

Tomando en cuenta el tiempo que tardan en regresar las botellas retornables a la planta y el tipo de sucio que éstas presentan, se pueden clasificar en cuatro categorías, (Broderick, 1982).

**a. Botellas de actividad normal.** Son todas aquellas botellas que regresan a la planta con sucio y restos de cerveza en un lapso no mayor de dos meses. Representan la mayoría de las botellas sucias que son retornadas.

**b. Botellas de almacén.** Son las botellas que han permanecido en sótanos, almacenes, maleteros etc., por largos períodos de tiempo. Estas botellas son más difíciles de lavar que las de actividad normal.

**c. Botellas de calle.** Están caracterizadas por una fuerte acumulación de sucio a lo largo de la pared interior de la botella, como resultado de haberla dejado reposando por largo período de tiempo sobre un costado en espacios abiertos. El sucio puede estar conformado por barro, arena, mohos, algas o una combinación de ellos. Estas botellas son muy difíciles de lavar, por lo que se debe prestar una especial atención en ellas.

**d. Botellas no lavables.** Son las botellas que contienen sustancias como pintura, alquitrán, cemento, etc., adheridas a la superficie del vidrio. Estos sucios son insolubles a las soluciones normales de lavado por lo que no pueden ser limpiadas. Estas botellas deben ser descartadas antes de alimentarlas a la lavadora.

### 2.2.2.3 Composición de la solución de lavado

Las soluciones para el lavado de botellas están compuestas principalmente por soda cáustica (NaOH) y aditivos, estos componentes son mezclados con agua para obtener distintas concentraciones de las soluciones. El efecto químico de la solución de lavado, está en su habilidad para dispersar el sucio que se encuentra adherido a la botella y evitar la redeposición del mismo. Un buen mojado y propiedades de enjuague de la solución de lavado son esenciales para obtener el efecto de limpieza deseado. El poder de limpieza varía con la concentración de la solución y la temperatura de operación. Un aproximado indica que se puede obtener el mismo efecto germicida aumentando la temperatura 5,5 °C o incrementando la concentración de la solución en un 50%, (De Sousa, 2002).

La selección de altas concentraciones cáusticas, asegurará el efecto germicida deseado, pero además podría presentar las siguientes desventajas:

- Puede atacar el vidrio y el pirograbado de las botellas.
- Puede requerir la instalación de unidades neutralizantes, para cumplir las especificaciones de alcalinidad de los efluentes.



➤ Concentraciones mayores del 5 %p/p pueden conducir a malgastar la soda, por efecto del arrastre de un tanque a otro, (De Sousa, 2002).

### ▣ **Propiedades de la solución de lavado**

Los requisitos básicos con los que debe contar una solución de lavado deben ser el de disminuir la adhesión del sucio a la superficie de las botellas y mantener en suspensión todo el sucio y material extraño para facilitar el enjuague. Para cumplir con estos requisitos la solución detergente debe tener las siguientes propiedades, (Kunze, 2004):

- ◆ Alta solubilidad en agua.
- ◆ Capacidad de remoción de sucios de gran variedad.
- ◆ Germicida.
- ◆ Efectividad a bajas temperaturas.
- ◆ Alto poder de mojabilidad.
- ◆ Capacidad dispersante del sucio, evitando su redeposición.
- ◆ Debe evitar la formación de espuma.
- ◆ Fácil de enjuagar.
- ◆ No debe reaccionar con las sales presentes en el agua.
- ◆ No corrosiva.
- ◆ Fácil de usar.
- ◆ Económica.
- ◆ Poco contaminante de aguas residuales.

### ▣ **Componentes de la solución de lavado**

Desafortunadamente, no existe ningún compuesto que contenga todas las características mencionadas anteriormente. Por lo tanto, es necesario combinar varios productos químicos para obtener una solución de lavado que cumpla con dichos requerimientos. En general, la solución de lavado está compuesta por: el agente activo constituido por estabilizadores, solventes, detergentes, entre otros; y la sustancia que lo contiene que permite mantener una atmósfera básica o ácida la cual favorece al proceso de remoción del sucio.

El hidróxido de potasio y de sodio son las principales fuentes de alcalinidad usadas en productos de limpieza. Mientras que soluciones de ácido sulfúrico, fosfórico, nítrico o cítrico se utilizan para el lavado en condiciones ácidas, (Browne, 2001).

La mayoría de las soluciones de lavado que se emplean para remover el sucio más común que presentan las botellas en la industria de la cerveza (azúcares, sales minerales, grasas, aceites y proteínas), trabajan bajo una atmósfera básica en donde



están presentes sustancias alcalinas que facilitan la remoción de este tipo de sucio. Los principales componentes que se usan en el lavado de botellas son: soda cáustica, secuestrantes, surfactantes y depresores de espuma.

#### a. Soda cáustica

El hidróxido de sodio, o soda cáustica como es llamado comercialmente, es el componente alcalino más utilizado por sus propiedades germicidas y sus bajos costos de adquisición. Se comercializa en estado líquido a una concentración del 50 % p/p, y genera una reacción exotérmica al diluirlo en agua.

En solución, es un solvente muy poderoso capaz de reaccionar con el sucio y saponificar grasas y aceites. Sin embargo, posee ciertas desventajas y limitaciones:

- ♦ Contribuye con la formación de incrustaciones.
- ♦ Es difícil de enjuagar, y si fuera utilizado solo, el arrastre de la soda sería excesivo.
- ♦ Forma espuma en presencia de altas presiones.
- ♦ Produce abrasión y deterioro de las botellas si es usada en altas concentraciones.
- ♦ Es corrosiva.
- ♦ No tiene propiedades fungicidas.

Estas limitaciones hacen necesaria la utilización de aditivos para obtener una solución efectiva de lavado, (Fra, 2005).

#### b. Secuestrantes

Son utilizados para prevenir la precipitación de sales inorgánicas, evitando así la formación de depósitos. Existen dos mecanismos para lograr esto (Kunze, 2004):

- ♦ *Quelación*: Los agentes quelantes tienen la habilidad de acomplejar y retener iones polivalentes en solución para prevenir reacciones que inducen su precipitación. Los más usados son los aminoácidos y los ácidos hidroxicarboxílicos, los cuales presentan excelente estabilidad en soluciones alcalinas concentradas y a elevadas temperaturas.
- ♦ *Inhibición del umbral de precipitación*: Los inhibidores modifican la estructura cristalina de las sales para prevenir que las soluciones sobresaturadas precipiten. Los fosfatos condensados, fosfonatos y poliacrilatos son los inhibidores más utilizados.

#### c. Surfactantes

Los surfactantes son agentes activadores de la superficie presente entre dos fases inmiscibles, concentrándose en ella y cambiando sus propiedades. Las moléculas surfactantes están constituidas por dos partes: una parte soluble en agua (hidrofílica) la cual está representada por la “cabeza” de la molécula y otra soluble en aceite (hidrofóbica) representada por la “cola” (ver figura 2.6), lo que le permite orientarse

alrededor de la interfase de manera tal que la parte hidrofílica se concentra en la fase más polar y la parte hidrofóbica en la fase menos polar.

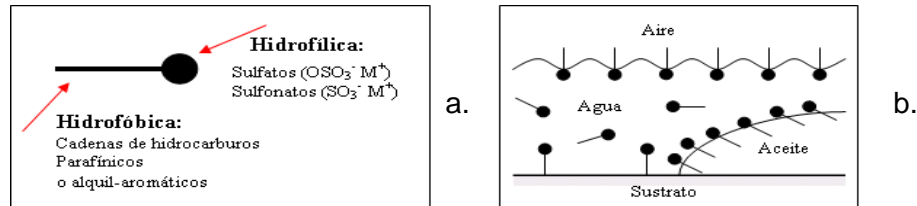


Figura 2.6. Moléculas surfactantes: a. Partes de una molécula b. Orientación de las moléculas en solución, (Salager, 2002).

Los surfactantes aportan a la solución de lavado aquellas propiedades que la soda cáustica por sí sola no es posible de proporcionar. Entre estas propiedades se encuentran: ayudar al mojado de las superficies, facilitar la remoción del sucio, emulsionar y solubilizar materiales, influir sobre la estabilidad de la espuma, adsorción sobre las superficies para modificar sus propiedades, y actuar como germicidas. Sin embargo, ningún surfactante es capaz de cumplir con todas ellas, por lo que es necesario conocer los requerimientos del proceso de lavado para poder seleccionar el aditivo adecuado.

Todos los procesos de detergencia están involucrados con la mojabilidad de la solución de lavado hasta cierto grado, pero el mecanismo de remoción varía dependiendo del tipo de sucio como se indica a continuación:

- ♦ *Gotas de aceite y grasa*

El aceite y la grasa no pueden ser removidos utilizando agua como único solvente en la solución de lavado debido a que son insolubles en ella. Es necesario entonces añadir surfactantes al agua para reducir la tensión interfacial y permitir que el agua moje la superficie del sucio.

Cuando un sucio líquido está en contacto con la superficie de un sustrato sólido, existen fuerzas tensionales que favorecen su adherencia

Si un surfactante apropiado es disuelto en el agua, las tensiones interfaciales entre agua (fluido 1) - sustrato (sólido 3) y entre aceite (fluido 2) – agua (fluido 1) disminuyen considerablemente debido a la adsorción de moléculas de surfactante en estas interfases. Permaneciendo la tensión interfacial entre el aceite y el sustrato constante, el sistema alcanza un nuevo estado de equilibrio caracterizado por un mayor ángulo de contacto entre ellos (ver figura 2.7). Un pequeño efecto mecánico causa la remoción de la gota de aceite, y sólo una pequeña cantidad queda sobre la superficie.

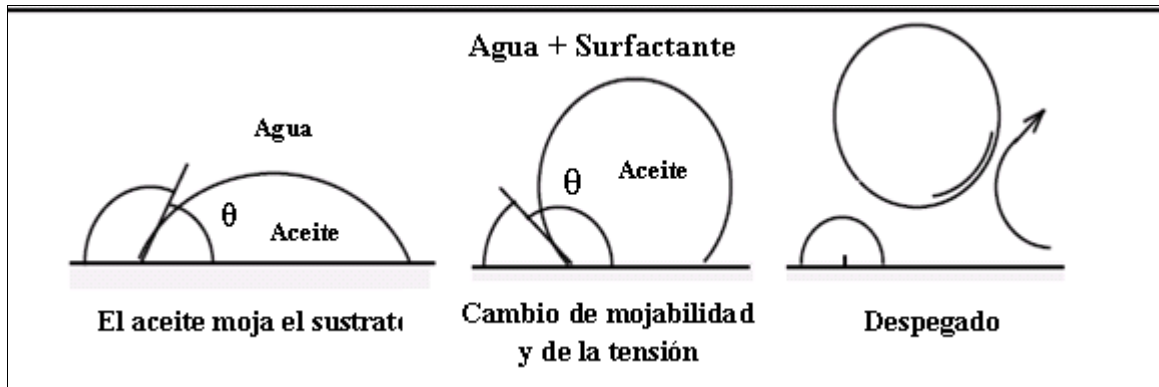


Figura 2.7. Mecanismo de remoción de gotas de aceite (Salager, 2002)

- ♦ *Partículas de sólido*

La mejor manera de limpiar las partículas de sucio compuestas por arcilla, alúmina, hierro, etc., es utilizando un surfactante capaz de adsorberse eficientemente en la interfase agua- partícula sólida para reducir la tensión interfacial, disminuyendo las fuerzas de adhesión que mantienen unidas a las partículas. Esto puede ser logrado con un surfactante aniónico el cual hace que la superficie de las partículas se haga más negativa y la repulsión electrostática ocurra entre partículas adyacentes (Salager, 2002)

- ♦ *Sucios blanqueables u oxidables*

Este tipo de sucio puede ser oxidado por hipoclorito, peróxido de hidrógeno, o perácidos, que favorecen a la decoloración de sustancias. Las sustancias oxidadas puede que no sean removidas, sin embargo, no serán visibles al finalizar el proceso de lavado.

- ♦ *Proteínas*

Las proteínas son polímeros con muy poca o ninguna solubilidad en agua lo cual dificulta su remoción al emplear técnicas clásicas de lavado. Por esta razón se hace necesario el uso de enzimas como la proteasa capaces de hidrolizar a las proteínas.

Cuando el sucio es removido de la superficie es importante no permitir su redeposición sobre la superficie limpiada. Los surfactantes ayudan a prevenir esto, adsorbiéndose "por la cola" tanto en la superficie del sustrato como en la de la partícula de sucio tendiendo a hidrofilarlas. Si el surfactante esta cargado (iónico) o si posee una interacción estérica grande (no-iónico polietoxilado), entonces las fuerzas repulsivas son suficientes para impedir que las dos caras se acerquen a distancia en la cual prevalecerían las fuerzas de atracción. Esta acción dispersante y anti-redeposición se utiliza en el proceso de "enjuague" cuando se arrastran las partículas suspendidas por una corriente de agua. (Salager, 2002)



#### **d. Germicida**

Casi todos los surfactantes catiónicos son bactericidas o germicidas de amplio espectro porque se adsorben sobre la bacteria (pared celular negativamente cargada) e interfieren irreversiblemente sobre su crecimiento y reproducción, además algunos presentan poder fungicida. Los surfactantes aniónicos pueden inhabilitar el crecimiento de la bacteria, pero por ser reversible la inhibición no son considerados como germicidas (Salager, 2002).

#### **e. Depresores de espuma**

La espuma se puede definir como una gran dispersión de gas en un pequeño volumen de líquido, producto de la reacción de la soda cáustica con los sucios adheridos para formar jabones. Una excesiva producción de ésta durante el proceso de lavado reduce la efectividad del mismo, por lo cual se desea que la solución a utilizar como detergente evite en lo posible su formación. Actualmente se utilizan surfactantes con propiedades anti – espumógenas como parte de la solución de lavado.

#### **2.2.2.4 Temperatura de la solución**

Las altas temperaturas en la solución de lavado son necesarias para acelerar el proceso de limpieza y disminuir la carga microbiana en las botellas, por lo cual, un adecuado ajuste de dichas temperaturas es de gran importancia. Cambios bruscos de esta propiedad pueden causar un choque térmico en las botellas y producir rupturas. El diferencial de temperaturas entre un compartimiento y otro no debe exceder de 56 °C en los procesos de calentamiento y 23 °C en los de enfriamiento; incluso en estos límites pueden ocurrir algunas rupturas. A pesar de que las altas temperaturas son necesarias, también pueden causar el secado rápido de las botellas, en la zona de vapor, causando una superficie manchada por alcalinidad debido a la ausencia de un agente humectante.

#### **2.2.2.5 Tiempo de contacto o inmersión**

A mayor tiempo de contacto el efecto de limpieza se verá favorecido; sin embargo, el contacto prolongado de la soda cáustica con el vidrio debe ser evitado por sus propiedades corrosivas, lo que origina una apariencia opaca en las botellas. El tiempo que tardan las botellas desde que son cargadas a la lavadora hasta su salida es llamado: *Tiempo Total* de lavado. Una vez en la lavadora, las botellas son sometidas a un conjunto de etapas de lavado que se pueden resumir en: pre-enjuague, inmersión en tanques de soda a diferentes concentraciones y temperaturas, inyección a presión de la



solución de lavado hacia el interior de las botellas y por último la etapa de enjuague para eliminar los restos de soda.

El *tiempo de inmersión* se refiere al tiempo en el cual la botella está sumergida en la solución de lavado, y no incluye el tiempo usado para el enjuague o de transferencia de un tanque a otro. Por otra parte, el *tiempo de contacto* se define como el lapso en el cual la botella se somete a la acción de la solución de soda cáustica. Esto comprende la suma del tiempo de inmersión más el tiempo que dura el envase en ser transferido de tanque a tanque. Dependiendo del equipo, el tiempo de transferencia entre tanques puede ser muy pequeño en comparación con el tiempo de inmersión, lo que hace que el tiempo de contacto tienda a este último. El estándar canadiense utiliza 20 minutos como tiempo mínimo de inmersión, (Broderick, 1982).

Dos tipos de mecanismos de limpieza permiten remover el sucio de la superficie de las botellas cuando éstas viajan a través de los diversos compartimientos de inmersión. El primero de los mecanismos es dependiente del tiempo ya que se refiere al tiempo en que las botellas se encuentran sumergidas en la solución cáustica. El segundo, independiente del tiempo, se refiere al número de veces en que las botellas son llenadas y vaciadas con la solución. Éste fenómeno ha sido denominado como el “Efecto de Dupres”, el cual consiste en el efecto que se produce cuando interacciona un interfase aire-líquido sobre una superficie sucia. Por ejemplo, en un único compartimiento de inmersión, una botella tendría dos interacciones de interfase: una al llenarla y otra al vaciarla. Una lavadora con tres compartimientos tendría seis interfases.

Pruebas realizadas por la empresa Barry-Wehmler Co., diseñadas para simular el proceso de lavado de botellas a nivel de laboratorio, indican que para un tiempo de inmersión en un intervalo de 6 a 9 minutos, una lavadora de 3 compartimientos remueve el doble de suciedad en botellas de vidrio que una de compartimiento simple, (Broderick, 1982). De lo que se puede concluir que una lavadora no debe evaluarse únicamente por su tiempo de contacto.

#### **2.2.2.6 Efecto mecánico del lavado**

Una botella sometida únicamente al proceso de inmersión, sufrirá una leve agitación a medida que pasa a través de cada tanque además del efecto mecánico de su vaciado, lo que permitirá la remoción parcial del sucio; sin embargo, el efecto mecánico causado por los inyectores es mucho más eficiente.

Un inyector correctamente ajustado dispara un delgado chorro de detergente a través del cuello de la botella hasta llegar a su base, para luego retroceder bajando por sus paredes desprendiendo el sucio restante. Es muy importante que el orificio de los



inyectores no se encuentre obstruido para garantizar al máximo el poder de limpieza de la lavadora, (Fra, 2005).

### 2.2.2.7 Calidad de la solución de lavado

Los componentes de la solución de lavado son repuestos cada cierto tiempo: el agua de pre- enjuague (tanque 1) es repuesta 1 vez a la semana, el agua de enjuague (últimos tanques) es repuesta cada 72 horas, mientras que la soda es repuesta cada 40 días de uso en operaciones. La soda no es cambiada por soda nueva, sino que es limpiada y filtrada para eliminar las impurezas que presenta. Estas impurezas son sólidos y materia orgánica que afectan su desempeño a la hora de llevar a cabo la limpieza de las botellas.

#### **Calidad del agua**

En el lavado de botellas, el grado de dureza del agua juega un papel fundamental. La dureza suele ser expresada como mg de  $\text{CaCO}_3$  por litro, la cual representa la variedad de cationes ( $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ ) y aniones ( $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) que pueden estar presentes.

La *Dureza Temporal* es debida a la presencia de bicarbonatos como  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  y  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$  y puede ser parcialmente removida por hervido. En contraste, la *Dureza Permanente* resulta de la presencia de sulfatos de calcio y magnesio y el hervido no tiene un importante efecto en su concentración.

El agua dura causa incrustaciones en la lavadora de botellas y reduce la efectividad de la solución limpiadora. En la sección de lavado, el agua dura puede tapar los inyectores y conducir a manchas indeseadas en las botellas limpias. La dureza temporal se produce también en el enjuague, debido al arrastre de soda cáustica hacia los tanques, lo que puede producir la reacción de hidróxido de sodio con los bicarbonatos de calcio formando la precipitación de carbonato de calcio, (Fra, 2005).

#### **Calidad de la soda**

La soda, al ser usada durante 40 días, presenta impurezas, tales como sólidos, sílice y materia orgánica, que varían a medida que avanza el tiempo, las cuales pueden afectar la eficiencia de lavado así como el comportamiento de la soda frente a las botellas.

La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro que mide la cantidad de materia orgánica susceptible de ser oxidada por medios químicos que hay en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en  $\text{mg O}_2/\text{litro}$ .





Los sólidos suspendidos, como parámetro, miden la presencia de materiales corpusculares de tamaño mayor que unos  $10^{-3}$  milímetros. De hecho. Si fuesen menores se clasificarían como materiales coloidales ( $10^{-6}$  a  $10^{-3}$  mm) o, definitivamente, como especies disueltas (menores que  $10^{-6}$  mm). Además, los sólidos mayores que unos  $10^{-2}$  mm se definirían, en realidad, como sólidos sedimentables pues su tamaño es tal que caen por si mismos al dejarlos en agua quieta, los sólidos suspendidos, en cambio y tal como su nombre lo indica, permanecen en suspensión y sólo pueden ser retirados por una barrera física, como por ejemplo, un filtro. Los sólidos volátiles son aquellos que representan a la materia orgánica presente en la fracción sólida de la muestra.

El silicio es, después del carbono, el elemento más abundante de la corteza terrestre. El contenido de sílice ( $\text{SiO}_2$ ), en el agua natural, suele oscilar entre 1 y 30 mg/L. La presencia de sílice en el agua supone un problema industrial debido a la formación de placas de sílice y silicatos en los equipos, difíciles de eliminar, especialmente en las paletas de turbinas de vapor con presión elevada. En el caso de la soda, el sílice puede venir contenido en el agua, o puede venir dado por el ataque químico hacia el vidrio, (Portal Empresas Polar, 2006).

### **2.2.3 Botellas retornables**

#### **2.2.3.1 Producción de las botellas de vidrio**

El vidrio es fundido en plantas de vidrio, principalmente contiene un 72% de arena de cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ), 13% de  $\text{Na}_2\text{O}$ , 10% de  $\text{CaO}$ , 2%  $\text{MgO}$ , 1,5%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y aditivos colorantes de óxidos metálicos.

La gota de vidrio fundido es soplada dentro de formas de botellas en las planatas de alto rendimiento. El molde le da a la botella su forma exterior, incluyendo la boca, aunque la formación uniforme de interior incluyendo la fuerza uniforme de las paredes es el trabajo de la máquina, la cual debe ser inspeccionada después que la botella sea enfriada lentamente, (Kunze, 2004).

Las ventajas y desventajas que presentan las botellas de vidrio retornables son (Kunze, 2004):

El vidrio es en muchas formas un material de almacenamiento ideal para bebidas, él es:

- Neutral en sabor,
- Impermeable al gas,
- Resistente al calor,
- No puede ser deformado.



Puntos negativos en contraste son que las botellas de vidrio:

- Son muy pesadas (el empaque – con la caja – pesa tanto como el contenido), y
- Es rompible – las astillas de vidrio tienen terminaciones afiladas y existe un gran riesgo de heridas,
- La remoción de las astillas de vidrio puede ocasionar problemas algunas veces.

### 2.2.3.2 Recubrimiento superficial

La botella de vidrio, tal como sale de la sopladora, no es capaz de enfrentar la demanda de las altas velocidades de llenado de la actualidad, esto debido a su superficie rugosa, alto desgaste y tendencia al quiebre debido a esto. Sólo a través de la combinación de recubrimiento en frío y en caliente en la planta de vidrio hace que la botella de vidrio adquiera su superficie suave. En el caso del recubrimiento en caliente, a alrededor de 600° C, los micro poros en la superficie del vidrio son llenados con óxido metálico (SnO, TiO) y la superficie de vidrio es de esta forma protegida del aumento de la rugosidad en las etapas adicionales de producción. Como resultado la solidez de la botella es incrementada.

El recubrimiento en frío es a alrededor de 100° C utilizando una dispersión a base de polietileno, la superficie del vidrio presenta una suavidad y desliz el cual es necesario para un uso libre de problemas, (Kunze, 2004).

### 2.2.3.3 Fenómeno del rayado de botellas

Emplear botellas retornables en el proceso de envasado de la cerveza genera un beneficio económico, como se mencionó anteriormente, debido a que una misma botella puede ser reutilizado de 40 a 80 veces más que una botella no retornable, lo que implica un ahorro en insumos por reposición de nuevas botellas. La inversión en la que se necesita incurrir para costear los gastos asociados al regreso de las botellas a la planta y al proceso de lavado, es considerablemente menor al gasto por restitución de los envases no retornables, (Fra, 2005).

Sin embargo, a pesar de los beneficios económicos que trae consigo el uso de botellas retornables, a medida que las mismas se someten al proceso de lavado pierden un porcentaje de su masa total debido a dos efectos, un efecto químico originado por la solución de lavado y un efecto mecánico causado por el roce producido en las líneas de envasado. Esta disminución de masa de la botella afecta su resistencia a las fuerzas internas de presión hidrostática características del envasado de un líquido carbonatado, (Kunze, 2004).

El efecto químico, denominado etching, consiste en la disolución de la estructura del vidrio a partir del ataque de la soda cáustica. Para el sílice, sodio, calcio y aluminio

junto con cualquier otro constituyente del vidrio serán arrastrados a la solución limpiadora. Compuestos insolubles basados en calcio, magnesio y otros cationes polivalentes son formados como subproductos de la reacción y pueden depositarse de nuevo sobre la superficie del vidrio y de la lavadora. El etching resulta en una pérdida de brillo y liberación de los componentes del vidrio en la solución limpiadora, lo que puede llevar a ineficiencias en la operación del equipo, (Rouillard, 1999).

Mientras que el efecto mecánico, consiste en la abrasión física que ocurre cuando las botellas chocan en las líneas de producción dañando el vidrio en los puntos de contacto. El subsiguiente ataque químico acentúa el daño físico, causando anillos visibles. La combinación del daño físico y químico a la botella en la línea de producción es denominado scuffing, (Rouillard, 1999).

Entre las distintas características que presentan las líneas de envasado se encuentran la alta velocidad, las curvas cerradas, la disminución del ancho, la presión por acumulación y el material de las barreras guías de las líneas de transporte. Esto incrementa el contacto y el roce entre las botellas produciendo una abrasión constante y el desgaste de su superficie, (Kunze, 2004). Para contrarrestar estos efectos se decide aumentar ligeramente el espesor del vidrio en la zona del hombro y fondo de la botella para que de esta forma sólo estos puntos entren en contacto sin hacerlo el resto del cuerpo (ver figura 2.8), manteniendo la integridad de la superficie y el pirograbado de la botella donde se encuentran el logotipo del producto y de la empresa (ver figura 2.9).

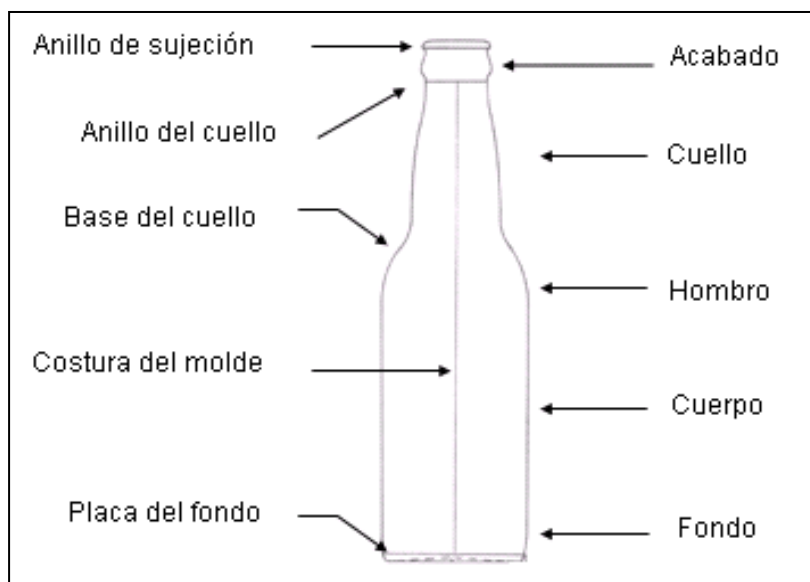


Figura 2.8. Partes de la botella (Fra, 2005)



Figura 2.9. Formación de anillos en una botella retornable (Libretti, 2005)

A medida que transcurren los ciclos de lavado, el “anillo” producto de la erosión del vidrio incrementará su tamaño hasta alcanzar un nivel en el cual el desgaste comienza a observarse en el cuerpo de la botella, viéndose afectado el pirograbado. En la figura 2.10, se relaciona el nivel de rayado de las botellas con la altura del anillo medido en milímetros. Por lo general, a partir de un nivel 4 de rayado las botellas son apartadas del proceso de producción para su posterior reciclaje.





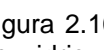
	NIVEL	ALTURA
	5	8 - 10 mm
	4	6 - 8 mm
	3	4 - 6 mm
	2	2 - 4 mm
	1	0 - 2 mm

Figura 2.10. Nivel de rayado en botellas de vidrio retornables, (Portal Empresas Polar, 2006).

#### 2.2.3.4 Análisis de las variables de calidad de las botellas

##### Presión interna

Para las botellas de cerveza, una de las pruebas más importantes es la de resistencia interna a la presión hidrostática. Las botellas a estudiar son llevadas hasta rebozar con agua. Las mismas son sostenidas alrededor del cuello, debajo del acabado. Una cabeza selladora es sujeta y puesta en su lugar sobre el acabado, presionando el botón “inicio” la presión interna es liberada dentro de la botella a una tasa constante hasta que la botella se rompa o es alcanzado el valor determinado de la prueba.

Uno de los pasos más importantes para conducir la prueba de presión interna es analizar todos los niveles de presión y estudiar los puntos de fractura, analizando la localización del origen de la falla y su posible causa, (Broderick, 1982).

##### Choque térmico

Cuando una botella de vidrio es sometida a cambios rápidos de temperatura la superficie sufre expansiones y contracciones que desarrollan tensión elástica. Tomando en consideración otro factor asociado con la fuerza característica de una botella cuello angosto es que la pared interna de la botella exhibirá aproximadamente 50% más de fuerza elástica que la superficie exterior, debido al hecho que ha sido protegida de todo abuso en su superficie y ha estado en contacto sólo con el aire comprimido cuando fue fabricada. Es la pared interna la que está sujeta a condiciones de contracción y expansión, (Broderick, 1982).

#### 2.2.4 Velocidad de las vías

Con la finalidad de presentar un mejor comportamiento de los trenes, se tiene que los mismos trabajan bajo un principio conocido como balanceo en V. El mismo indica que

las velocidades de los equipos deben tener un comportamiento tal que permita que la llenadora nunca se quede sin botellas, así mismo garantizar que la salida de la llenadora nunca exista acumulación, es decir, evitar que la llenadora se detenga (ver figura 2.11), ya que éste es el equipo más crítico al tener la velocidad más baja entre todos los demás.

Se puede trabajar bien sea con las velocidades en cajas por hora, botellas por hora o en porcentaje.

Cuando un tren presenta este

comportamiento se dice que está balanceado, esto es porque en ningún

momento se presentarán paradas en la llenadora, bien sea por falta o por acumulación de botellas.

En el caso de las vías se tiene que las mismas deben tener un comportamiento diferente, esto es, deben estar a una velocidad tal que permita trabajar a un equipo holgadamente, ya que con esto se garantiza que no exista ningún tipo de trancamiento durante la operación. En la idealidad las vías deben seguir la tendencia del comportamiento en V, pero la realidad indica que no es así, ya que las vías siempre tienen una velocidad superior para alimentar el siguiente equipo y despejar de la misma forma el equipo que acaban de dejar.

### 2.2.5 Análisis de sistemas de medición

Un sistema de medición puede considerarse como un proceso, el cual tiene como entrada una parte (pieza) y tiene como salida un valor asignado a la característica de calidad que se está midiendo.

La calidad de un sistema de medición está relacionada con las propiedades estadísticas que cumple o es capaz de cumplir el sistema de medición.

En un sistema de medición pueden intervenir, los siguientes elementos:

- *Máquinas*: instrumento de medición.

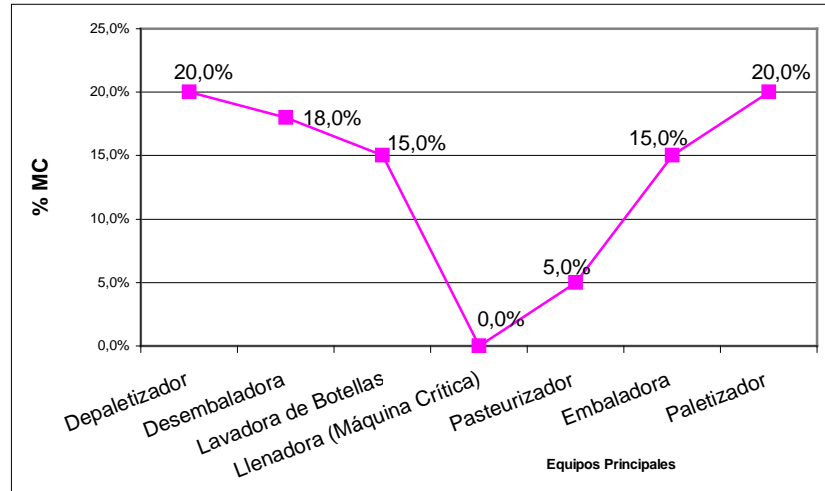


Figura 2.11. Diagrama en V genérico, (Portal Empresas Polar, 2006).



- *Mano de Obra*: operarios que manipulan, tanto las partes a ser medidas, como el instrumento de medición.
- *Materiales*: en ocasiones requeridos por el instrumento de medida.
- *Medio Ambiente*: condiciones ambientales que pueden afectar al Proceso de Medición.
- *Método*: instrucciones que deben seguir los operarios para realizar la medición, siempre, de la misma forma pre-establecida, (Montgomery, 1991).

## 2.2.6 Evaluación económica

### 2.2.6.1 Flujo de caja

Al flujo de caja se le denomina a los recursos generados por una empresa en un determinado período. Comprende la suma de los beneficios, amortizaciones y provisiones. El flujo de caja se compone de la siguiente manera:

▣ *Ingresos afectos a impuestos*: Están constituidos por los ingresos que aumentan la utilidad contable de la empresa, lo que se calcula multiplicando el precio de cada unidad por la cantidad de unidades que se proyecta producir y vender cada año, y por el ingreso estimado de la venta de la máquina que se reemplaza al final del período.

▣ *Impuestos*: Se determina como es 34% de las utilidades antes de impuesto.



## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

En el siguiente capítulo se presenta el conjunto de procedimientos y herramientas, con el cual se dio cumplimiento a los objetivos planteados en este trabajo de investigación.

Según los objetivos planteados, la investigación a nivel de profundidad es proyectiva, esto es, se tiene como objeto plantear diferentes alternativas de mejora en el proceso a fin de disminuir los niveles de rayado en las botellas retornables, para ello se deben conocer las variables involucradas en el proceso y determinar las que más inciden en la formación del rayado.

En cuanto a la estrategia o diseño de la investigación, es de campo, ya que se recolectarán datos tal y como ocurren los hechos, analizándose cada una de las variables para conocer a fondo las causas que ocasionen el problema.

#### **3.1. DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE ENVASADO DE LAS BOTELLAS RETORNABLES**

A fin de llevar a cabo este objetivo se realizaron actividades que permitieron conocer a fondo las condiciones en las que el proceso se llevaba a cabo, de esta forma se pueden identificar las posibles causas que producen el rayado en las botellas.

##### **3.1.1 Reconocimiento del proceso de envasado de las botellas retornables**

Para reconocer el proceso se realizaron recorridos diarios a través de los trenes de envasado, junto a los operarios y supervisores, indagando en cuanto a la maquinaria involucrada en el proceso, así como los equipos, las especificaciones, condiciones y modos de operación del mismo, se logró recopilar información en cuanto a la forma en que se desempeña el proceso de envasado de botellas retornables en la actualidad.

##### **3.1.2 Selección de los trenes de trabajo**

Al conjunto de equipos y maquinarias necesarias para llenar y envasar el producto se le denomina tren o línea de envasado. Actualmente la planta San Joaquín cuenta con 12



trenes. El estudio se hará en 2 trenes, debido a que es mucho más manejable trabajar con esta cantidad, así mismo los resultados obtenidos pueden compararse entre sí.

### 3.1.2.1 Criterios de selección

- a. Tiempo de uso del tren: se refiere a al tiempo que tiene en uso el tren, si es uno viejo o uno nuevo. Se busca que los dos trenes tengan esta diferencia para comparar si esto tiene incidencia sobre el rayado.
- b. Condiciones mecánicas: se refiere, específicamente, al mantenimiento mecánico general de la línea. Se buscó que los trenes tuvieran las mejores condiciones de mantenimiento general, para no limitar del estudio por problemas mecánicos.
- c. Tipo de lavadora: para determinar si el hecho que la lavadora sea de una marca distinta afecta o no el rayado, las marcas que están en planta son Krones y Barry-Wehmler. Se busca que los dos trenes tengan esta diferencia.
- d. Tipo de producto que procesa: siendo este el criterio más importante, se debe seleccionar un tren que trabaje con el producto en estudio, esto es, Polar Ice 222 mL, retornable, debido a que este es el producto con mayor demanda en la planta.

### 3.1.2.2 Determinación de los trenes en estudio

Se determinaron los trenes de trabajo haciendo comparaciones entre cada una de las evaluaciones realizadas, a todos los trenes de envasado y escogiendo los dos que mejor cumplieran los criterios de selección.

### 3.1.3 Identificación de las variables del proceso de envasado de cerveza

A fin de determinar cuales son las variables involucradas en el proceso de envasado de cerveza, se realizaron distintos análisis, los cuales permiten determinar las condiciones en las que se encuentran los trenes.

#### 3.1.3.1 Cuantificación de las botellas desechadas

Fueron estudiados los trenes que corren con botellas ICE retornables, los cuales son 7,8 10 y 11. Se analizó cada botella tomada para determinar la razón por la cual había sido eliminada, para de esta forma verificar el porcentaje de rechazos relacionados con el rayado de la botella. El método específico se encuentra reflejado en el apéndice D.





### **3.1.3.2 Observación de la resistencia de las botellas a las pruebas de presión interna y choque térmico**

De las botellas tomadas para la cuantificación de botellas rechazadas por la Linatronic, se tomaron 8 muestras de cada uno de los niveles de rayado, se les realizó a cada uno de los grupos las pruebas de presión interna y choque térmico, esto para determinar el impacto que presentan las etapas del proceso sobre las botellas rayadas, las pruebas se llevaron a cabo siguiendo la metodología reflejada por los instructivos correspondientes, observándose en detalle en el apéndice D, (Portal Empresas Polar, 2006).

### **3.1.3.3 Determinación de la eficiencia de las lavadoras de los trenes seleccionados**

El ensayo fue realizado a las lavadoras de 2 trenes: 8 y 10. Para determinar la eficiencia se hace uso de un sucio estándar, el cual representa, de forma estándar, el sucio que presentan las botellas cuando llegan a la planta. Se hizo uso del método de sucio estándar desarrollada por Lenine de Sousa en su trabajo de grado (apéndice D).

### **3.1.4 Diagrama causa- efecto**

Con el apoyo de los manuales, la recopilación de las investigaciones realizadas previamente, relacionadas con el proceso y el análisis del mismo, se elaboró una lista con todas las variables involucradas; para una mejor visualización de las causas o factores se utiliza el diagrama causa- efecto. Las categorías propuestas por esta técnica son: Mano de obra, maquinaria, materiales, método, medición y medio ambiente.

Al analizar el diagrama causa- efecto, estableció que las variables a estudiar eran las siguientes:

- ↗ Calidad de la solución limpiadora.
- ↗ Velocidad de las vías.

## **3.2 EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA VELOCIDAD DE LAS VÍAS Y LA CALIDAD DE LA SOLUCIÓN LIMPIADORA SOBRE LA FORMACIÓN DE RAYADO**



En este objetivo se estudiará el efecto que presenta sobre el rayado de botellas los factores seleccionados del diagrama causa- efecto, realizándose en 2 trenes con características completamente distintas, el 8 y el 10.

### 3.2.1 Calidad de la solución limpiadora

En el caso de la calidad de la solución limpiadora se busca determinar la diferencia existente entre las lavadoras de ambos trenes en estudio, en cuanto a contenido de sólidos volátiles, sólidos suspendidos, sílice y carga orgánica, determinado por el valor de DQO determinado, así mismo se determina la concentración de NaOH y  $\text{CO}_3^{-2}$  de la solución limpiadora. En este caso, no se tienen valores con que cerciorar si están dentro de norma o no, debido a que estos estudios normalmente se realizan a las aguas residuales de la planta, y la norma sólo aplica para estos análisis.

Todos los análisis se realizan a la solución limpiadora de las lavadoras de los trenes 8 y 10. En el caso del tren 8 se realiza a 7 tanques, mientras que en el tren 10 se realiza a 5 tanques

#### 3.2.1.1 Determinación de la concentración de iones oxidrilo y carbonatos en la solución limpiadora

A fin de saber las concentraciones de soda y carbonatos a la que son expuestas las botellas, se hace uso de la siguiente metodología, la cual expone de manera detallada los pasos a seguir, (Portal Empresas Polar, 2006).

##### *Materiales*

- Recipiente para tomar muestras
- Pipeta aforada de 10 mL
- Recipiente de vidrio para realizar la titulación de las soluciones de soda cáustica. (Erlenmeyer de 125 mL, vaso tipo compota de vidrio, o su equivalente)
- Bureta graduada de 10 ó 25 mL. (Precisión: 0,1 mL)

##### *Reactivos*

- HCl
- Fenolftaleína
- Indicador Mixto No. 5 (Merck No. 1.06130.0250) o equivalente



### Soluciones

- Solución de HCl 1,0 N
- Indicador fenolftaleína al 0,1% en alcohol (etanol)
- Indicador Mixto (mezcla de 6 volúmenes de solución acuosa de azul de timol al 0,1% y 1 vol. de solución acuosa de rojo de cresol al 0,1 %) o equivalente

### Metodología

1. Purgar los tomamuestras de los tanques de la lavadora (aprox. 10")
2. Tomar una muestra, (aprox. 100mL), de los tanques de soda
3. Trasegar 10 mL de muestra (una por una) en el envase de vidrio
4. Agregar de 2 a 3 gotas de la solución de fenolftaleína y homogeneizar, la solución deberá ser color rosa
5. Enrasar la bureta a "Cero" con HCl 1,0 N
6. Comenzar a titular, agregando gota a gota el HCl 1,0 N hasta lograr que la solución vire de rosa fucsia a incoloro
7. Tomar nota del volumen de HCl 1,0 N gastado (valor f)

**Nota:** La alcalinidad "f", es una medida de cantidades titulables de hidróxido y la mitad del carbonato, determinado por el consumo de HCl hasta el cambio de color, (de fucsia a transparente), del indicador fenolftaleína.

8. Agregar de 2 a 3 gotas de la solución de indicador mixto y homogeneizar. En caso de utilizar el indicador mixto azul de timol y rojo cresol la solución deberá presentar una coloración azul
9. Sin enrasar nuevamente a "Cero", continuar agregando HCl 1,0 N hasta que la solución vire a rojo-violeta (indicador mixto azul de timol, rojo cresol)
10. Tomar nota del volumen de HCl 1,0 N gastado (valor m)

**Nota:** La alcalinidad "m", es una medida de cantidades titulables de hidróxido y carbonato, determinado por el consumo total de HCl hasta el cambio de color, (azul a rojo-violeta), del indicador mezclado

11. Calcular la concentración de NaOH y Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> presente en la solución de soda según las fórmulas:



$$NaOH(\%) = (2f - m) \times 0,4 \quad (3.1, \text{Portal Empresas Polar, 2006})$$

$$Na_2CO_3(\%) = 2 \times (m - f) \times 0,53 \quad (3.2, \text{Portal Empresas Polar, 2006})$$

donde:

f y m = son los mililitros de HCl consumidos en las dos titulaciones realizadas

### 3.2.1.2 Determinación del contenido de sólidos volátiles y sólidos suspendidos

Cuando las botellas provienen de la calle, presentan partículas de polvo y otras suciedades, lo cual reduce la calidad de la solución limpiadora. A fin de determinar el efecto que presentan los sólidos sobre el desgaste de las botellas, se presenta la siguiente metodología a seguir, (Portal Empresas Polar, 2006).

#### *Materiales*

- Plancheta, acero inoxidable o aluminio, 65 mm de diámetro
- Disco de filtrado de fibra de vidrio, Whatman N° 19201822 GF / C o similar
- Embudo de filtración al vacío
- Desecador
- Cápsula de aluminio o de acero inoxidable

#### *Equipos*

- Horno de mufla, operado a  $(550 \pm 50)$  °C
- Horno de secado, operado a  $(103 - 105)$  °C
- Balanza analítica, precisión  $\pm 0,0001$  g

#### *Metodología*

##### 1. Preparación del disco de filtrado

- 1.1. Trasladar el filtro a una cápsula de aluminio o de acero inoxidable.
- 1.2. Secar en horno a  $(103 - 105)$  °C, durante una (1) hora
- 1.3. Enfriar en el desecador para equilibrar la temperatura durante 20 min.
- 1.4. Pesar el filtro en la balanza analítica con 0,0001g de precisión, denominándose  $P_F$ .

##### 2. Selección del filtro y tamaños de la muestra

- 2.1. Elegir un volumen de muestra que proporcione entre 2,5 y 200 mg de residuo seco



- 2.2. Utilizar un filtro ancho para permitir el filtrado de una muestra representativa
3. Procedimiento para llevar la muestra a peso constante
  - 3.1. Filtrar el volumen medido de muestra (bien mezclada), mediante un filtro de vidrio
  - 3.2. Continuar succionando durante tres (3) min., después de terminar el filtrado
  - 3.3. Transferir el filtro a una plancheta de aluminio o acero inoxidable
  - 3.4. Secar durante una (1) hora en el horno a (103 – 105) °C
  - 3.5. Enfriar en el desecador para equilibrar la temperatura, durante 20 min.
  - 3.6. Pesar en la balanza analítica con 0,0001 g de precisión, denominándose  $P_s$
  - 3.7. Incinerar el residuo en el horno de mufla durante 15 a 20 min. a (550 ± 50) °C
  - 3.8. Repetir el paso 3.5
  - 3.9. Repetir el paso 3.6, denominando el valor como  $P_v$
4. Cálculo

$$S_{ST} = \frac{(P_s - P_F) \times 1000 \times 1000}{V_M} \quad (3.3, \text{Portal Empresas Polar, 2006})$$

$$S_V = \frac{(P_s - P_v) \times 1000 \times 1000}{V_M} \quad (3.4, \text{Portal Empresas Polar, 2006})$$

donde:

$S_{ST}$ : Sólidos totales suspendidos, mg / L

$S_V$ : Sólidos volátiles, mg / L

$P_F$ : Peso del filtro, g

$P_s$ : Peso del residuo seco + filtro antes de la incineración, g

$P_v$ : Peso del residuo seco + filtro después de la incineración, g

1000: factor, 1000 mg / g

1000: factor, 1000 mL / L

$V_M$ : volumen empleado de la muestra, mL

### 3.2.1.3 Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Las botellas que vienen de la calle traen consigo carga orgánica, la cual puede provenir de restos de cerveza o por exposición a hongos y bacterias. A continuación se presenta la metodología a seguir para determinar DQO, (Portal Empresas Polar, 2006).



### *Materiales*

- Vaso de digestión : tubo de cultivo de borosilicato, de 16 x 100 mm, 20 x 150 mm ó 25 x 150 mm
- Rejilla de tubos de ensayo, para colocar los tubos de cultivo
- Perlas de ebullición

### *Equipos*

- Bloque de calentamiento: aluminio fundido, 45 a 50 mm de profundidad, con agujeros ajustados al tamaño de los tubos de cultivo

### *Reactivos*

- $K_2Cr_2O_7$
- $Ag_2SO_4$
- 1,10-fenantrolina monohidratada
- $FeSO_4 \times H_2O$
- $Fe(NH_4)_2 (SO_4)_2 \times H_2O$

### *Soluciones*

- Ácido sulfúrico, concentrado
- Solución de digestión de dicromato de potasio, 0,25 N
- Solución indicadora de ferroína
- Sulfato de amonio ferroso (SAF), 0,1 M

### *Metodología*

#### 1. Preparación de la solución de sulfato de amonio ferroso (SAF), 0,1 M

1.1 Disolver con agua destilada, 39,2 g de  $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \times 6H_2O$ , en un balón aforado de 1.000 mL

1.2 Agregar 20 mL de  $H_2SO_4$  concentrado, enfriar y llevar hasta la marca de aforo con agua destilada. Estandarizar la solución a diario frente a la solución de digestión patrón de  $K_2Cr_2O_7$

#### 2. Estandarización de la solución de sulfato de amonio ferroso (SAF)

2.1 Añadir los reactivos de acuerdo con la tabla (ver tabla 3.1), a un tubo de cultivo que contiene el volumen correcto de agua destilada sustituido por la muestra

**Tabla 3.1 Cantidades de muestra y reactivos para varios vasos de digestión**

Tubo de cultivo	Muestra(mL)	Solución de digestión (mL)	Ácido sulfúrico (mL)	Volumen total final (mL)
16 x 100 mm	2,5	1,5	3,5	7,5
20 x 150 mm	5,0	3,0	7,0	15,0
25 x 150 mm	10,0	5,0	15,0	30,0

2.2 Enfriar el tubo a temperatura ambiente

2.3 Añadir de 1 a 2 gotas de indicador de ferroína y titular con la solución de SAF

2.4 Calcular la molaridad de la solución de SAF según la ecuación siguiente:

$$M_{SAF} = \frac{V_D}{V_{SAF}} \times M_D \times 6 \quad (3.5, \text{Portal Empresas Polar, 2006})$$

donde:

$M_{SAF}$ : molaridad de la solución de SAF, en mol / L

$V_D$ : volumen de la solución titulada de  $K_2Cr_2O_7$ , en mL

$V_{SAF}$ : volumen de SAF utilizada en la titulación, en mL

$M_D$ : molaridad de la solución titulada de  $K_2Cr_2O_7$ , en mol / L

6: factor; 1 mol de  $Cr_2O_7$  reacciona con 6 moles de  $Fe^{2+}$

### 3. Análisis

3.1 Consultar la tabla (ver tabla 3.1), para los volúmenes adecuados de reactivos y muestras

3.2 Agregar una pizca de  $Ag_2SO_4$ , para precipitar cualquier elemento que sea una interferencia

3.3 Colocar la muestra en el tubo de cultivo y agregar la solución de digestión

3.4 Agregar 2 perlas de ebullición al tubo de cultivo

3.5 Verter con cuidado el ácido sulfúrico en el vaso, de forma que se cree una capa de ácido debajo de la capa de la solución de digestión / muestra

3.6 Colocar los tubos en un digestor de bloque someter a calentamiento durante 2 horas



- 3.7 Enfriar a temperatura ambiente y colocar los vasos en la rejilla de tubos de ensayo
- 3.8 Agregar 40 mL de agua destilada en cada uno de los vasos digestores
- 3.9 Añadir 1 a 2 gotas de indicador de ferroína y agitar rápidamente, se titula con la solución de SAF 0,10 M; el punto final es un marcado cambio de color del azul verdoso al marrón rojizo.
- 3.10 Someter, de la misma forma, un blanco que contiene los reactivos y un volumen de agua destilada igual al de la muestra

#### 4 Cálculo

La demanda química de oxígeno (DQO) se calcula mediante la ecuación siguiente:

$$DQO = \frac{(A - B) \times M \times 8000}{V_M} \quad (3.6, \text{Portal Empresas Polar, 2006})$$

donde:

DQO: demanda química de oxígeno, en mg O<sub>2</sub> / L

A: volumen de SAF utilizados para el blanco, en mL

B: volumen de SAF utilizados para la muestra, en mL

M: molaridad del SAF, en mol

8.000: factor, para convertir mol / L en mg O<sub>2</sub> / L

V<sub>M</sub>: volumen de muestra, en mL

#### 3.2.1.4 Determinación del contenido de sílice (SiO<sub>2</sub>)

Las botellas a medida que va aumentando su tiempo de uso se van desgastando, perdiendo sílice, el cual va quedando en los tanques de la lavadora. A continuación se presenta la metodología a seguir para determinar la cantidad de sílice que se encuentra en la solución limpiadora, (Portal Empresas Polar, 2006).

##### *Materiales*

- Pipetas volumétricas de 10 mL
- Tubos de muestreo Merck

##### *Equipos*

- Espectrofotómetro Merck SQ 118

##### *Soluciones*

- Solución de Sílice 1 (Si-1)





- Solución de Sílice 2 (Si-2)
- Solución de Sílice 3 (Si-3)

### *Metodología*

1. Trasvasar, con una pipeta volumétrica, 10 mL de la muestra a un tubo de muestreo (muestra)
2. Trasvasar, con una pipeta volumétrica, 10 mL de agua pentadestilada a un segundo tubo de muestreo (blanco)
3. Encender el equipo
4. Agregar a cada tubo 3 gotas de Si-1, colocar el contador del equipo en 3 minutos, esperar
5. Agregar luego a cada tubo 3 gotas de Si-2
6. Agregar al tubo con la muestra 10 gotas de Si-3, mezclar y colocar el contador del equipo en 5 minutos, esperar
7. Trasvasar el contenido del tubo con el blanco a la celda, introduciéndola en la ranura del aparato, el valor indicado debe ser 0,0 mg / L
8. Trasvasar el contenido del tubo con la muestra a la celda, introduciéndola en la ranura del aparato
9. Anotar el valor indicado, como la concentración de sílice en mg / L
10. Realizar los pasos desde el 1 hasta el 10 para cada muestra

### **3.2.2 Velocidad de las vías**

La velocidad de las vías es uno de los factores más determinantes en cuanto al rayado, por lo que se debe tomar especial cuidado en la forma en que son tomados los datos, esto es para contar con la mayor precisión y confiabilidad posible.

Ante las cambiantes condiciones de operación de las vías se debe ser específico al momento de tomar los datos, esto es, detallar las condiciones que presenta la vía en el instante de hacer la medición. Definir que tan llena de botellas está la vía, si hay mucha presión y contacto entre ellas, si hubo paradas, si es durante un arranque, si existe mucha acumulación. Todas estas variables tienen influencia sobre la velocidad de la vía y de los equipos, ya que existen sensores a lo largo de las vías que regulan las velocidades y la alimentación de botellas a los equipos.

#### **3.2.2.1 Determinación de la velocidad de los equipos**

A fin de determinar si los equipos de los trenes se encuentran balanceados se debe seguir la siguiente metodología.

### Equipos

- Cronómetro, precisión  $\pm 0,01$  s

### Metodología

#### Depaletizadora

1. Activar el cronómetro en el instante en la primera paleta se detiene
2. Parar el cronómetro en el instante en que la segunda paleta se detiene
3. Registrar el tiempo obtenido como el ciclo de una paleta, denominándose  $t_{dp}$
4. Calcular la velocidad en botellas por minuto según la siguiente fórmula:

$$V_{dp} = \frac{72 \cdot 36 \cdot 60}{t_{dp}} \quad (3.7, \text{ Propia, 2006})$$

donde:

$V_{dp}$ : Velocidad de la depaletizadora, bpm

72: cantidad de cajas por paleta, cajas / paleta

36: cantidad de botellas por caja, botellas / caja

60: factor, para convertir de segundos a minutos

$t_{dp}$ : ciclo de una paleta, paleta / s

5. Repetir los pasos del 1 al 4 cinco veces para cada depaletizadora del tren

#### Desembaladora

1. Seleccionar un cabezal de referencia
2. Activar el cronómetro cuando el cabezal pase por un punto de referencia
3. Parar el cronómetro en el instante en que el cabezal de referencia realiza tres vueltas
4. Registrar el tiempo obtenido como el ciclo de la desembaladora,  $t_{db}$
5. Calcular la velocidad en botellas por minuto según la siguiente fórmula:

$$V_{db} = \frac{C \cdot 36 \cdot 60}{\frac{t_{db}}{3}} \quad (3.8, \text{ Propia, 2006})$$



donde:

$V_{db}$ : Velocidad de la desembaladora, bpm

C: número de cabezales de la desembaladora

36: cantidad de botellas que saca 1 cabezal, botellas

60: factor, para convertir de segundos a minutos

$t_{db}$ : tiempo en que un cabezal da 3 vueltas, s

6. Repetir los pasos del 1 al 5 cinco veces para cada desembaladora del tren

#### Lavadora

1. Fijar un punto de referencia en la entrada de la lavadora
2. Activar el cronómetro
3. Contar el número de cestas que pasan por el punto de referencia en un minuto, registrar el valor como  $t_l$
4. Calcular la velocidad en botellas por minuto según la siguiente fórmula:

$$V_l = N_{Cestas} \cdot B \quad (3.9, Propia, 2006)$$

donde:

$V_l$ : velocidad de la lavadora, bpm

$N_{cestas}$ : número de cestas que pasan por el punto de referencia en un minuto

B: número de bolsillos en una cesta

5. Repetir los pasos del 1 al 4 cinco veces

#### Llenadora

1. Fijar un punto visible del calderín como punto de referencia
2. Activar el cronómetro cuando el punto visible pase por un lugar de referencia
3. Parar el cronómetro cuando el punto visible realice 3 vueltas
4. Registrar el tiempo obtenido como el ciclo de la llenadora,  $t_{ll}$
5. Calcular la velocidad en botellas por minuto según la siguiente fórmula:

$$V_{ll} = \frac{N_v \cdot 60}{\frac{t_{ll}}{3}} \quad (3.10, Propia, 2006)$$

donde:



- $V_{II}$ : velocidad de la llenadora, bpm
- $N_v$ : número de válvulas en la llenadora
- 60: factor, para convertir de segundos a minutos
- $t_{II}$ : tiempo en que la llenadora da 3 vueltas, s

6. Repetir los pasos del 1 al 5 cinco veces para cada llenadora

#### *Pasteurizador*

1. Activar el cronómetro cuando el pasteurizador comience su ciclo
2. Parar el cronómetro cuando el pasteurizador termine el ciclo
3. Registrar el valor como el ciclo del pasteurizador, ciclo
4. Calcular la velocidad en botellas por minuto según la siguiente fórmula:

$$V_p = \frac{60 \cdot A \cdot P}{A_{botella} \cdot Ciclo} \quad (3.11, Propia, 2006)$$

donde:

- $V_p$ : velocidad del pasteurizador, bpm
- 60: factor, para convertir de segundos a minutos
- A: ancho del pasteurizador, m
- P: paso del pasteurizador, m
- $A_{botella}$ : área de la botella,  $m^2$
- Ciclo: ciclo del pasteurizador, s

5. Repetir los pasos del 1 al 4 cinco veces

#### *Embaladora*

1. Seleccionar un cabezal de referencia
2. Activar el cronómetro cuando el cabezal pase por un punto de referencia
3. Parar el cronómetro en el instante en que el cabezal de referencia realiza tres vueltas
4. Registrar el tiempo obtenido como el ciclo de la desembaladora,  $t_{eb}$
5. Calcular la velocidad en botellas por minuto según la siguiente fórmula:

$$V_{eb} = \frac{C \cdot 36 \cdot 60}{\frac{t_{eb}}{3}} \quad (3.12, Propia, 2006)$$

donde:

$V_{eb}$ : Velocidad de la embaladora, bpm

C: número de cabezales de la embaladora

36: cantidad de botellas que saca 1 cabezal, botellas

60: factor, para convertir de segundos a minutos

$t_{eb}$ : tiempo en que un cabezal da 3 vueltas, s

6. Repetir los pasos del 1 al 5 cinco veces para cada embaladora del tren

#### Paletizadora

1. Activar el cronómetro en el instante en la primera paleta se detiene
2. Parar el cronómetro en el instante en que la segunda paleta se detiene
3. Registrar el tiempo obtenido como el ciclo de una paleta, denominándose  $t_{pa}$
4. Calcular la velocidad en botellas por minuto según la siguiente fórmula:

$$V_{pa} = \frac{72 \cdot 36 \cdot 60}{t_{pa}} \quad (3.13, \text{ Propia, 2006})$$

donde:

$V_{pa}$ : velocidad de la depaletizadora, bpm

72: cantidad de cajas por paleta, cajas / paleta

36: cantidad de botellas por caja, botellas / caja

60: factor, para convertir de segundos a minutos

$t_{pa}$ : ciclo de una paleta, paleta / s

5. Repetir los pasos del 1 al 4 cinco veces para cada paletizadora del tren

### 3.2.2.2 Determinación de la velocidad de las vías

Para determinar las tendencias de las velocidades de las vías se presenta la siguiente metodología.

#### *Materiales*

- Cinta métrica

#### *Equipos*

- Tacómetro, precisión  $\pm 0,1$  m / min

#### *Metodología*



1. Acoplar al tacómetro el dispositivo que permite medir en las vías
2. Fijar la unidad de medición del tacómetro en m / min
3. Seleccionar el punto de la vía donde se desea medir la velocidad
4. Anotar las condiciones en las que se toma la medición (como se encuentran los equipos del tren, que tan llena está la vía, si existe mucho contacto entre las botellas)
5. Colocar el tacómetro de forma tal que el dispositivo acoplado entre en contacto con la vía
6. Anotar el valor que aparece en la pantalla del tacómetro, denominándose  $\nabla$
7. Con la cinta métrica medir el ancho de la vía, denominándose H
8. Calcular la velocidad en botellas por minuto según la siguiente fórmula:

$$V = \frac{H}{A_{botella}} \cdot \nabla \cdot 100 \quad (3.14, \text{ Propia, 2006})$$

donde:

V: velocidad de la vía, bpm

H: ancho de la vía, cm

$A_{botella}$ : área que ocupa el fondo de 1 botella,  $\text{cm}^2$  / botella

$\nabla$ : velocidad lineal de la vía, m / min

100: factor, para convertir de cm a m

9. Repetir los pasos del 3 al 8 a lo largo del tren

### 3.2.2.3 Determinación del efecto de la velocidad en el rayado de las botellas

A fin de determinar la influencia de la velocidad de las vías sobre el rayado de botellas, se presenta la siguiente metodología.

#### *Materiales*

- Ligas de colores
- Botellas Ice 222 mL nuevas

#### *Equipos*

- Vernier, precisión  $\pm 0,01$  mm
- Balanza analítica, precisión  $\pm 0,0001$  g
- Grabador de vidrio



### Metodología

1. Con el grabador de vidrio identificar la botella en el fondo con un número
2. Pesar las botellas en la balanza
3. Medir el diámetro del hombro, cuerpo y talón en cada botella con el vernier
4. Identificar las botellas con una liga en el acabado
5. Introducir las botellas en la desembaladora del tren seleccionado
6. Sacar las botellas en la embaladora del tren seleccionado
7. Repetir los pasos del 2 al 6 todas las veces que sean necesarias
8. Calcular el porcentaje de pérdidas en las botellas de la siguiente manera:

$$\% \text{ Pérdida} = \frac{\text{Valor inicial} - \text{Valor final}}{\text{Valor inicial}} \cdot 100 \quad (3.15, \text{ Propia, 2006})$$

donde:

% Pérdida: porcentaje de pérdida de peso/ diámetro de la botella

Valor inicial: valor inicial del peso/ diámetro de la botella

Valor final: valor del peso/ diámetro obtenido en las botellas después de dar las vueltas respectivas.

### 3.3 GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MEJORA

En este objetivo se analizarán los resultados obtenidos en el objetivo anterior, y se determinará, a partir de reuniones con el personal de la Superintendencia de Laboratorios y la Gerencia de Envasado, las alternativas para mejorar el proceso de envasado y que a su vez el desgaste de las botellas disminuya. De igual forma se engloba el objetivo 4, el cual indica la factibilidad técnica de la alternativa seleccionada, ya que se debe analizar su influencia sobre los trenes de envasado y los índices de producción.

### 3.4 ANÁLISIS ECONÓMICO

En este objetivo se aplican los modelos de flujo de caja, se determina el ahorro asociado a la mejora de las condiciones de rayado, teniendo como punto crítico la vida útil de las botellas al disminuir su formación de rayado. De igual forma se tiene el efecto sobre la efectividad del tren una vez realizado los ajustes, determinándose el incremento de los ingresos por concepto de aumento de la producción.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo, se presentan las tablas contentivas de los datos recolectados y los resultados obtenidos a lo largo de la investigación; simultáneamente se realiza el análisis de los resultados.

#### 4.1. DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE ENVASADO DE LAS BOTELLAS RETORNABLES

Con el diagnóstico se busca recoger y analizar datos para evaluar el problema existente, para ello se hace uso de diferentes herramientas para llegar a resultados que permitan emprender acciones.

##### 4.1.1 Reconocimiento del proceso de envasado

A fin de familiarizarse con el proceso de envasado, se deben realizar recorridos frecuentes, ya que a partir de las observaciones directas en los trenes se reconocerán las variables que influyen en el rayado de las botellas.

En la figura 4.1 se observa el diagrama de flujo del proceso de envasado, el cual comienza con la recepción de las botellas vacías, también conocidas como vacíos. Las mismas vienen agrupadas en paletas, que contienen 72 cajas, en arreglo de 9x8, tal como se muestra en la figura 4.2. Las paletas son llevadas desde el camión por un montacargas hasta la entrada de la depaletizadora.

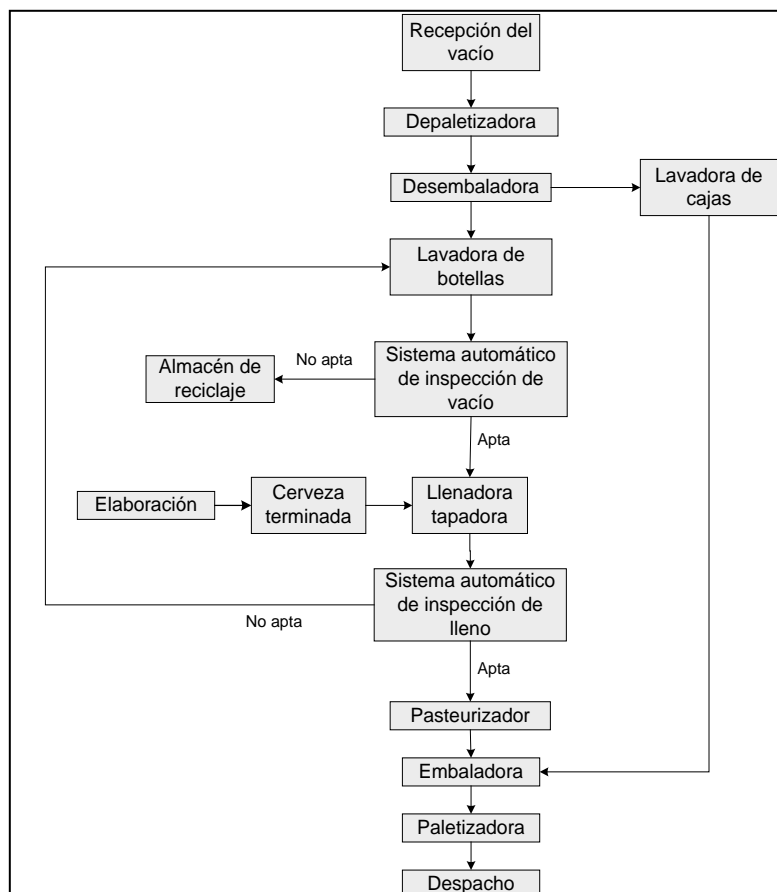


Figura 4.1. Diagrama de flujo del proceso de envasado



La depaletizadora es un robot que desmantela el arreglo de las paletas, con la finalidad que a la línea sólo entren las cajas individuales. La depaletizadora posee un conjunto de sensores, los cuales al detectar cualquier anomalía -cajas mal alineadas, acumulación de cajas a la salida del equipo- hacen que el robot se detenga.

Al salir de la depaletizadora, las cajas se mueven a lo largo de cadenas transportadoras, las cuales están hechas de acero inoxidable AISI 316, este tipo de acero es utilizado debido a las condiciones de trabajo de las vías -cajas y botellas mojadas y sucias, presencia de lubricante con alto contenido de agua-, por lo que se necesita resistencia a las picaduras. Las cadenas son movidas mediante motores 1,5hp. Las cajas llegan a la desembaladora, el cual es un equipo que cuenta con una serie de cabezales, pueden ser 7 ó 8, que trabajan para retirar las botellas de las cajas. Los cabezales presentan 36 dispositivos, los cuales succionan las botellas a través de una presión de vacío. Las cajas son dirigidas hacia la lavadora de cajas, la cual trabaja con una solución limpiadora con soda cáustica en una concentración de 0,5%, siendo ésta inyectada a alta presión para remover la mayor cantidad de sucio de las cajas.



Figura 4.2. Forma de distribución de cajas en una paleta

Las botellas que salen de la desembaladora son dirigidas hacia la lavadora de botellas, mediante cadenas transportadoras, las cuales presentan anchos y velocidades distintas, así mismo existen muchos cambios de dirección. Las vías cuentan con sensores en los costados, los cuales detectan las variaciones de la presión entre las botellas, si ésta es alta se reduce la velocidad hasta detenerse, y en algunos casos la desembaladora también se detiene, porque no hay movimiento en la línea y por lo tanto no se puede seguir introduciendo botellas en ella.

Las botellas, en el camino a la lavadora, están en constante contacto debido a que existen ocasiones en que las vías siguen andando aunque exista una parada,



provocando que la presión entre las botellas aumente y que la abrasión sea mayor entre ellas. Así mismo, la abrasión aumenta debido a que las botellas presentan sucio en su exterior a esta altura del proceso.

Las botellas son introducidas mediante golpes a los bolsillos de la lavadora, los cuales están alineados formando una cesta. Las cestas pueden contener 48 bolsillos si la lavadora es Barry- Wehmiller ó 74 bolsillos si la lavadora es Krones. En las lavadoras Krones existen 5 tanques de soda con la misma cantidad de inyecciones, mientras que las Barry- Wehmiller presentan 7 tanques de soda con 2 inyecciones, las cuales se realizan entre los tanques 4 y 6.

En las lavadoras Krones el proceso comienza cuando las botellas pasan por el tanque de pre- enjuague, el cual se realiza con agua recirculada a aproximadamente 45° C, este lavado tiene la función de remover el sucio suelto, así mismo atemperar las botellas y evitar que sufran roturas en las etapas siguientes. Seguidamente, las botellas pasan por el primer lavado con soda cáustica, la cual presenta una concentración aproximada entre 2,2 y 2,8%  $P/p$  y se encuentra a una temperatura entre 57 y 63° C. Este lavado se hace a través de inyectoros Power Jet, que impulsan la soda a una presión entre 1 y 2 Bar.

Después de la primera inyección, las botellas pasan al primer tanque de soda, el cual presenta una capacidad de 52m<sup>3</sup>, donde son sumergidas por unos 4 minutos y son drenadas para pasar a la segunda inyección e inmersión en la solución limpiadora, la cual presenta una concentración de soda entre 2,2 y 2,8%  $P/p$  y una temperatura entre 74 y 80° C. El segundo tanque de soda presenta una capacidad de 82m<sup>3</sup>. La temperatura es mayor ya que ayuda a eliminar el sucio que se encuentra más adherido en el interior de la botella, además de eliminar bacterias y organismos patógenos. La tercera y cuarta inyección e inmersión en los tanques de soda se llevan a cabo bajo las mismas condiciones que existen en el caso del segundo lavado. La capacidad de los tanques 3 y 4 es de 82m<sup>3</sup>. En la quinta inyección la concentración de soda se encuentra entre 1,7 y 2,3%  $P/p$  y presenta una temperatura entre 64 y 70° C. La capacidad del quinto tanque de soda es de 52m<sup>3</sup>. La concentración ha disminuido ya que se trata del último lavado con soda y tiene como fin eliminar cualquier vestigio de sucio que pudiera quedar en la botella.

Posteriormente, se procede a realizar el enjuague con agua recirculada, a una temperatura de aproximadamente 60° C. Este enjuague se realiza con la finalidad de remover los residuos de soda que traen las botellas. La última etapa del lavado es un enjuague con agua suave, a una temperatura de 45° C. Este lavado tiene como



finalidad remover cualquier remanente de soda que pueda quedar en la botella, haciéndola apta de esta forma para el llenado. Se observa que la temperatura va disminuyendo desde el último lavado con soda. Esto tiene como finalidad atemperar las botellas, que no presenten ninguna rotura al momento de salir de la lavadora.

La forma de lavado de las Barry- Wehmiller es parecida a la de las Krones, la diferencia radica en que las concentraciones de soda, las temperaturas y la cantidad de inyecciones de solución limpiadora varían. En el primer tanque de solución limpiadora la concentración de soda está entre 0,4 y 1%  $P/p$  y presenta una temperatura entre 55 y 65° C. La capacidad de este tanque es de 15m<sup>3</sup>. El segundo tanque presenta la misma capacidad que el primero y presenta una concentración de soda entre 2,2 y 3%  $P/p$ , pero la temperatura se encuentra entre 72 y 82° C. El tercer tanque presenta la misma capacidad, concentración de soda y temperatura que el segundo. El cuarto tanque es doble, presenta una capacidad de 35m<sup>3</sup>, una concentración de soda que está entre 2,2 y 2,8%  $P/p$  y una temperatura entre 72 y 82° C. En este tanque se encuentra la primera inyección de soda, a una presión de 1,72 Bar.

El quinto tanque presenta una capacidad de 15m<sup>3</sup>, tiene una temperatura y concentración de soda igual que en el cuarto tanque. El sexto tanque es doble, presenta una capacidad de 40m<sup>3</sup>, una concentración de soda entre 1,7 y 2,3%  $P/p$  y una temperatura aproximada de 60° C. En este tanque se lleva a cabo la segunda inyección de soda a las botellas. El séptimo tanque de solución limpiadora presenta una capacidad de 15m<sup>3</sup>, una concentración de soda no mayor a 1,5%  $P/p$  y una temperatura de aproximadamente 55° C.

Posteriormente, se lleva a cabo un enjuague con agua recirculada a aproximadamente 50° C, esto tiene como finalidad remover los residuos de soda que quedan en las botellas. El último enjuague se realiza con agua suave a aproximadamente 45° C.

La forma en que la inyección se lleva a cabo afecta la eficiencia del lavado, es por eso que deben combinarse la inyección con el llenado y vaciado de las botellas en los tanques, denominándose este último “Efecto Dupress”. Es por ello que en las lavadoras Krones se tienen menos tanques, ya que su inyección es más efectiva. Mientras que, en las Barry- Wehmiller, ya que su inyección es menos efectiva, presentan más tanques para lograr una eficiencia de lavado alta.

La variable de calidad que se controla a la salida de la lavadora es la alcalinidad residual en las botellas, no deben existir rastros de soda cáustica en las botellas ya que afectaría el sabor de la cerveza. Cuando esto ocurre se deben apartar cierta cantidad



de paletas del producto (depende del tren) para degustación por parte de los maestros cerveceros, ellos decidirán si el producto saldrá a la calle.

Al salir de la lavadora, las botellas son conducidas a través de cadenas transportadoras hasta bifurcaciones, donde las botellas son dirigidas hacia los sistemas automáticos de inspección de vacío, también llamados Linatronic. Los Linatronic funcionan de la siguiente manera: primeramente toman una foto de la botella, la voltean y toman otra foto. El Linatronic compara las imágenes tomadas con las que tiene configurado, según el producto que esté corriendo. Si el Linatronic detecta alguna diferencia rechaza la botella. Cada Linatronic presenta una velocidad promedio de 900 botellas por minuto. Se observa que a lo largo del camino las botellas están en constante contacto, las mismas giran y chocan entre sí, evidenciándose que esto causa que las botellas salgan de la línea y se rompan. Dependiendo del tren la cantidad de Linatronic varían. En el caso del tren 10 hay tres Linatronic, mientras que en el tren 8 hay sólo dos.

En la vía hacia los Linatronic se observan muchos lectores ópticos, cuya función es regular la velocidad de las vías a partir de la cantidad de botellas que registra. Si no detecta botellas inmediatamente la vía se detiene.

Las botellas aptas son dirigidas hacia las llenadoras, mediante el uso de uniones y bifurcaciones. En ambos se observa que existen altas presiones entre las botellas. En todos los trenes se observa la presencia de dos llenadoras. En cuyo camino existen gran cantidad de lectores ópticos reguladores de la velocidad de la llenadora.

En el caso del tren 8, cada llenadora presenta 88 válvulas de llenado, mientras que en el tren 10 cada llenadora presenta 130 válvulas de llenado.

El principio de funcionamiento es el mismo sin importar la cantidad de válvulas de llenado. El proceso de llenado comienza con la pre- evacuación del aire (vacío), la cual ocurre por el accionamiento de la válvula de vacío, y tiene como finalidad remover el aire para evitar la contaminación por  $O_2$ . Posteriormente, se produce la inyección de  $CO_2$ , la cual ocurre por el accionamiento de la válvula de mariposa, la cual abre la aguja y permite la entrada de  $CO_2$  desde el calderín hasta la botella vía tubo de inyección, y tiene como finalidad igualar presiones, para permitir el llenado por gravedad.

La igualación de presiones permite la apertura de la válvula de líquido, el  $CO_2$  resulta desplazado. Cuando el nivel de líquido toca el tubo inyector, la constante de resistencia (k) del resorte permite el cierre progresivo de la válvula. El siguiente paso consiste en la descompresión, la cual ocurre por el accionamiento de la válvula de vacío,

y tiene como objetivo la igualación de presiones entre el envase y el ambiente y evitar de esta forma el espumeo.

Posteriormente, se produce la inyección de agua a alta presión (HDE), a fin de disminuir el espumeo y remover el aire remanente en la botella, para luego pasar al tapado.

La llenadora es el equipo que presenta mayor seguimiento de sus variables de calidad, esto debido a que las propiedades organolépticas de la cerveza dependen del correcto funcionamiento del equipo. La cantidad de oxígeno que presenta la cerveza es la variable más controlada, ya que cuando está fuera de los límites superiores la cerveza se oxida más rápido, el límite máximo del oxígeno disuelto en la cerveza es 40 ppb, el oxígeno total depende del tipo de envase que se utilice, ya que en cada uno la cantidad de espacio libre entre la superficie del líquido y la tapa es diferente, el límite máximo del oxígeno total es 150 ppb, cuando el valor es mayor a éste, se apartan cierta cantidad de paletas de producto (depende del tren) y se destruyen.

La cantidad de  $\text{CO}_2$  es la responsable del espumeo de la cerveza, la misma es controlada en valores máximos y mínimos, si la cantidad está por encima del valor superior provoca que el espumeo sea muy alto y que el volumen de cerveza sea mayor, por el contrario, si la cantidad está por debajo del límite inferior quiere decir que no hay suficiente espuma, de igual forma el volumen de cerveza es menor y lo más probable es que la cantidad de oxígeno sea mayor. El límite superior de la cantidad de  $\text{CO}_2$  en la cerveza es de 2,75%  $\text{v/v}$ , el límite inferior es de 2,45%  $\text{v/v}$ .

El volumen de líquido depende de la llenadora, ya que si los inyectores presentan la altura incorrecta entonces el volumen de llenado es incorrecto. Además de afectar la apariencia visual del producto, resulta perjudicada la cantidad de oxígeno y  $\text{CO}_2$  presente en el producto (ver figura 4.2). Cuando existe sub-lleno hay mayor cantidad de oxígeno y poca cantidad de  $\text{CO}_2$ , mientras que si hay sobre-lleno la cantidad de oxígeno es menor pero la cantidad de  $\text{CO}_2$  es mayor. El volumen debe encontrarse entre 221 mL y 223 mL en el caso de la botella de Ice 222 mL.

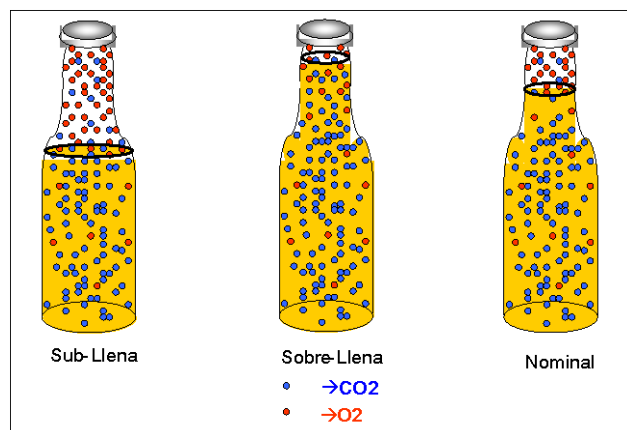


Figura 4.3 Distribución de las moléculas de  $\text{CO}_2$  y  $\text{O}_2$  en las botellas con diferentes volúmenes de llenado



Las botellas, al salir de la llenadora, son conducidas hacia el pasteurizador. El cual está formado por 2 pisos y trabaja bajo una combinación entre el tiempo de residencia y la temperatura. Mediante el uso de duchas de agua a lo largo del pasteurizador se logra aumentar la temperatura. A medida que las botellas avanzan la temperatura alcanza un máximo (60° C), la cual es la temperatura de pasteurización. Después de este punto la temperatura de las duchas comienza a disminuir gradualmente. La forma de determinar si la pasteurización se llevó de forma adecuada es midiendo los niveles de UP (Unidades de Pasteurización), las cuales deben encontrarse entre 8 y 14 para decir que la pasteurización fue conforme. El tiempo de pasteurización puede variar según el tren en que se trabaje. En el caso del tren 8 es de aproximadamente 40 minutos, mientras que en el tren 10 puede ser entre 30 y 35 minutos.

Las botellas al salir del pasteurizador son dirigidas hacia las embaladoras, los cuales son los aparatos encargados de introducir las botellas dentro de las cajas provenientes de la lavadora de cajas. El principio de funcionamiento es el inverso del que ocurre en la desembaladora. Las botellas son succionadas de las cadenas transportadoras, por cabezales que presentan 36 chupones.

Las cajas con las botellas llenas son transportadas hasta la paletizadora, la cual es un robot que se encarga de ordenar las cajas en paletas. El proceso que ocurre es el inverso al de la depaletizadora.

Al formarse la paleta, las mismas son agrupadas en una sección del patio, identificándose la fecha de vencimiento del lote.

#### **4.1.2 Selección de los trenes de trabajo**

A fin de que la investigación resulte lo más representativa posible, se deben seleccionar los trenes que cumplan con todas las características distintivas que puedan tener cada uno de los trenes de envasado.

La planta San Joaquín cuenta actualmente con 12 trenes de envasado, y como no se puede trabajar con todos se tienen varios criterios de selección, con la finalidad de escoger los trenes más particulares, en cuanto al estudio a realizar se refiere. Según el tiempo de uso se desea estudiar el efecto que tiene sobre el rayado el trabajar en un tren nuevo, el cual presenta una tecnología Krones, donde la mayoría de los controles son digitalizados y presentan un tiempo de uso no mayor a 8 años; y en un tren viejo, el cual presenta una tecnología Barry- Wehmiller, la mayoría de los controles son manuales y presentan un tiempo de uso mayor a 20 años. En este caso se tiene que los



trenes nuevos de la planta son los trenes 1, 2, 3, 7, 10, 11 y 12; mientras que los viejos son los trenes 4, 5, 6, 8 y 9.

En cuanto a las condiciones mecánicas se tiene que los trenes nuevos son los que presentan mejor condición, ya que requieren menos jornadas de mantenimiento que los trenes viejos.

En lo referente al tipo de lavadora se tiene que existen dos marcas: Krones y Barry- Wehmiller, aunque ambas presentan el mismo objetivo, lavar las botellas, lo realizan de forma diferente, de esta forma se pretende determinar si el rayado es afectado por el tipo de lavadora que se encuentre presente en el tren. Los trenes 6, 8 y 9 cuentan con lavadoras Barry- Wehmiller, mientras que los trenes 7, 10, 11 y 12 tienen lavadoras Krones.

El criterio más importante radica en el tipo de producto que procesa el tren, ya que si procesa un producto que no concuerda con el que se está utilizando en la investigación no se tendrían unos datos realistas. Se escogió trabajar con Ice 222 mL debido a que es el producto con mayor demanda de la empresa, así que es el que presenta mayor producción. En cuanto a esto se tiene que los trenes 1, 2, 3, 4 y 5 trabajan con productos no retornables, los trenes 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12 trabajan con productos retornables. De estos últimos se tiene que el tren 6 trabaja con botellas 330 mL, el tren 9 trabaja con maltín, mientras que el tren 12 está aún en arranque y estudios preliminares porque tiene poco tiempo de instalado.

En este caso se tienen los trenes 7, 8, 10 y 11. El tren 8 se estudiará ya que es el único de éstos que trabaja con Ice 222 mL casi siempre, presenta una lavadora Barry- Wehmiller y es un tren viejo. El tren 7 trabaja con Light 222 mL la mayor parte del tiempo, el tren 11 trabaja con Ice 222 mL, al igual que el tren 10, pero este último presenta la particularidad que también trabaja en ocasiones con Solera Light 222 mL, haciéndolo un buen objeto para el estudio, ya que la solución limpiadora presente en la lavadora puede contener cantidades de sólidos distintas a las de otras lavadoras.

Se eligieron los trenes 8 y 10 como trenes de estudio, ya que presentan todos los elementos que se quieren estudiar en esta investigación.

#### **4.1.3 Identificación de las variables en el proceso de envasado de cerveza**

Después de efectuar el reconocimiento, se llevaron a cabo distintas pruebas para identificar las distintas variables que están presentes en el proceso de envasado, las cuales permitieron a su vez seleccionar las variables a estudiar.

#### 4.1.3.1 Botellas desechadas por la Linatronic

El 29/03/2006, primeramente, se tomaron muestras de botellas rechazadas por la Linatronic, para identificar las razones por las cuales fueron descartadas, así como para tomar el nivel de rayado con que fueron rechazadas. Los trenes estudiados fueron aquellos que trabajan con Polar Ice 222 mL, los mismos son el 7, 8, 10 y 11. Se tomaron 72 botellas de cada Linatronic (2 cajas). En los trenes 7, 10 y 11 hay 3 Linatronic, en el tren 8 hay sólo 2. Durante la toma de muestras se descartaron las botellas extrañas, es decir, aquellas que eran rechazadas y no eran de Ice. Todas las muestras fueron tomadas en el primer turno, aproximadamente entre las 8 y las 10 de la mañana.

Se tomaron los valores de las botellas que pasaban por el inspector, tanto el total como las que resultaban rechazadas, observándose en la tabla 4.1 dichos valores.

**Tabla 4.1. Recopilación total en la toma de muestras del Linatronic**

Tren	Totales			Eliminadas			Tomadas
	Antes	Después	Diferencia	Antes	Después	Diferencia	
7	852.811	861.327	8.816	29.146	29.557	411	215
8	304.454	308.561	4.107	10.206	10.435	229	144
10	147.246	161.899	14.653	3.893	4.184	291	216
11	360.279	372.435	12.156	10.961	11.287	326	216
Total			39.732			1.257	791

En el estudio se comparó el nivel de rayado con el patrón, así mismo se determinó la razón por la cual las botellas habían sido rechazadas, examinando las mismas de manera detallada, obteniéndose que la mayoría de las botellas habían sido descartadas por presentar aún sucio en alguna parte de su superficie, a esta razón le sigue la rotura en el acabado de la botella, luego se encuentra el rayado, posteriormente está la rotura en el fondo de la botella y por último están las botellas tapadas (ver tabla 4.2).

**Tabla 4.2. Porcentaje de defectos presentes en las botellas rechazadas**

Defecto	Cantidad	% de rechazo
Sucio	486	61,441
Acabado	229	28,951
Rayado	51	6,448
Fondo	22	2,781
Tapada	3	0,379





En cuanto a los niveles de rayado encontrados en las botellas rechazadas se tiene que la mayoría de ellas presentaba un rayado aceptable para seguirse utilizando (niveles 1 y 2), mientras que de los niveles superiores (3, 4 y 5) en combinación no alcanzan ni el 15% de aparición (ver tabla 4.3).

**Tabla 4.3. Porcentaje de aparición de los distintos niveles de rayado en las botellas rechazadas**

Nivel	Cantidad	% de rayado
1	447	56,510
2	245	30,973
3	44	5,563
4	25	3,161
5	30	3,793

El porcentaje respecto al total muestreado indica que 1,22% de las botellas fueron rechazadas por sucio mientras que el 0,13% fueron rechazadas por rayado (niveles 4 y 5). Así mismo, se tiene que un 1,74% de las botellas rechazadas que fueron tomadas presentaban niveles de rayado 1 y 2, lo que las hacían aún aptas para el uso, es decir, habían retornado pocas veces a la planta, pero fueron rechazadas por presentar sucio o roturas.

Estos resultados indican que el mayor porcentaje de rechazo en las botellas viene dado por restos de sucio, dependiendo esto de la eficiencia de la lavadora, se tienen restos de sucio en las botellas aún, mientras que se tiene que la mayoría de las botellas rechazadas presentan niveles de rayado aceptables, pero eran inadecuadas para el uso, debido a que presentaban otros defectos (sucio, acabado, fondo, tapadas).

#### **4.1.3.2 Resistencia de las botellas a las pruebas de presión interna y choque térmico**

Todas las botellas usadas en el proceso de envasado están expuestas a gradientes de temperatura, pasando por la lavadora, donde las botellas se encuentran hasta a 80° C, posteriormente a la llenadora, donde las botellas son completadas con cerveza a una temperatura de 3 a 4° C, pasando por último al pasteurizador donde las botellas alcanzan temperaturas de 60° C. Aparte de los gradientes de temperatura, las botellas, al ser llenadas, deben resistir la presión con la que el líquido es bombeado.

Se tomaron muestras de cada uno de los niveles de rayado, para determinar si la exposición a los gradientes de temperatura y a la presión influía de manera negativa en ellas. Sobre 8 botellas de cada uno de los distintos niveles de rayado fueron realizadas

las pruebas, en el caso de la presión interna, las botellas fueron sometidas a una presión de 175 psig, en el caso del choque térmico se sometieron a un gradiente de temperatura de 42° C. Ninguna de las botellas sometidas a ambas pruebas resultaron con roturas, es decir, una botella rayada puede resistir todas las etapas del proceso sin resultar dañada.

#### 4.1.3.3 Eficiencia de las lavadoras de los trenes seleccionados

En la tabla 4.4 se muestran los resultados obtenidos de la evaluación preliminar realizada a los trenes 8 y 10, ésta evaluación constó de 10 muestras en cada tren (botellas impregnadas con sucio estándar), esta cantidad viene dada por la disponibilidad de botellas en el laboratorio, entre las columnas de esta tabla están: botella limpia, peso de la botella antes de impregnar; botella impregnada, peso de la muestra antes de pasar por el proceso de lavado; botella lavada, peso de la botella luego de pasar por el proceso de lavado; por último la eficiencia del lavado.

Se usaron solo 10 botellas debido a que se trataba de una evaluación preliminar, sólo para conocer las condiciones de limpieza de las lavadoras antes de realizar el estudio de rayado, además que la disponibilidad de botellas tipo flint en el laboratorio se encontraba limitada, por lo que 10 botellas en cada tren era lo más indicado.

**Tabla 4.4. Evaluación preliminar de sucio estándar en los trenes 8 y 10**

Tren	Botella	B <sub>limpia</sub> (PLA+0,0001)g	B <sub>impregnada</sub> (PBI+0,0001)g	B <sub>lavada</sub> (PBL+0,0001)g	B <sub>lavada</sub> (PLD+0,0001)g	Eficiencia (E+0,0005)%	Eficiencia promedio (ET+0,0005)%
8	1	205,3585	205,5353	205,3757	205,3642	93,4955	96,7861
	2	196,9388	197,7928	197,5972	197,5890	99,0398	
	3	197,2680	198,1593	197,9236	197,9133	98,8444	
	4	206,7731	206,9606	206,7863	206,7755	94,2400	
	5	204,4996	204,7068	204,5108	204,4997	94,6429	
	6	205,2288	205,4176	205,2450	205,2344	94,3856	
	7	199,6498	200,5400	200,3148	200,3050	98,8991	
	8	198,4722	199,2976	199,1341	199,1259	99,0065	
	9	205,1089	205,2988	205,1224	205,1153	96,2612	
	10	202,8544	203,7559	203,5295	203,5209	99,0460	
10	1	199,0793	199,9033	199,7430	199,7360	99,1505	96,6445
	2	197,5849	198,3626	198,2379	198,2299	98,9713	
	3	196,9024	197,7390	197,5869	197,5524	95,8762	
	4	201,3191	202,1564	201,9897	201,9796	98,7937	
	5	208,7247	208,9029	208,7400	208,7314	95,1740	
	6	205,2850	205,4831	205,3029	205,2919	94,4472	
	7	204,6429	204,8677	204,6590	204,6497	95,8630	
	8	205,5021	205,6764	205,5206	205,5111	94,5496	
	9	204,1714	204,9943	204,8355	204,8169	97,7397	
	10	196,5370	197,3185	197,2150	197,1828	95,8797	



La evaluación preliminar de los trenes fue realizada con el uso de la solución de sucio estándar que utiliza Aseguramiento de la Calidad de Envasado para realizar las determinaciones de la eficiencia del lavado. Según las normas de calidad de la planta la eficiencia de lavado debe ser mínimo de 97,5% sin importar el tipo de lavadora. Los resultados obtenidos en el estudio preliminar reflejaron que ninguno de los dos alcanzó la eficiencia de lavado requerida. Es de notar que la eficiencia individual varió mucho, lo que indica que existen inyectores tapados. Cabe destacar que el valor de eficiencia arrojado no tiene nada que ver con el valor de botellas rechazadas por la Linatronic, aunque puede relacionarse el hecho que al tener una lavadora poco eficiente se tendrán muchas botellas con sucio aún en su interior.

#### 4.1.4 Diagrama causa- efecto

A fin de organizar las distintas variables que puedan afectar el rayado, se utiliza un diagrama causa- efecto, también llamado diagrama de Ishikawa (ver figura 4.4). Seguidamente se describen cada uno de los componentes del diagrama:

##### **Material**

El hecho de cambiar al menos una condición establecida previamente por el proceso, en cuanto a materia prima se refiere, ejerce un fuerte impacto sobre las características que se espera que tenga el proceso, distorsionando inesperadamente la calidad del mismo.

*Botella:* siendo este el material más importante, ya que el problema que se está planteando se presenta en él. El color del vidrio puede afectar el rayado de forma estética. Mientras que la geometría de la botella podría crear ciertas discrepancias en los resultados, esto es, una botella lisa tendría una respuesta diferente al estudio que una botella con relieve, así mismo se encuentra el hecho que los diámetros del talón y el hombro sean diferentes al del cuerpo. El recubrimiento externo afecta el rayado, ya que si el mismo puede retardar la aparición del rayado en la botella. La composición del vidrio puede ser tal que existan diferencias en cuanto a la incidencia del ataque químico.

*Aditivo:* la concentración del aditivo puede afectar la eficiencia del lavado, así como puede afectar el ataque químico de la solución limpiadora sobre la botella.

*Soda:* la concentración de soda afecta la magnitud del ataque químico a la que es sometida la botella, esto es, la concentración es proporcional al desgaste por ataque químico de la botella. Mientras que el tipo de soda podría ser un factor determinante, ya que si la misma es usada, la carga de sólidos, sílice y valores de DQO podrían favorecer la precipitación de sólidos sobre la superficie de las botellas, aumentando la

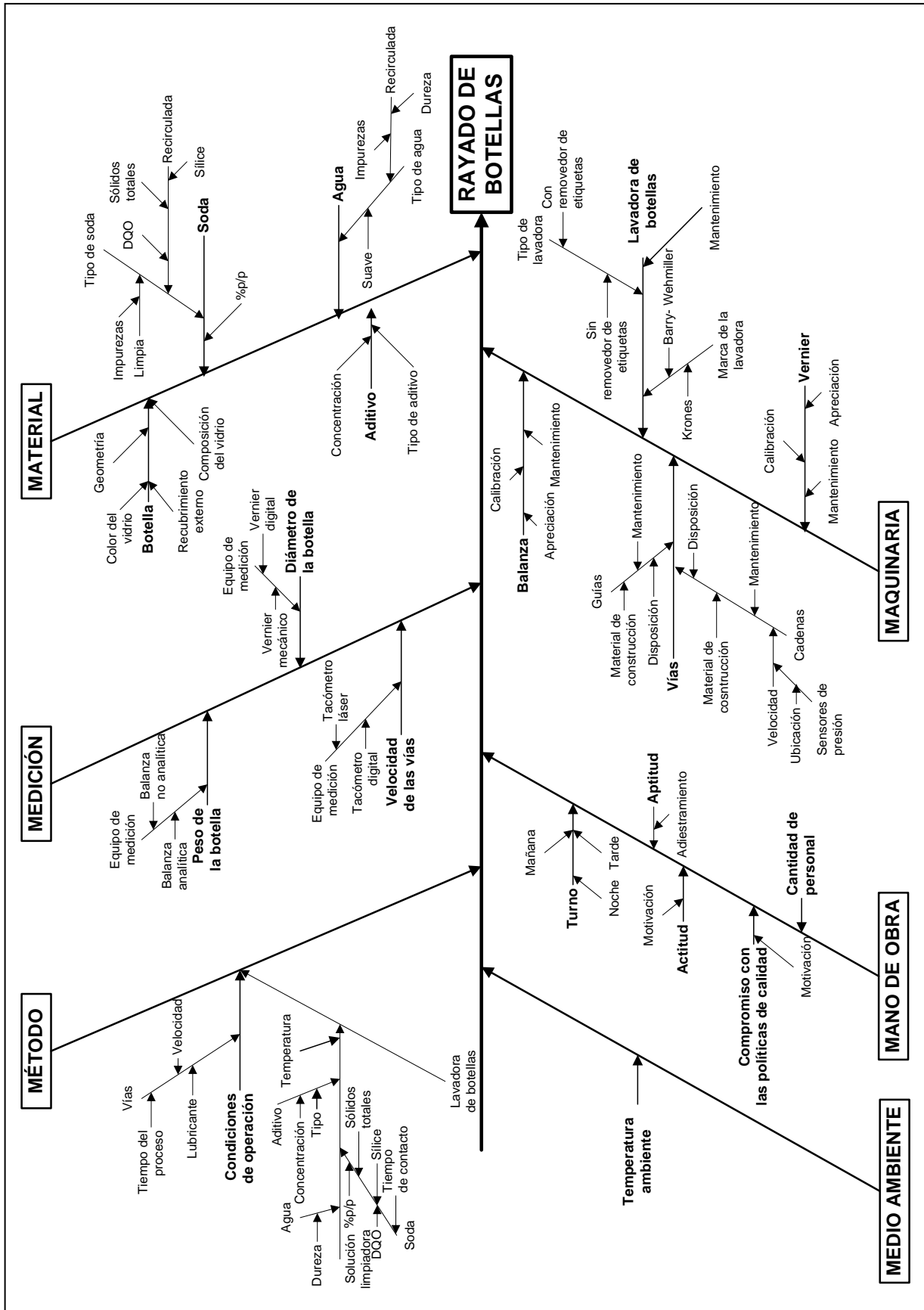


Figura 4.4. Diagrama causa- efecto



abrasión entre las botellas una vez salen de la lavadora. Mientras que si la soda es limpia, sólo podría afectar las posibles impurezas con la que venga de PTAB.

*Agua:* el tipo de agua puede ser factor determinante, ya que el agua recirculada puede tener una dureza e impurezas mayores que podrían favorecer precipitaciones de partículas sobre las botellas, además que esto podría venir del arrastre producido en el proceso, al pasar del lavado con soda al enjuague con agua. El agua suave presenta valores menores de dureza e impurezas al venir directamente de PTAB.

## **Medición**

La medición de los parámetros de calidad y las propiedades físicas y químicas involucradas en el proceso, son primordiales a la hora de observar su incidencia sobre el rayado de botellas.

*Diámetro de la botella:* para ser lo más exacto posible se necesita un instrumento que sea muy sensible, el vernier debe detectar cualquier cambio que haya ocurrido en el diámetro. Se tienen 2 tipos de vernier: uno mecánico, el cual se lee el valor en la escala, y el digital, el cual registra el valor en una pantalla.

*Peso de la botella:* para la determinación de la eficiencia del lavado es muy importante que la balanza a utilizar sea analítica, debido a que la cantidad de sucio que queda en las botellas sin remover, es muy pequeña; para que su cuantificación sea con exactitud y baja dispersión, debe medirse con cuatro cifras significativas.

*Diámetro de la botella:* para ser lo más exacto posible se necesita un instrumento que sea muy sensible, el vernier debe ser lo suficientemente sensible como para detectar cualquier cambio que haya ocurrido en el diámetro. Se tienen 2 tipos de vernier: uno mecánico, el cual se lee el valor en la escala, y el digital, el cual registra el valor en una pantalla. Donde el más recomendable es el digital, ya que es más exacto.

*Peso de la botella:* para la determinación de la eficiencia del lavado es muy importante que la balanza a utilizar sea analítica, debido a que la cantidad de sucio que queda en las botellas sin remover, luego del proceso de lavado, es muy pequeña; para que su cuantificación sea con exactitud y baja dispersión, debe medirse con cuatro cifras significativas.

*Velocidad de las vías:* para la medición de esta variable se usa un tacómetro, el cual puede ser digital o láser. El digital da los resultados en las unidades requeridas (lineales), mientras que el láser solo da en rpm, teniendo que hacerse una transformación, pudiendo esto afectar el resultado.

## Ⓢ Método

Los pasos a seguir y la forma en la que se lleva a cabo el proceso, son factores que influyen directamente sobre el rayado de las botellas.

*Condiciones de operación:* para poder enfrentar cualquier problema que se presente en una línea se debe tener conocimientos de todas las variables que lo influyan. Pero existen algunas que no son manipuladas, lo que puede presentar como problema que no se pueda llevar un seguimiento confiable. En este caso se tiene que estar pendiente de dos sectores:

▣ Vías: las condiciones de operación de las vías son las más importantes, debido a que en ellas es donde las botellas entran en contacto, produciéndose de esta forma el rayado. La variable más influyente en esto es la velocidad. El tiempo del proceso es una variable no controlable ya que puede prolongarse por paradas en los equipos que presenten desperfectos.

▣ Lavadora de botellas: se conoce que el aditivo es una mezcla de compuestos que mejora el poder de detergencia de la soda, sin embargo, su formulación es desconocida. Estudios anteriores han determinado que el tipo y la concentración de aditivo usado afecta el rayado de botellas. Actualmente la concentración del aditivo, utilizada en el proceso, es 5 %v/v. La dureza del agua a usarse puede afectar el rayado al incrementar la precipitación de iones de  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$ , lo que puede afectar la fricción de las botellas. El aumento excesivo de temperatura puede generar el descontrol térmico del proceso, lo que favorecería el rompimiento de las botellas, debido a choques térmicos, y la formación de manchas sobre la misma. La soda es el principal compuesto activo de la solución limpiadora, un aumento excesivo en la concentración de la soda puede arrojar variaciones en la calidad del proceso, ya sea por el ataque agresivo de la soda sobre el vidrio y el logotipo de la botella y/o por la presencia de alcalinidad en la botella, a la descarga del proceso. Si el tiempo de contacto es alto se puede incrementar el ataque de la soda al vidrio. Además, se estudiará si las cantidades de DQO, sílice y sólidos totales afectan el rayado de las botellas.

## Ⓢ Medio ambiente

Los factores ambientales son los principales agentes causantes de factores de ruido en un proceso.

*Temperatura ambiente:* mientras menor sea la temperatura ambiente, mayor será el requerimiento energético para mantener las condiciones de temperatura del proceso.



### Ⓢ Mano de obra

Bajo este renglón, se agruparon aquellas causas imputables al personal involucrado con el proceso.

*Turno:* tanto la hora como el grupo de trabajo, influyen en las mediciones de los parámetros y en el manejo que se le da al proceso. El proceso opera con mayor fluidez en el turno de la noche, a diferencia del día, este en particular tiene gran influencia en el proceso de lavado y puede generar variaciones en el mismo.

*Actitud:* el personal cuenta con mucha motivación, para que su actitud con el entorno sea armoniosa, ésta es de gran importancia, pues eso genera mayor confianza y facilidad en el mismo a la hora de tomar decisiones.

*Aptitud:* el personal cuenta con el adiestramiento suficiente, en cuanto a operaciones, para facilitarle la solución rápida a los problemas diarios que se presentan en el proceso.

*Compromiso con las políticas de calidad:* un grupo altamente motivado, mantiene una mayor atención a las tareas asignadas y vigila el cumplimiento de las especificaciones dadas.

*Cantidad de personal:* en algunas situaciones, en la operación del proceso, la cantidad de personal no es suficiente; por lo cual, se designa momentáneamente a otro personal para realizar determinada tarea, dejando su puesto inicial sólo, por lo que se puede ver afectado el proceso.

### Ⓢ Maquinaria

El perfecto funcionamiento de los equipos y maquinarias involucradas en un proceso, asegura en gran proporción, que se logren los objetivos planteados.

*Balanza y vernier:* estos equipos están involucrados en la determinación del peso perdido y del diámetro final de la botella, por tanto, debe garantizarse que reciban un continuo mantenimiento y calibración, con la finalidad de asegurar que los resultados sean representativos de lo que ocurre en el proceso.

*Vías:* las vías de la línea son lo más importante de la investigación. Dos aspectos de ella deben ser tomados en cuenta: primero, las guías, las cuales están hechas de acero inoxidable con una protección de teflón, las mismas deben estar en buen estado (sin deterioro ni rayaduras) y están dispuestas a lo largo del tren, ya que son las que guían las botellas hacia los equipos. Por último, las cadenas, las cuales están hechas de acero inoxidable, están a lo largo de la línea y su característica más importante es la

velocidad que lleva, la cual está relacionada con la ubicación de los sensores de presión que la regulan.

*Lavadora de botellas:* esta máquina es donde se lleva a cabo el proceso de lavado. De su correcto funcionamiento depende que las condiciones de operación alcancen el requisito necesario para su perfecto desempeño. Aunque todas las lavadoras tienen el mismo principio, cada marca lo lleva a cabo con algunas diferencias (más tanques de inmersión, más inyectores, más bolsillos), estas diferencias pueden influenciar el rayado de botellas. Así mismo, si una lavadora tiene removedor de etiquetas entonces la soda podría presentar mayor cantidad de sólidos que una lavadora que no presente removedor,

pudiendo aumentar la cantidad de sólidos precipitados sobre la botella, y así se incrementa la fricción entre las mismas.

En la figura 4.5 se observa el diagrama causa efecto simplificado, el cual presenta las variables estudiadas:

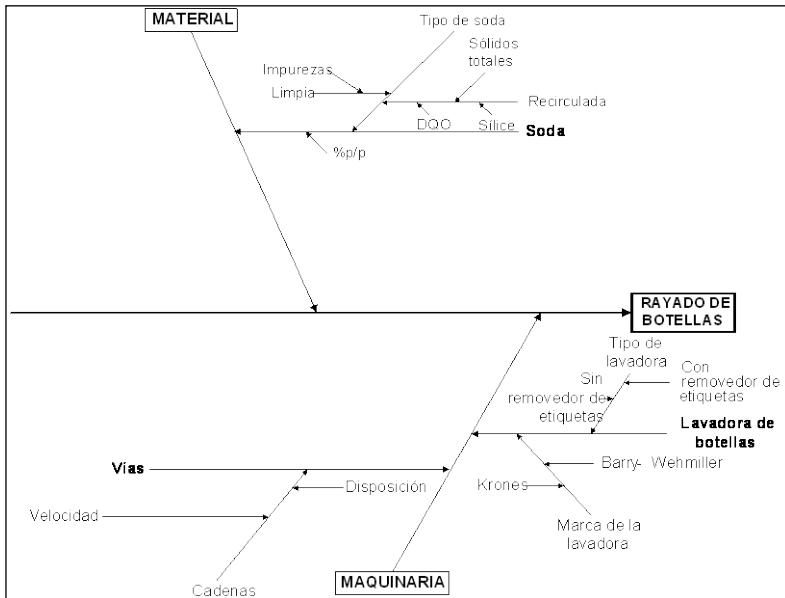


Figura 4.5. Diagrama causa efecto simplificado

## 4.2 EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA VELOCIDAD DE LAS VÍAS Y LA CALIDAD DE LA SOLUCIÓN LIMPIADORA SOBRE LA FORMACIÓN DE RAYADO

A medida que se realizaban los análisis se encontraron distintos factores que no pudieron ser controlados o manipulados, esto debido a que los mismos eran completamente inesperados, y obedecían a decisiones tomadas por la Gerencia de Envasado, entre ellos se encontraba el producto de trabajo, y las paradas programadas del tren, ambos dependen de los planes de producción.

Los dos trenes seleccionados presentan características diferentes entre sí, como lo son: diferencias en el tipo de lavadoras, longitud del tren y el producto con el que trabajan.



### 4.2.1 Calidad de la solución limpiadora

Este es el factor químico estudiado en la lavadora de botellas, sólo se tomó éste debido a que en investigaciones anteriores se estudió el efecto que tiene la concentración de soda, así como la temperatura, el aditivo y el tiempo de inmersión. Estas investigaciones arrojaron que la concentración de soda aumenta el desgaste en las botellas en forma proporcional (De Sousa, 2002), de igual forma ocurre con el tiempo de inmersión (Fra, 2005). En el caso de la temperatura ocurre que al aumentar ésta se incrementan los depósitos de sólidos en la superficie de las botellas (Libretti, 2005), lo que aumenta la abrasividad en las botellas cuando están en contacto entre ellas.

En la Planta San Joaquín, la solución limpiadora de las lavadoras es recuperada para su limpieza en PTAB cada 40 días de uso operativo, lo que provoca que a lo largo del tiempo existan variaciones de cantidad de materia orgánica, sólidos suspendidos y sílice, afectando la eficiencia de la solución y su influencia sobre el deterioro del vidrio y el pirograbado. Cuando la concentración de soda en un tanque baja, al mismo se le suministra soda nueva proveniente directamente de PTAB.

Las muestras eran tomadas a la misma hora (7:00 am) de los días indicados en las fechas.

La figura 4.6 presenta la variación de la concentración de iones oxidrilo ( $\text{OH}^-$ ) e iones carbonato ( $\text{CO}_3^{-2}$ ) en cada tanque de la lavadora del tren 8. Se nota que es un comportamiento cíclico, esto debido a que los tanques 1 y 7 son de agua y presentan poca concentración de soda, lo que produce una oscilación entre los valores obtenidos

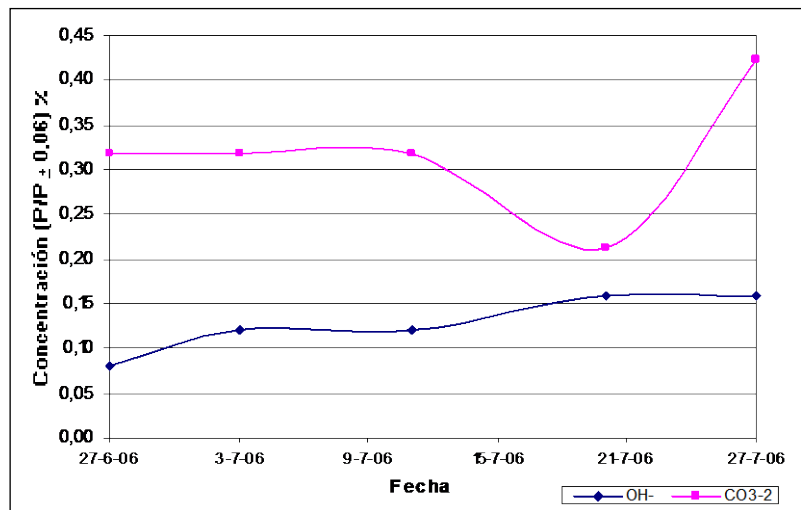


Figura 4.7. Variación de la concentración de iones  $\text{OH}^-$  y  $\text{CO}_3^{-2}$  en el tanque 1 de la lavadora del tren 8

en los tanques de soda (tanques 2 al 6), que presentan concentraciones altas de iones oxidrilo. Se nota que en el tanque 1 (ver figura 4.7) la concentración de iones  $\text{CO}_3^{-2}$  es mayor que la de iones  $\text{OH}^-$ , esto se debe a que se trata principalmente de agua filtrada, donde en el proceso de filtración no son eliminados todos los iones carbonatos.

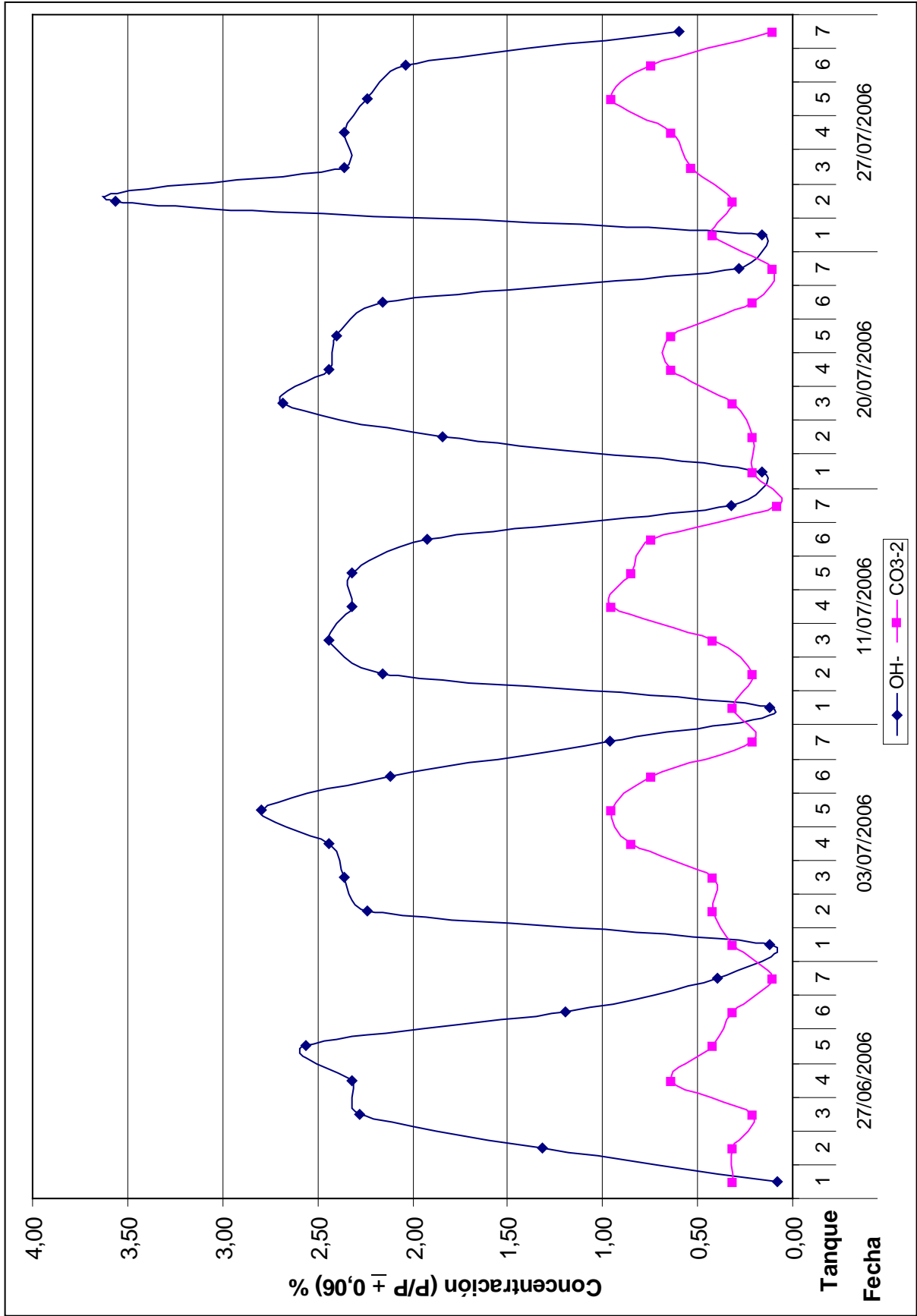


Figura 4.6. Variación de la concentración de iones OH<sup>-</sup> y CO<sub>3</sub><sup>-2</sup> en la lavadora del tren 8

En el tanque 2 (ver figura 4.8) se aprecia que hubo un pico en la concentración de iones  $\text{OH}^-$ , debiéndose éste a un problema con la válvula de suministro de soda nueva al tanque (la misma quedó abierta). La figura 4.9 presenta la variación del resto de los tanques del tren 8. Donde se observa que todos siguen la misma

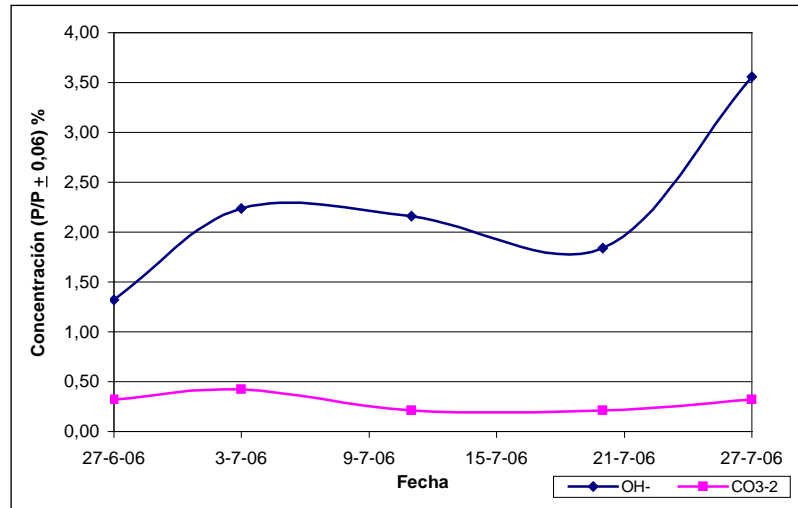


Figura 4.8. Variación de la concentración de iones  $\text{OH}^-$  y  $\text{CO}_3^{-2}$  en el tanque 2 de la lavadora del tren 8

tendencia, se encuentran dentro de un rango, lo que evidencia que presentan un mejor control de la concentración que el resto de los tanques. En el caso del tanque 6, la primera concentración de iones  $\text{OH}^-$  se encuentra en su punto más bajo, pero aún así dentro de norma.

La figura 4.10 presenta la variación de la concentración de iones  $\text{OH}^-$  e iones  $\text{CO}_3^{-2}$  en la lavadora del tren 10. Se nota que es un patrón más regular que el obtenido en el tren 8, ya que los valores oscilan entre 2% y 3%. Se nota que los iones carbonatos presentan relación con los iones oxidrilo, ya que ambos exhiben la misma tendencia.

En el caso del tanque 1 (ver figura 4.11) se advierte que hubo un pico en el último análisis realizado, obteniéndose una concentración de iones oxidrilo de 5,16%, éste valor se debe a una falla de la válvula de suministro de soda nueva al tanque (la misma quedó abierta). La figura 4.12 presenta la variación de la concentración de iones  $\text{OH}^-$  y  $\text{CO}_3^{-2}$  en el resto de los tanques de la lavadora.

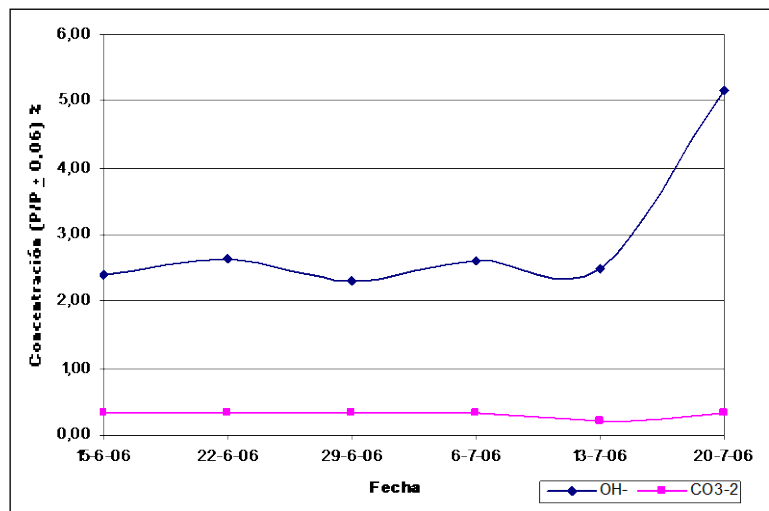


Figura 4.11. Variación de la concentración de iones  $\text{OH}^-$  y  $\text{CO}_3^{-2}$  en el tanque 1 de la lavadora del tren 10

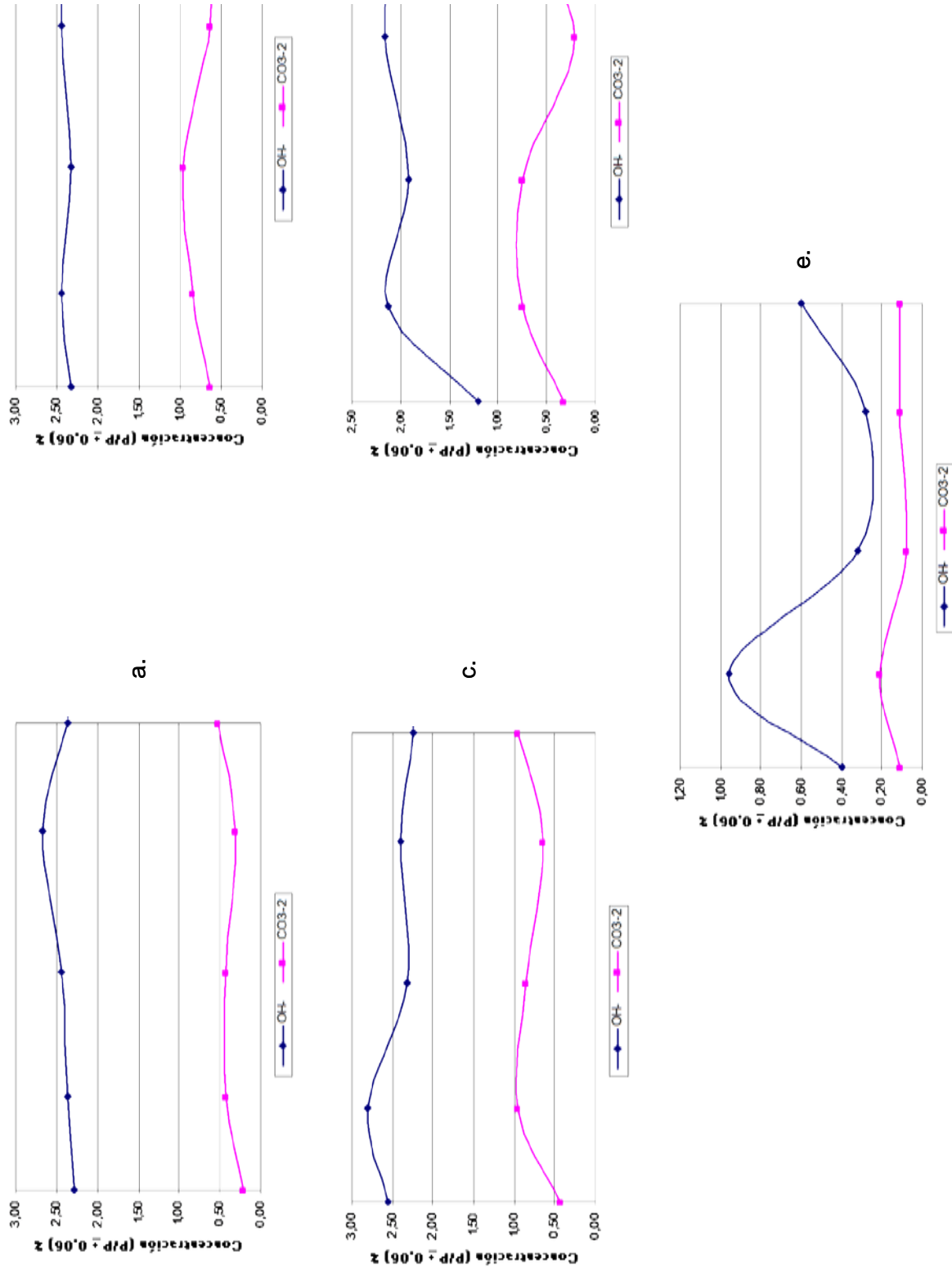


Figura 4.9. Variación de la concentración de iones  $\text{OH}^-$  y  $\text{CO}_3^{2-}$  en los tanques individuales de la lavadora del tren 8 desde 27/06/2006 hasta 27/07/2006. a. Tanque 3 b. Tanque 4 c. Tanque 5 d. Tanque 6 e. Tanque 7

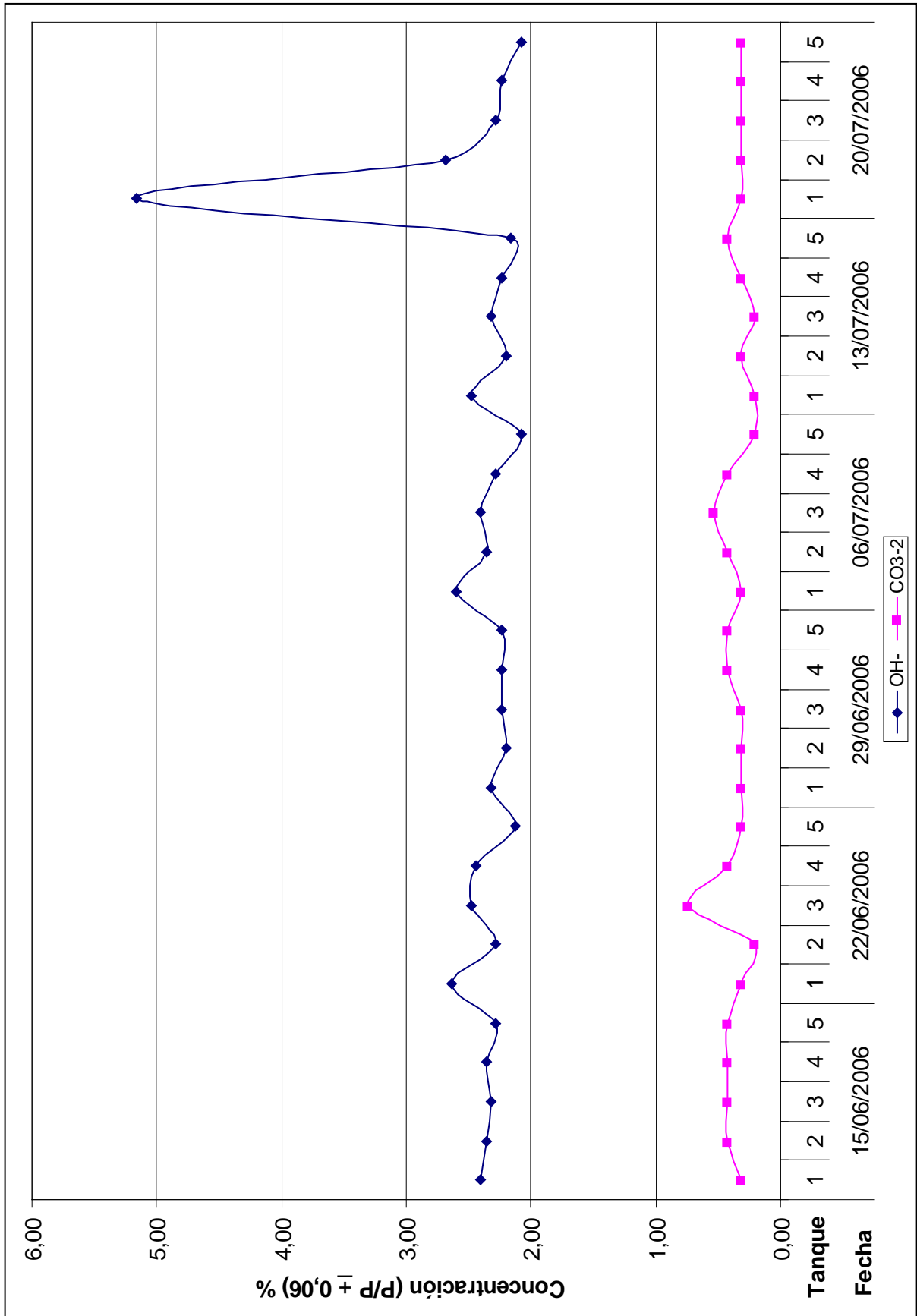
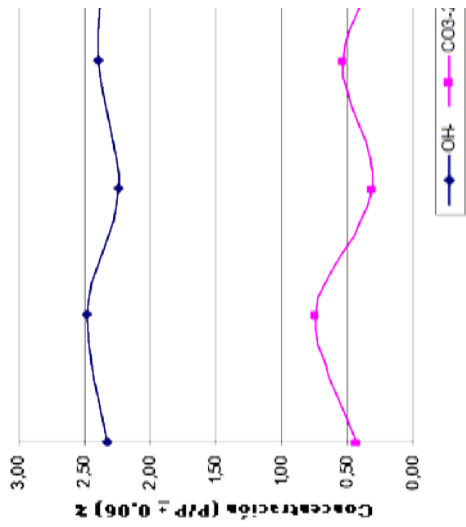
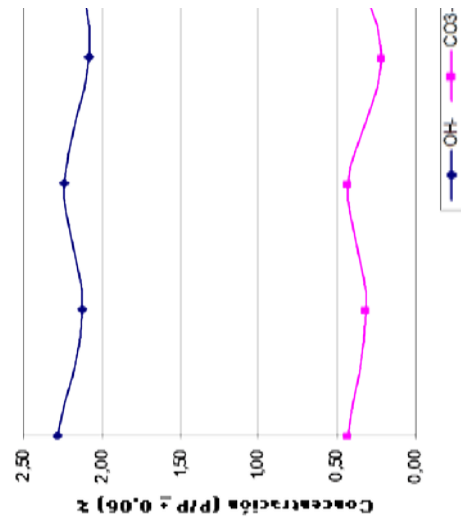


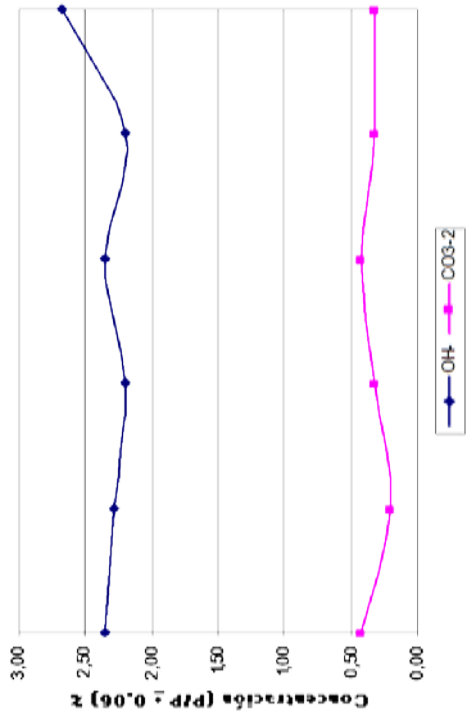
Figura 4.10. Variación de la concentración de iones OH<sup>-</sup> y CO<sub>3</sub><sup>-2</sup> en la lavadora del tren 10



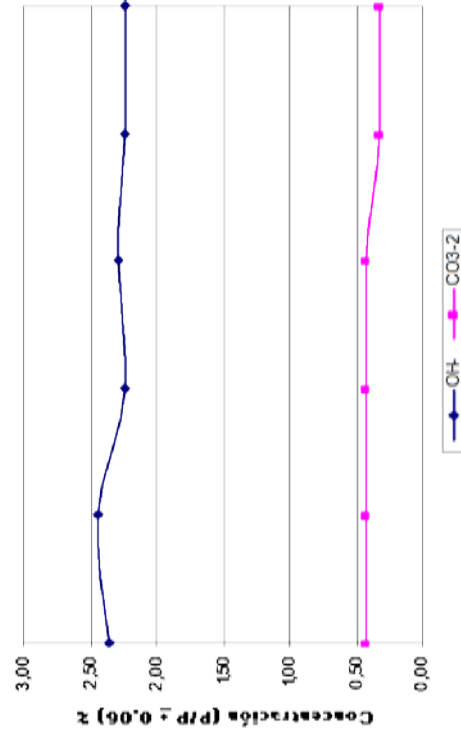
a.



b.



c.



d.

Figura 4.12. Variación de la concentración de iones  $\text{OH}^-$  y  $\text{CO}_3^{2-}$  en los tanques individuales de la lavadora del tren 10 desde 15/06/2006 hasta 20/07/2006. a. Tanque 2 b. Tanque 3 c. Tanque 4 e. Tanque 5

En ella se puede observar que este tren presenta mejor control de la concentración de iones  $\text{OH}^-$  en sus tanques que el tren 8, esto es debido a que presenta una tecnología más moderna en cuanto a la visualización de la concentración, al tener pantallas donde se puede ver la conductancia de cada tanque y relacionarla con la concentración, mientras que en el tren 8 se debe realizar la titulación cada cierto tiempo para saber la concentración.

Los iones carbonatos son indeseables debido a que al unirse con cualquier ión metálico ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ) puede precipitar causando obstrucciones en la lavadora, lo que ocasiona baja eficiencia de lavado y paradas por trancamiento en las cadenas transportadoras del equipo. En todos los tanques se nota que la concentración de iones carbonatos es menor al 1%, pero aún así este valor es considerable si se compara con el hecho que la concentración de iones oxidrilo oscila entre 1,5 y 3%.

Los sólidos provienen del sucio presente en las botellas que vienen de la calle, la figura 4.13 ilustra la variación de la cantidad de sólidos suspendidos totales y volátiles presente en los tanques de la lavadora del tren 8. El comportamiento cíclico se mantiene, de igual forma se observa que la tendencia de los sólidos volátiles es la misma que la de los sólidos suspendidos, lo que indica que la cantidad de materia orgánica incinerable presenta una relación con los sólidos suspendidos de la solución limpiadora, siendo más notable en la representación de cada tanque.

La variación de la cantidad de sólidos depende de distintos factores, entre el que se encuentra la adición de soda nueva al tanque, esto provoca que los componentes de la solución sean diluidos, perturbando los resultados de manera significativa. En el caso de este tren no se toma en cuenta el hecho de usar botellas nuevas o no, ya que no cuenta con el equipo necesario para llevar a cabo esta actividad.

En cada tanque se observan variaciones, teniéndose en que el tanque 1 (ver figura 4.14) la cantidad de sólidos es menor que en los siguientes, esto debido a que al tratarse de un

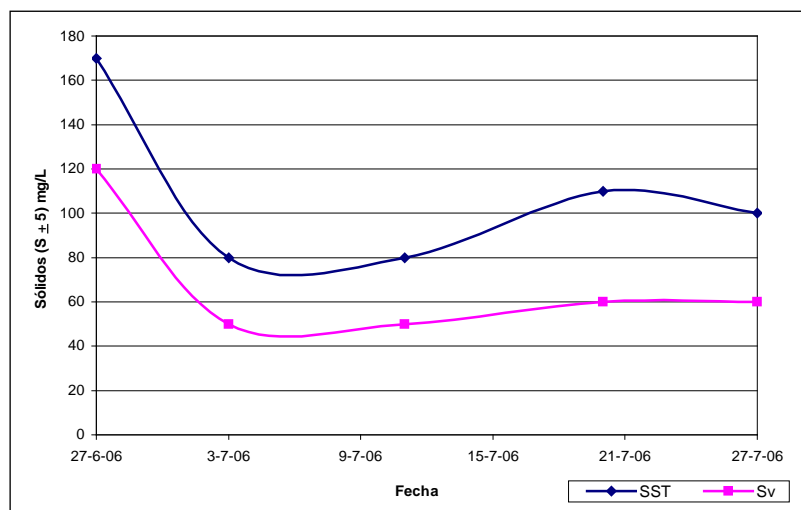


Figura 4.14. Variación de la cantidad de sólidos suspendidos y volátiles en el tanque 1 de la lavadora del tren 8

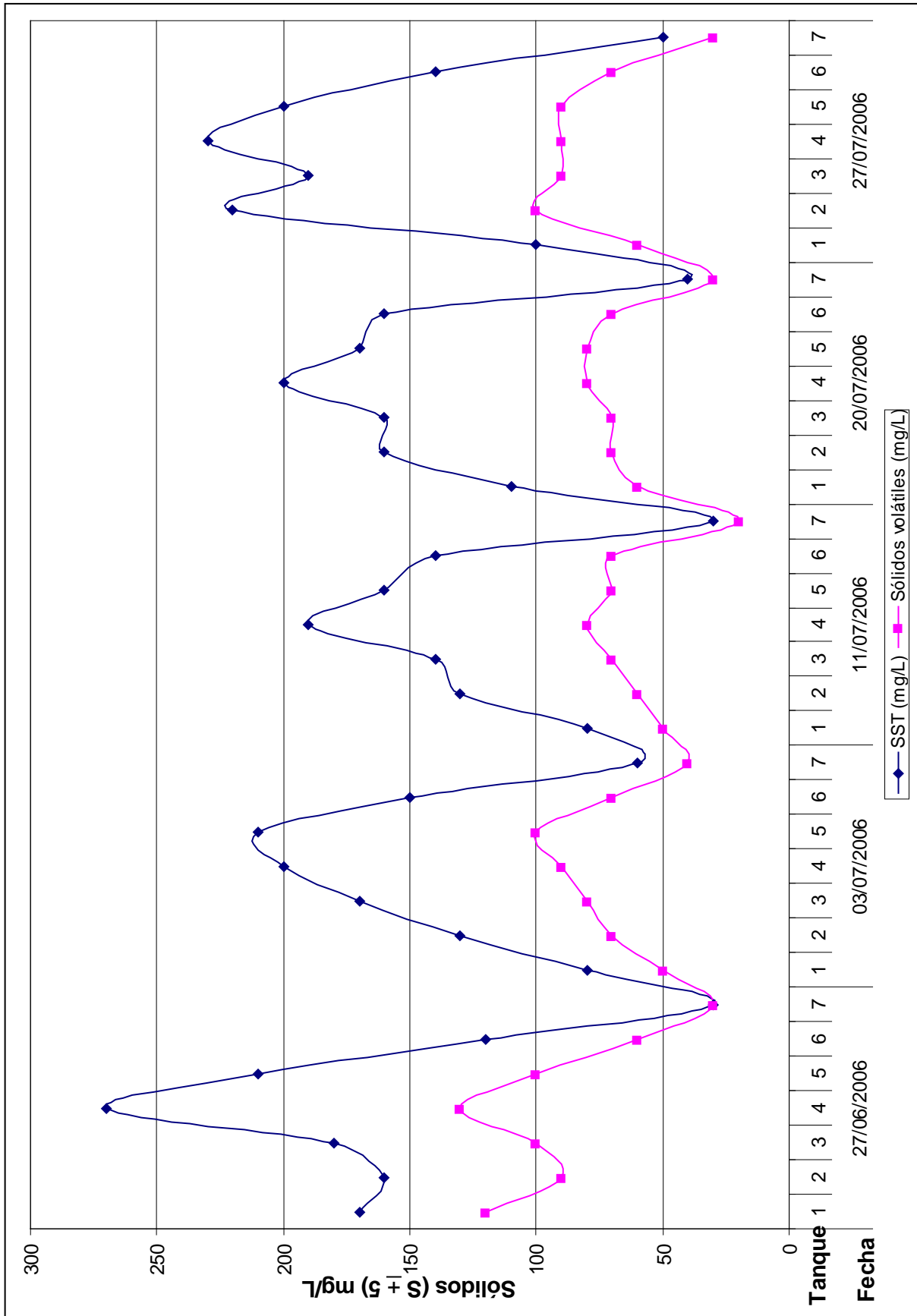


Figura 4.13. Variación de la cantidad de sólidos suspendidos y volátiles presentes en la lavadora del tren 8



tanque de agua sólo remueve el sucio suelto, mientras que los tanques de soda remueven el sólido más adherido a la botella. El tanque 4 (figura 4.15) es el que presenta el contenido más alto de sólidos, debiéndose a que en este se encuentra el primer carro de inyección de soda, lo que indica que el sucio más adherido en el interior de la botella es removido en gran parte en este punto.

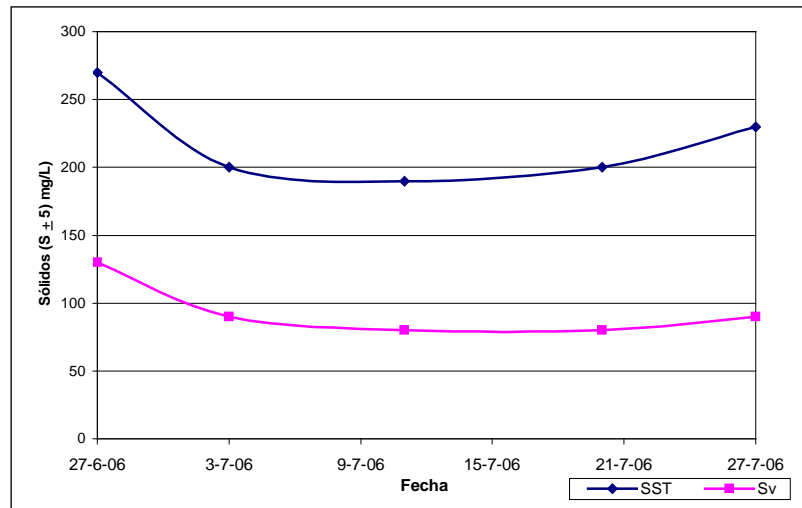


Figura 4.15. Variación de la cantidad de sólidos suspendidos y volátiles en el tanque 4 de la lavadora del tren 8

Es de notarse que en varios tanques no se alcanzan los valores obtenidos en el primer análisis (tanques 1, 4 y 5), esto debido a que esta lavadora no presenta agitación interna, teniendo la tendencia a sedimentar los sólidos. En el caso del resto de los tanques, la variación viene dada por el efecto arrastre que se presenta, ya que desde el tanque 2 se desborda solución limpiadora hacia el tanque 3, siguiendo de la misma manera secuencial hacia el tanque 6.

El tanque 7 es el que presenta menor cantidad de sólidos debido a que se trata del primer tanque de enjuague con agua, por lo que la mayoría de los sólidos se quedaron en los tanques previos. La figura 4.16 presenta el comportamiento del resto de los tanques, donde se observa que la tendencia entre los sólidos volátiles y suspendidos es casi la misma.

En la figura 4.17 se observa la variación de la cantidad de sólidos suspendidos y volátiles en la lavadora del tren 10, notándose que los resultados se encuentran dentro de un rango, entre 150 y 300 mg/L, esto se debe a que esta lavadora presenta agitación interna, lo que hace que los sólidos se mantengan en movimiento. La variación en los resultados viene dada por el hecho que además de trabajar con Ice 222 mL, trabaja también con Solera Light 222 mL, la cual contiene etiquetas, esto hace que la cantidad de sólidos aumente o disminuya dependiendo del producto que esté corriendo, así como del tipo de botella que se está utilizando en el tren, ya que las botellas usadas presentan mayor cantidad de sucio que aquellas que son completamente nuevas. En la figura 4.18 se nota de manera más clara que los sólidos volátiles siguen la misma

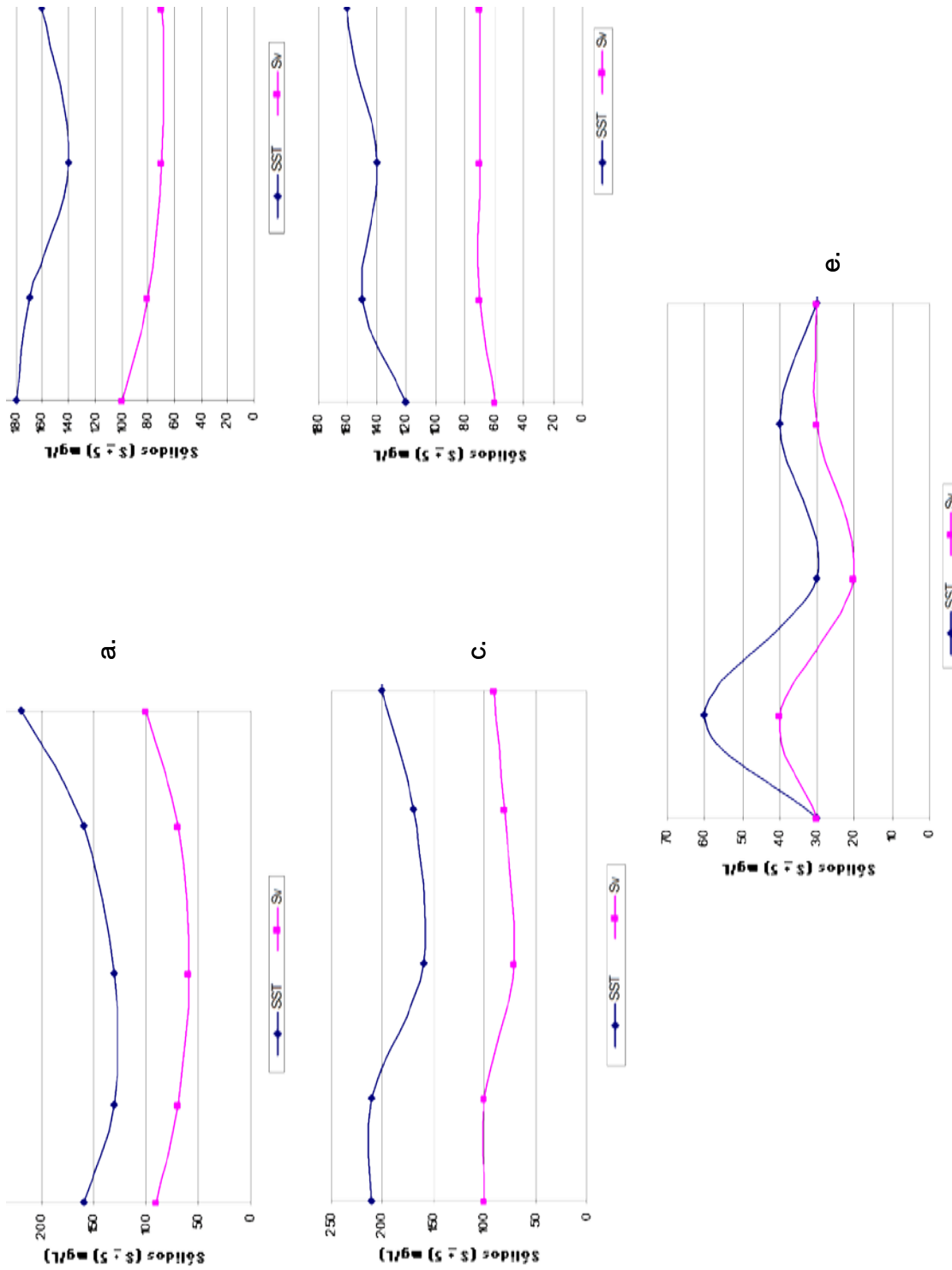


Figura 4.16. Variación de la cantidad de sólidos suspendidos y volátiles en los tanques individuales de la lavadora del tren 8 desde 27/06/2006 hasta 27/07/2006. a Tanque 2 b. Tanque 3 c. Tanque 5 d. Tanque 6 e. Tanque 7

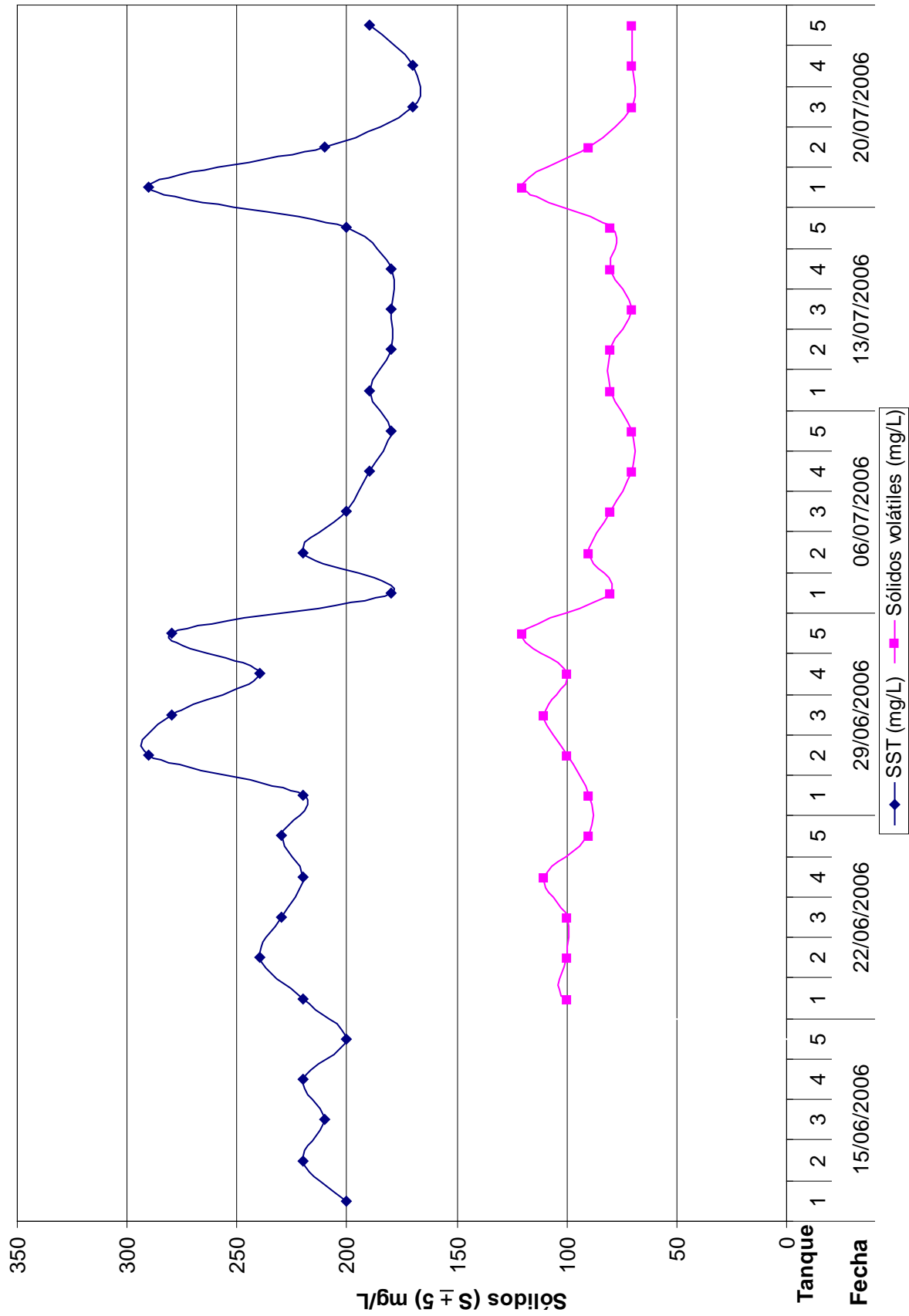


Figura 4.17. Variación de la cantidad de sólidos suspendidos y volátiles en la lavadora del tren 10

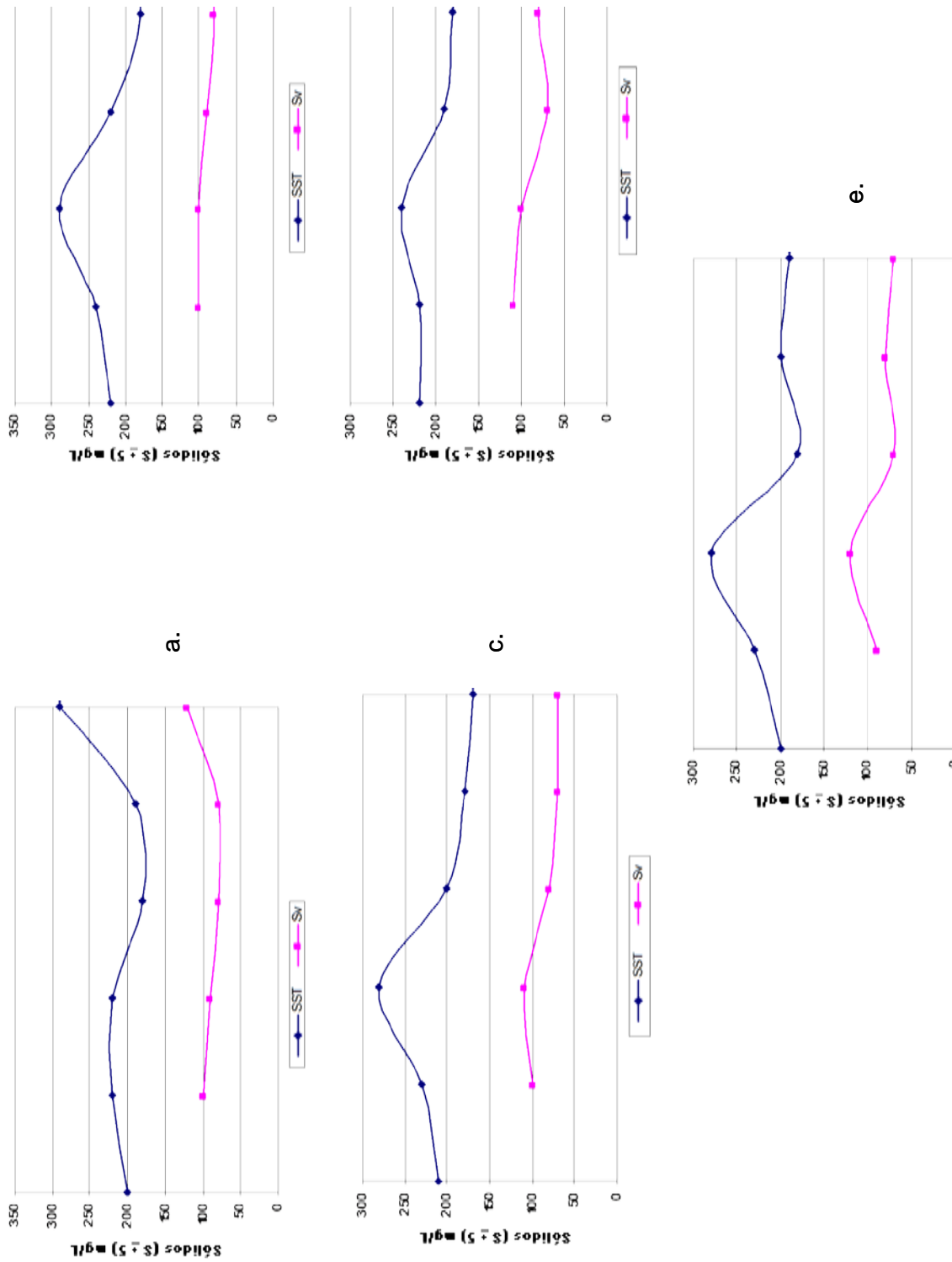


Figura 4.18. Variación de la cantidad de sólidos suspendidos y volátiles en los tanques individuales de la lavadora del tren 10 desde 15/06/2006 hasta 20/07/2006. a. Tanque 1 b. Tanque 2 c. Tanque 3 d. Tanque 4 e. Tanque 5

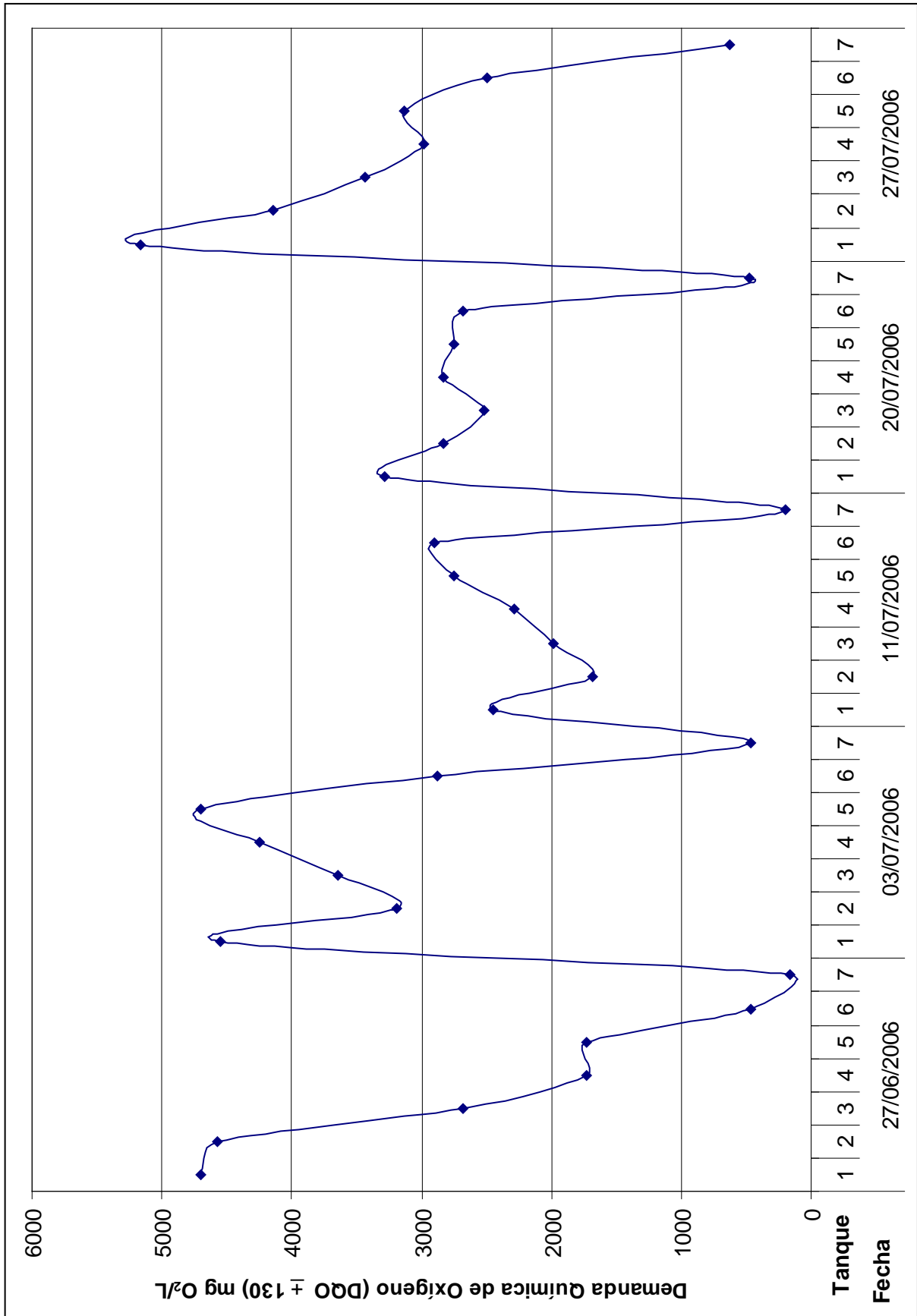
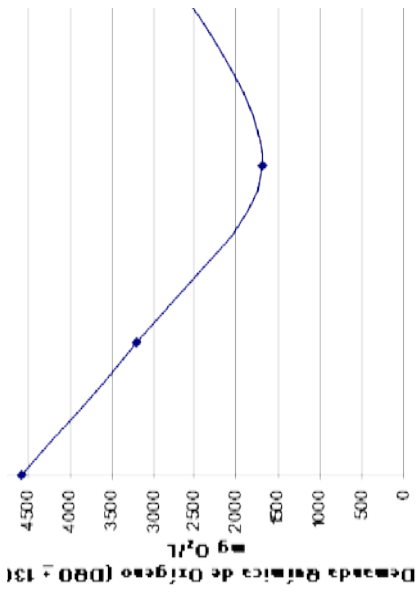
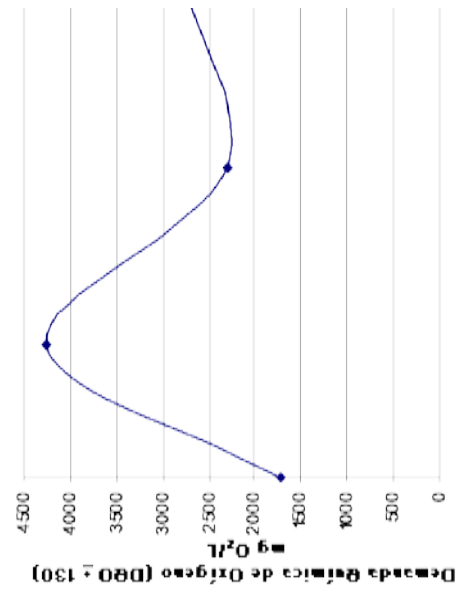


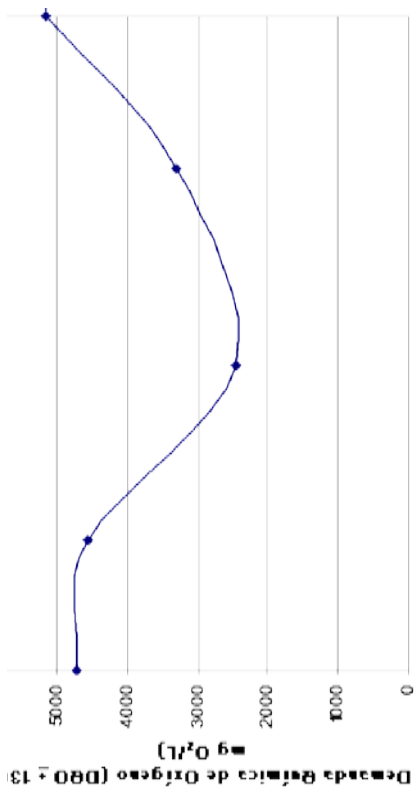
Figura 4.19. Variación de la demanda química de oxígeno en la lavadora del tren 8



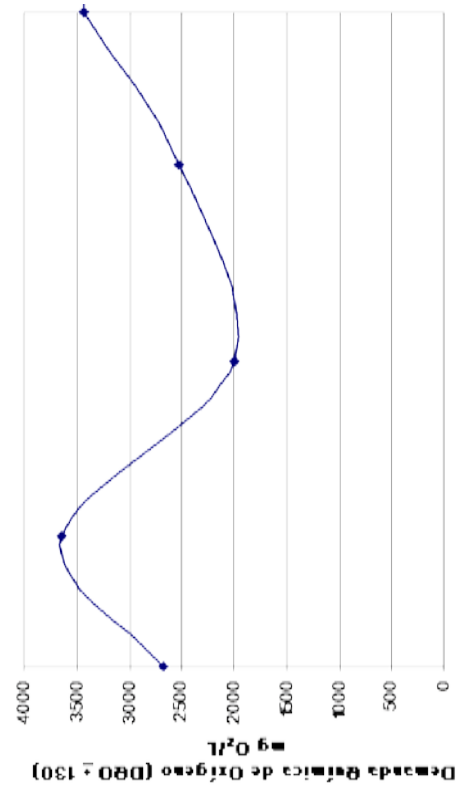
b.



d.

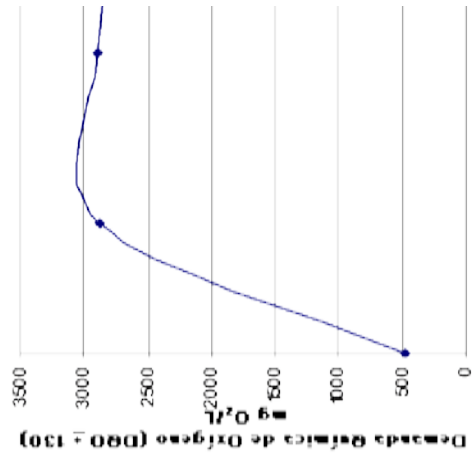


a.

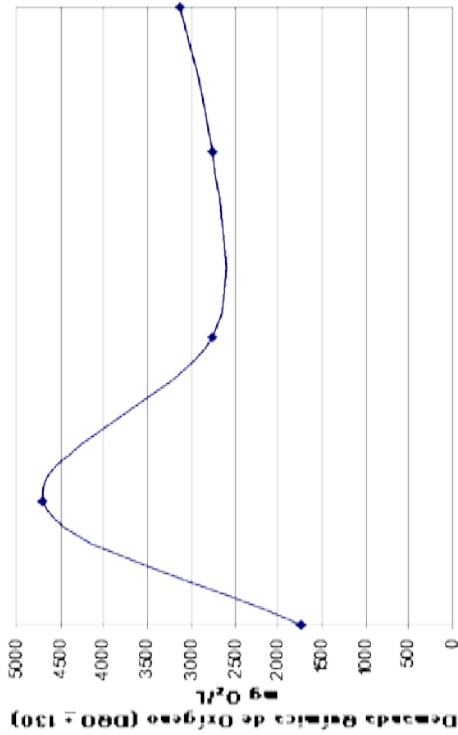


c.

Figura 4.20. Variación de la demanda química de oxígeno en los tanques individuales de la lavadora del tren 8 desde 27/06/2006 hasta 27/07/2006. a. Tanque 1 b. Tanque 2 c. Tanque 3 d. Tanque 4



f.



e.

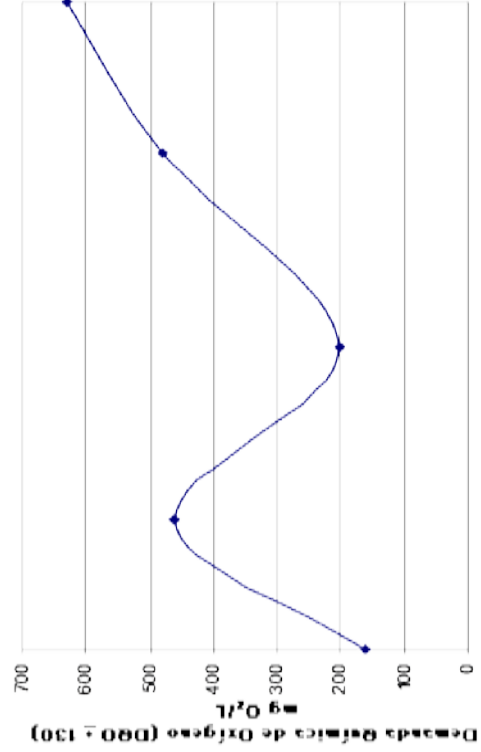


Figura 4.21. Variación de la demanda química de oxígeno en los tanques individuales de la lavadora del tren 8 desde 27/06/2006 hasta 27/07/2006. e. Tanque 5 f. Tanque 6 g. Tanque 7 (Continuación)



tendencia de los sólidos suspendidos, esto indica que existe relación proporcional entre la cantidad de sólidos incinerables y los sólidos presentes en la solución.

La cantidad de sólidos presente en el tren 8 presenta un comportamiento con mayor disparidad, a diferencia del tren 10 que los valores se encuentran dentro de un rango. Al momento de graficar los resultados del tren 8, se tiene que hay una tendencia cíclica debido a que los tanques 1 y 7 son de agua y presentan la menor cantidad de sólidos, a diferencia del resto de los tanques. En el caso del tren 10 sólo se graficaron los tanques de soda, ya que fueron a los únicos a los que se les pudo tomar muestras.

En la figura 4.19 se observa la variación de la demanda química de oxígeno en la lavadora del tren 8, notándose que no existe ninguna tendencia definida. En cada semana se obtuvieron valores distintos. En la tendencia de cada tanque (ver figuras 4.20 y 4.21) se nota que existe un punto de disminución de la cantidad de materia orgánica presente, el cual ocurre en la tercera semana de la realización de los análisis.

Estas variaciones ocurren debido a que este tren presenta paradas programadas todas las semanas, que en algunas ocasiones se extienden hasta por 4 días, lo que afectaba al momento de tomar las muestras (si el tren se encontraba parado no se podían tomar las mismas). En muchos casos, cuando se tomaban las muestras, el tren estaba bien sea arrancando o en su defecto preparándose para pararse. Estas dos condiciones afectan la variación de los resultados, ya que mientras que el tren arranca, la cantidad de materia orgánica contenida dentro de la lavadora es menor porque lleva tiempo sin trabajar; pero si el tren se está preparando para pararse, la cantidad de materia orgánica contenida es mayor porque ya ha trabajado a lo largo de cierta cantidad de días. Así mismo, la variación de esos valores viene dada por la adición de soda nueva al tanque para aumentar la concentración, esto provoca que exista una dilución de todos los componentes de la solución limpiadora.

En la figura 4.22 se presenta la variación de la demanda química de oxígeno en la lavadora del tren 10. En ella se nota que existe una disminución de los valores de DQO, los cuales aumentan al pasar el tiempo. Esta variación se debe a distintas causas, además de la mencionada anteriormente (adición de soda nueva), tales como el hecho de usar botellas nuevas además de vacíos provenientes de la calle, lo que hace que la cantidad de materia orgánica varíe según la proporción de ambos que se utilice. De igual forma influye el producto que esté corriendo en el tren en el momento de tomar las muestras, debido a que si trabaja con Solera Light 222 mL se estaría incluyendo en la solución las etiquetas removidas de las botellas, variando de esta forma el resultado obtenido.



Las tendencias de cada tanque (ver figura 4.23) representan de mejor forma la disminución del valor de materia orgánica, de igual manera su incremento a partir del 06/07/2006.

En la figura 4.24 se presenta la variación de la cantidad de sílice presente en la lavadora del tren 8. Se nota una tendencia, donde el primer y el último tanque son los que presentan mayor cantidad de sílice, esto se debe a que se trata de agua filtrada, mientras que los tanques de soda presentan valores de sílice bajos, ya que estos provienen mayormente de la disolución del sílice de las botellas, así como del arrastre que entre tanques. En la figura 4.25 se observa que los valores de sílice van disminuyendo a medida que pasa el tiempo.

Mientras que en el caso del tanque 7 (ver figura 4.26) los valores de sílice van aumentando. En la figura 4.27 se presentan los comportamientos del resto de los tanques en la lavadora del tren 8. La cantidad de sílice presente en ellos es baja, contrastando con los tanques de agua, esto debido a que aunque la soda disuelva el sílice, el mismo no se acumula en esos tanques, sino es el agua la encargada de retirar el sílice disuelto de la botella.

La figura 4.28 muestra la variación de sílice del agua filtrada proveniente de PTAB, la cual es la que surte a los tanques 1 y 7 del tren 8. Es de notarse que el pico más alto obtenido en el tanque 1 (27/06/2006) corresponde con el pico más alto obtenido en los análisis realizados al agua filtrada (26/06/2006), la disminución de los valores de sílice en el tanque 1 se debe a la reducción de la cantidad de sílice en el agua filtrada de PTAB.

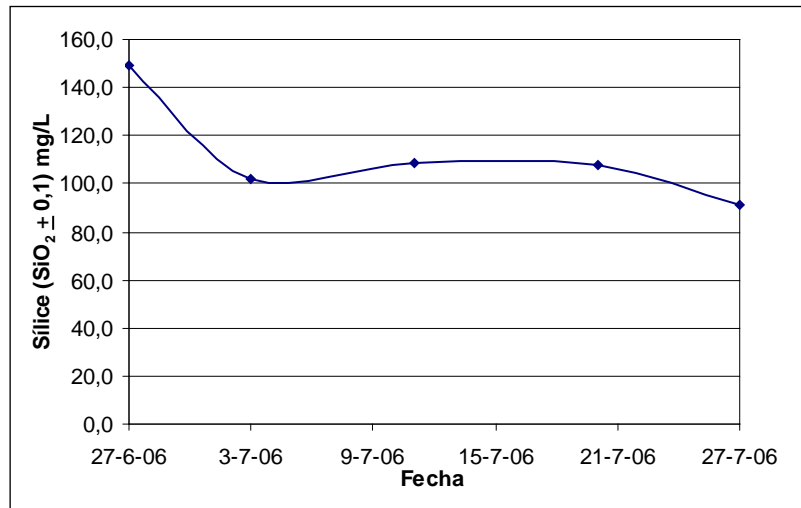


Figura 4.25. Variación de la cantidad de sílice presente en el tanque 1 de la lavadora del tren 8

La variación de la cantidad de sílice en el agua filtrada de PTAB se debe a que los filtros se encontraban saturados de residuos y necesitaban limpieza, lo que tenía como consecuencia que gran cantidad de sílice pasara hasta las lavadoras.

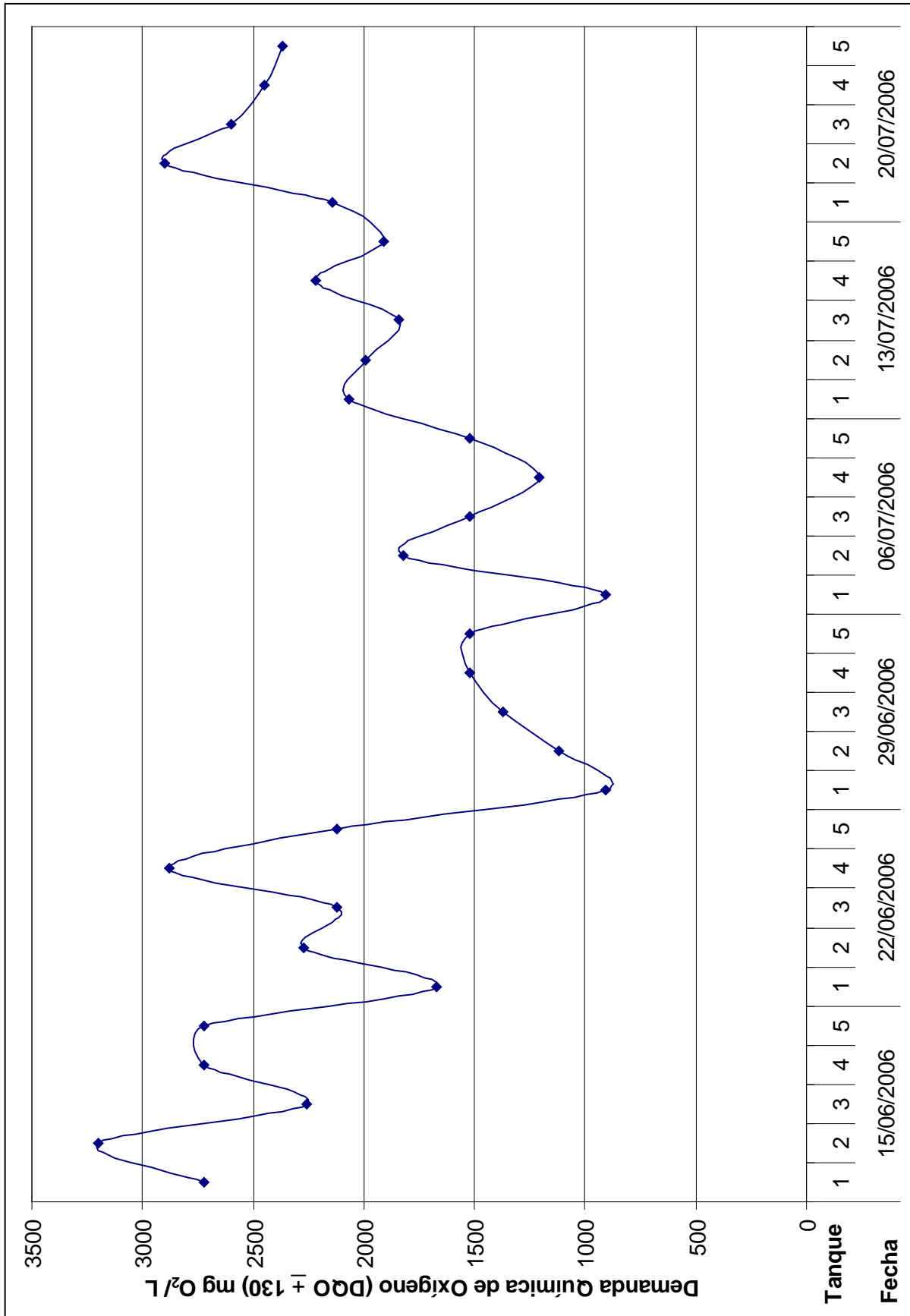


Figura 4.22. Variación de la demanda química de oxígeno en la lavadora del tren 10

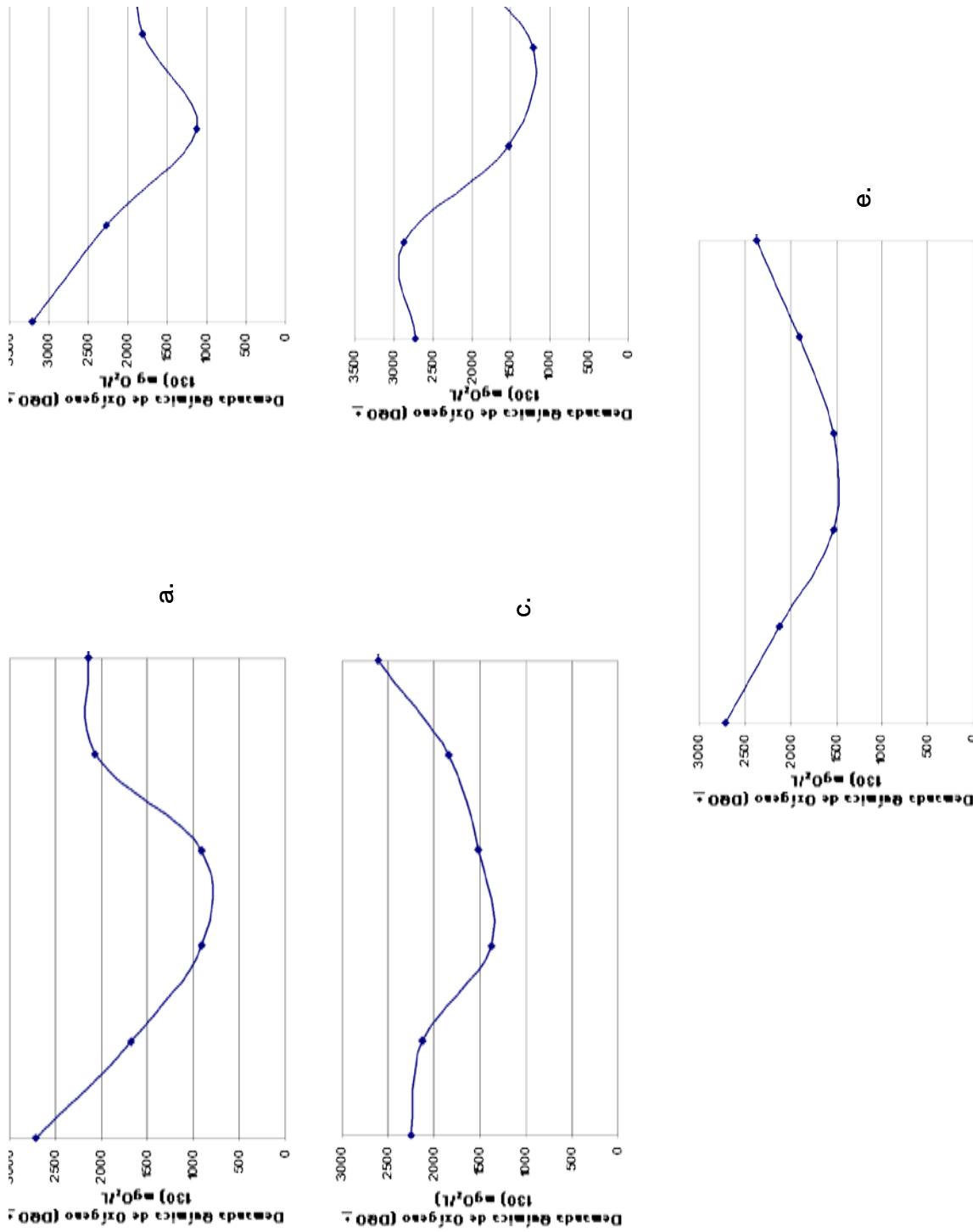


Figura 4.23. Variación de la demanda química de oxígeno en los tanques individuales de la lavadora del tren 10 desde 15/06/2006 hasta 20/07/2006. a. Tanque 1 b. Tanque 2 c. Tanque 3 d. Tanque 4 e. Tanque 5

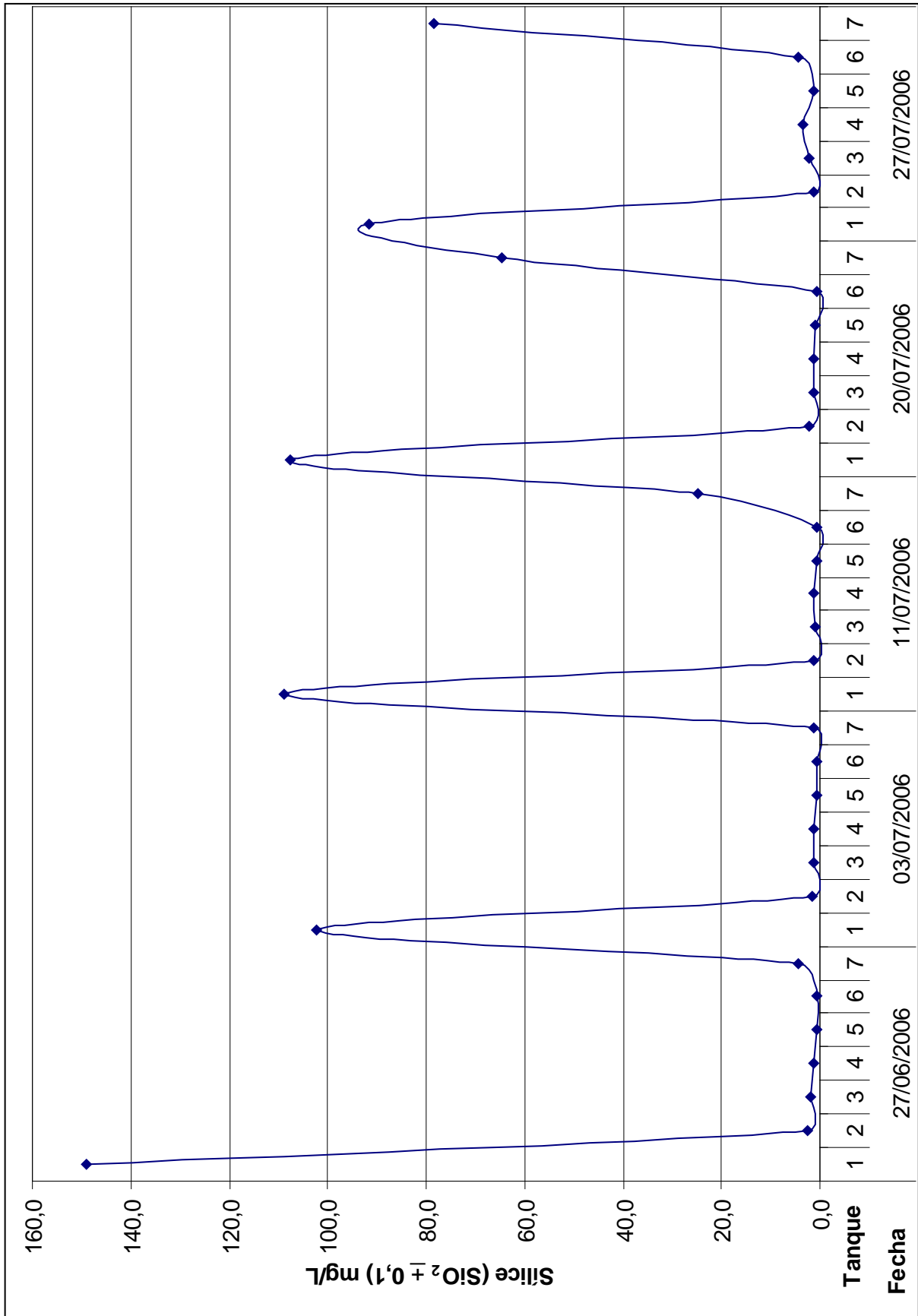


Figura 4.24. Variación de la cantidad de sílice presente en la lavadora del tren 8

Pero aún así, los valores de sílice en el tanque 1 no disminuyeron al punto de llegar a los de su fuente, y esto se debe a que el agua de este tanque además de tener como origen el agua filtrada proveniente de PTAB, tiene al tanque 7 como fuente de agua también. El tanque 7 es alimentado por el tanque 8, el cual también por rebose recibe del tanque 9, este último siempre presenta agua filtrada completamente nueva, mientras que al resto de los tanques les reemplazan el agua cada 72 horas. El aumento de la cantidad de sílice en el tanque 7 se debe a que en él se deposita todo el sílice que se ha disuelto de las botellas a lo largo de todo el proceso, como el agua de este tanque pasa al tanque 1, entonces el nivel de sílice en este último no disminuye.

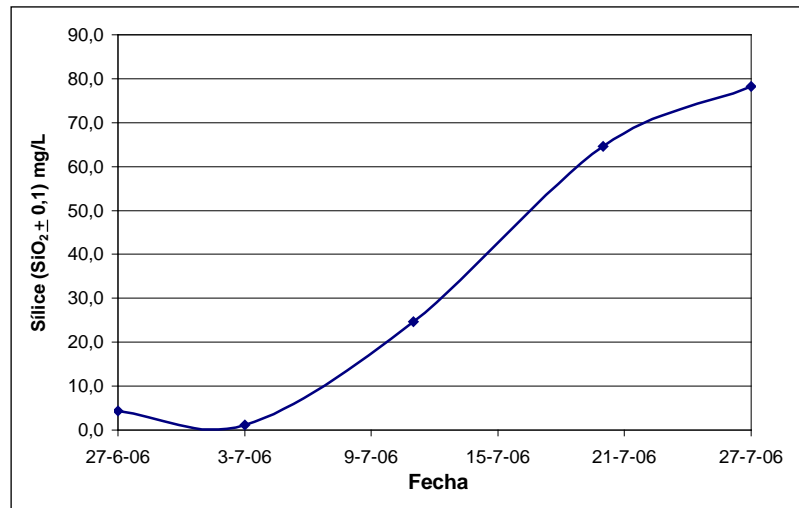


Figura 4.26. Variación de la cantidad de sílice presente en el tanque 7 de la lavadora del tren 8

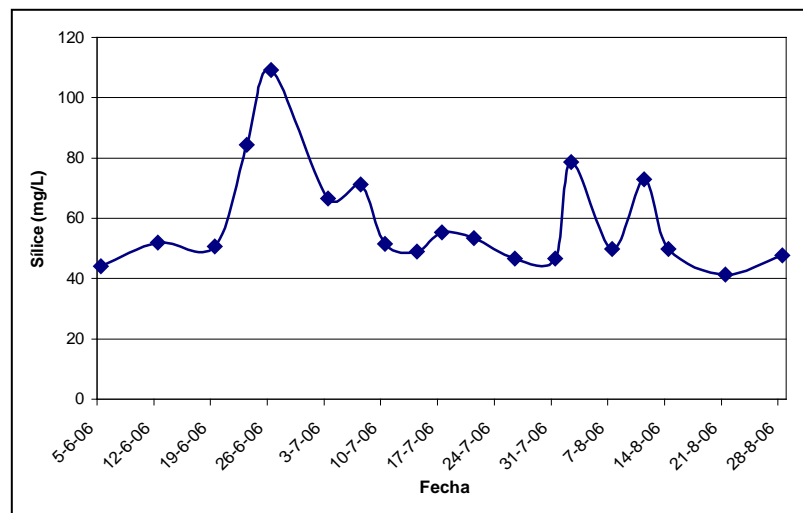


Figura 4.28. Variación de la cantidad de sílice presente en el agua filtrada proveniente de PTAB, (Propia, 2006).

En la figura 4.29 se observa la variación de la cantidad de sílice en la lavadora del tren 10. Es de notar que la tendencia de la curva asciende en la última semana, haciéndose más notorio al observar cada tanque por separado (ver figura 4.30). Este aumento es producto de la acumulación del sílice en los tanques debido al paso del tiempo, haciéndose más crítico en el último día de realización de los análisis debido a la alta concentración de soda en el primer tanque, lo que provocó que a medida que las botellas pasaban cada tanque fuesen disolviéndose cada vez más, dejando atrás las moléculas de sílice.

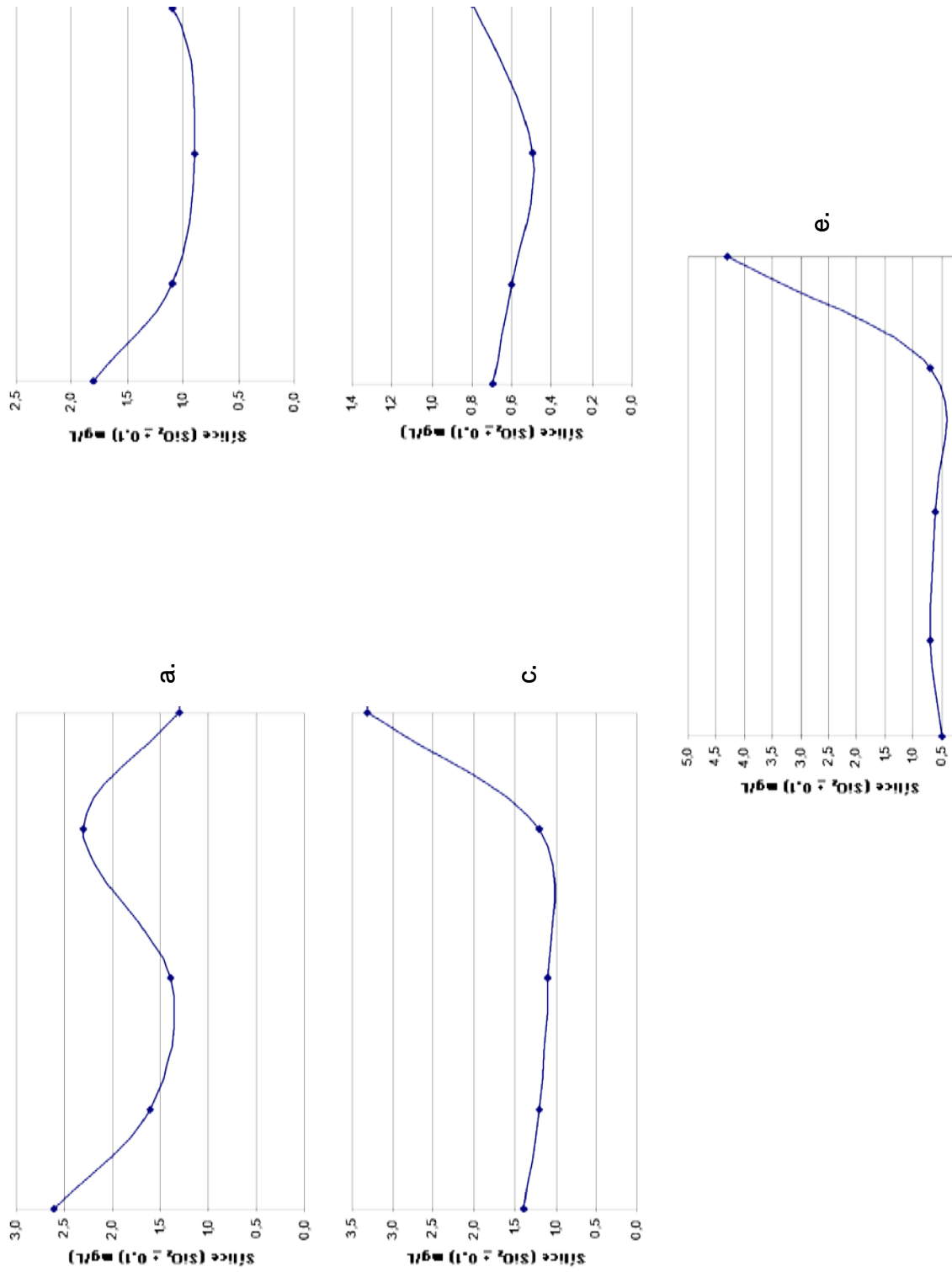


Figura 4.27. Variación de la cantidad de sílice presente en los tanques individuales de la lavadora del tren 8 desde 27/06/2006 hasta 27/07/2006. a. Tanque 2 b. Tanque 3 c. Tanque 4 d. Tanque 5 e. Tanque 6

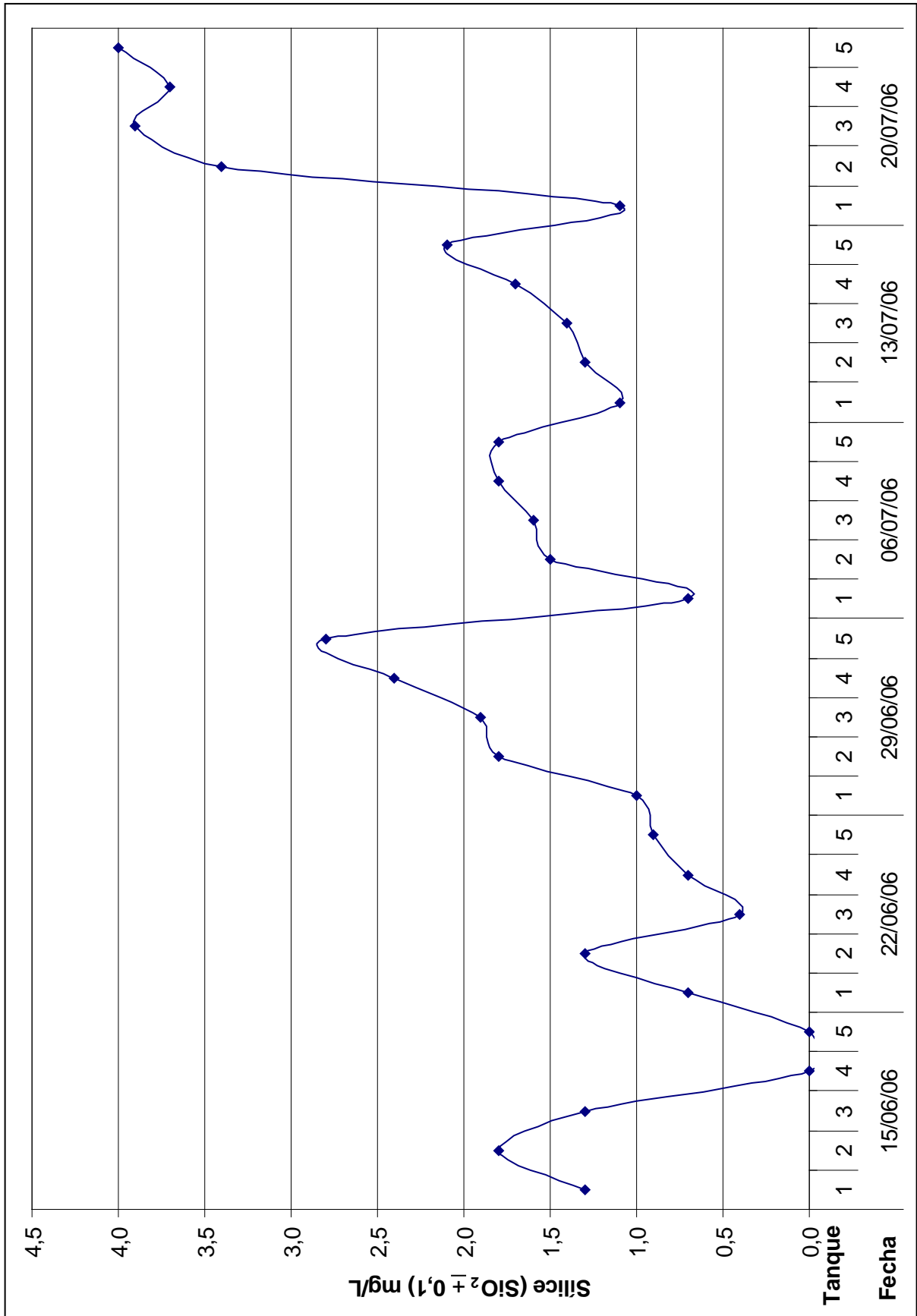


Figura 4.29. Variación de la cantidad de sílice presente en la lavadora del tren 10

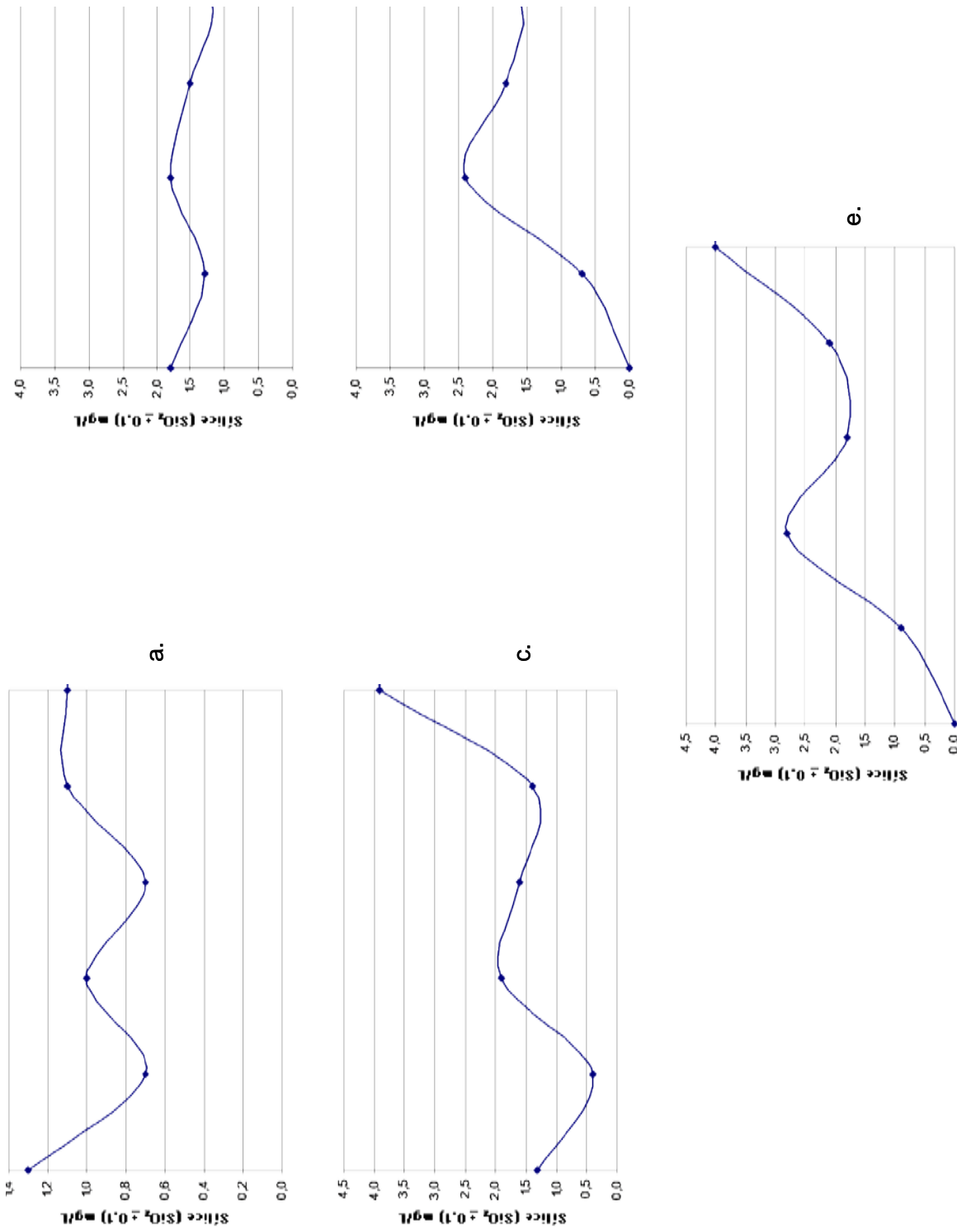


Figura 4.30. Variación de la cantidad de sílice presente en los tanques individuales de la lavadora del tren 10 desde 15/06/2006 hasta 20/07/2006. a. Tanque 1 b. Tanque 2 c. Tanque 3 d. Tanque 4 e. Tanque 5



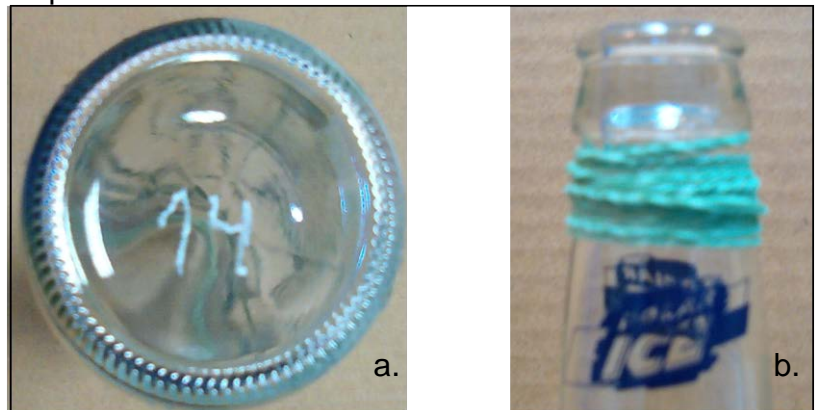
Las botellas al perder sílice aumentan su rugosidad, lo que hace más susceptible la adherencia del sucio en el interior y exterior de las mismas, provocando que sean más difíciles de lavar, teniendo como consecuencia el aumento de rechazos en los Linatronic por presencia de sucio en ellas.

#### 4.2.2 Velocidad de las vías

En investigaciones anteriores se ha atribuido el rayado al desgaste provocado por los aspectos químicos presentes en el proceso de envasado. En la presente investigación se estudió en factor físico en mayor detenimiento como influencia en la formación de rayado.

Cada uno de los trenes de envasado presenta un conjunto de velocidades, las mismas son tales que permiten que la producción del tren sea la más eficiente, por lo que depende de la capacidad intrínseca del tren. El conjunto de velocidades presentan una tendencia en  $V$ , cuyo punto crítico es la llenadora, siendo este el equipo con menor velocidad de todos.

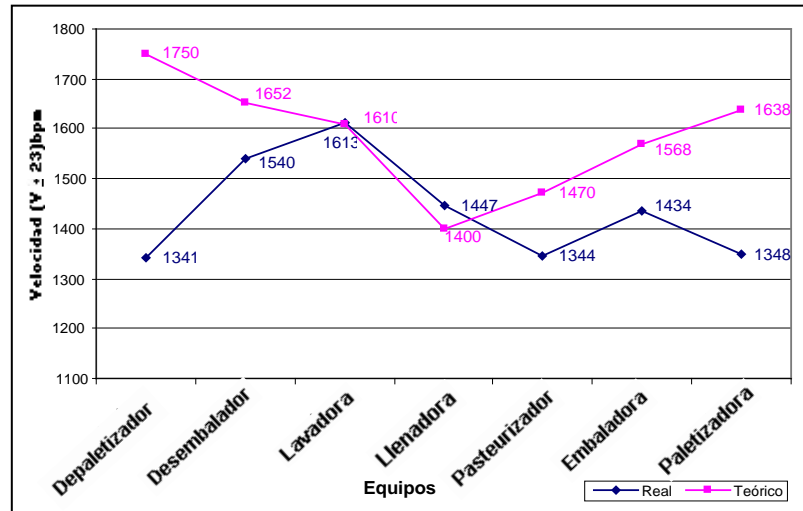
Para evaluar el efecto que presentan dichas velocidades sobre la formación de rayado, se procedió a tomar un grupo de 18 botellas nuevas, identificándolas con un número en el fondo de la botella (ver figura 4.31.a) para llevar el registro de cada una de las botellas, así mismo se le colocaron a



todas unas ligas en la parte superior del cuello (ver 4.31.b), para identificarlas una vez estuvieran dentro del tren. En los trenes 8 y 10 se procedió a tomar las velocidades e introducir botellas nuevas identificadas, después de medir su peso y diámetro en el hombro, cuerpo y talón, determinado su porcentaje de pérdida después de cada 2 vueltas.

Se tomaron sólo 18 botellas debido a la manejabilidad que este número representaba, inicialmente se había manejado realizar el estudio con 40 botellas, pero al hacer la prueba en el tren sólo salieron 15, teniéndose muchas botellas rotas a lo largo de todo el proceso. Mientras que al trabajar con 18 botellas resultaba más fácil el seguimiento de las mismas a lo largo del tren.

En la figura 4.32 se presenta comparación de las velocidades reales y teóricas de los equipos en el tren 8. Observándose que existe discrepancia entre ambas tendencias, ya que el depaletizador y la paletizadora están por debajo de los valores teóricos, así mismo se



encuentra el pasteurizador, siendo este el equipo crítico

Figura 4.32. Comparación de las velocidades reales y teóricas de los equipos en el tren 8 antes del ajuste

del tren. En la figura 4.33 se observa el porcentaje respecto a la máquina crítica que presentan las vías y los equipos, notándose que las vías están muy por encima de la velocidad crítica. Velocidades así de altas provocan que exista mayor pérdida por rotura de botellas en el tren. Las velocidades fueron tomadas por motor, ya que este es un tren más pequeño, donde este estudio podía hacerse de esa forma.

Las botellas nuevas que fueron introducidas en el tren presentaron una altura de rayado que alcanzó  $(2,80 \pm 0,01)$ mm, observándose en la figura 4.34 la condición en que quedaron las botellas. La pérdida de peso y diámetro, bajo estas condiciones de velocidad, tuvieron un comportamiento ascendente (ver figura 4.35), observándose que la mayor pérdida se tiene en el diámetro del cuerpo, adjudicándose esto a la pérdida



del pirograbado. La altura del rayado de estas botellas

Figura 4.34. Condición de las botellas introducidas en el tren 8 después de 10 vueltas antes de los ajustes

Las botellas realizaron sólo 10 vueltas debido al factor tiempo, esto es, que por paradas en el tren las botellas tardaban mucho en salir, desaprovechándose el valioso tiempo en que el tren se encontraba operativo.

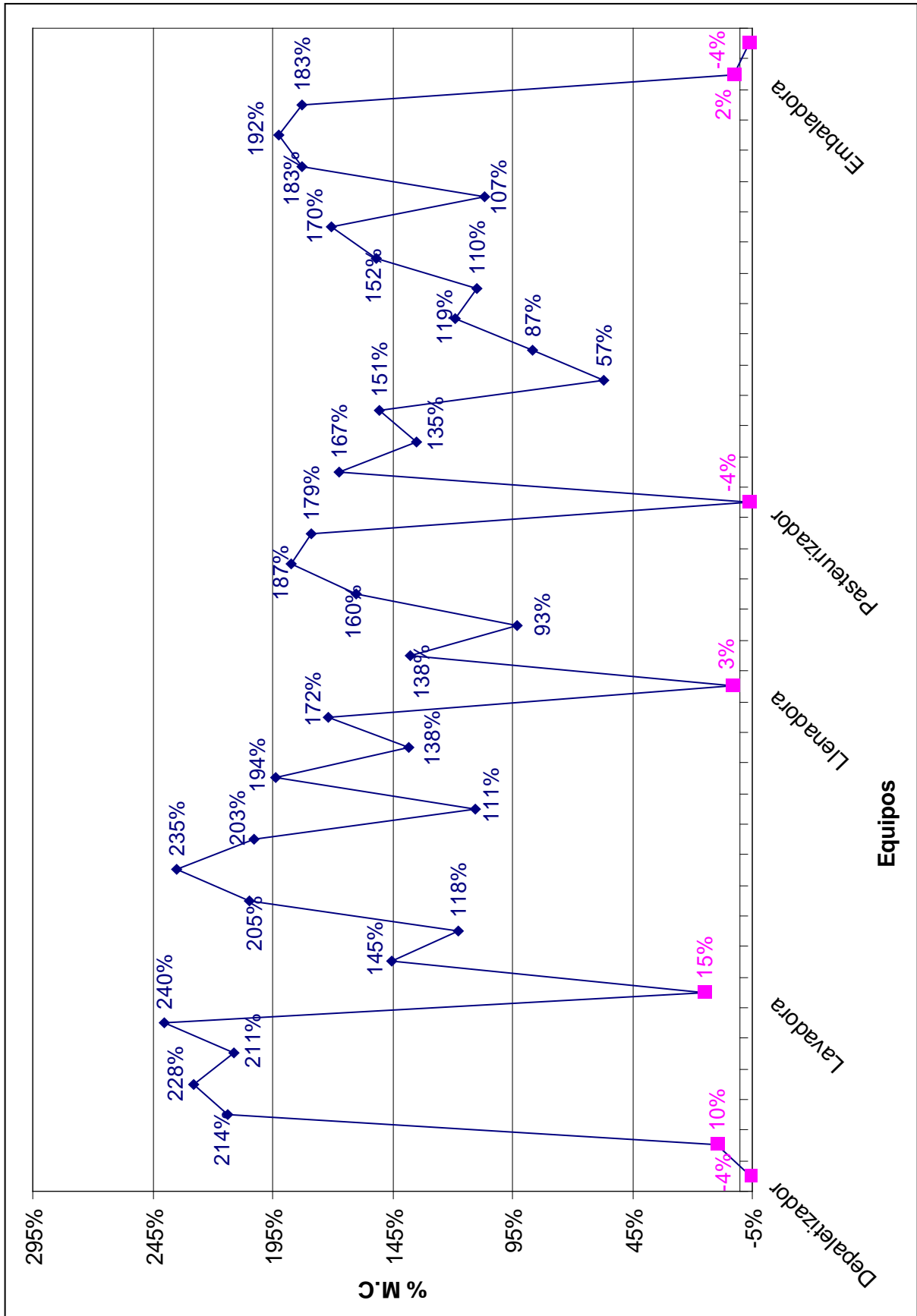


Figura 4.33. Porcentaje de velocidad respecto a la máquina crítica de las vías y los equipos en el tren 8 antes de los ajustes

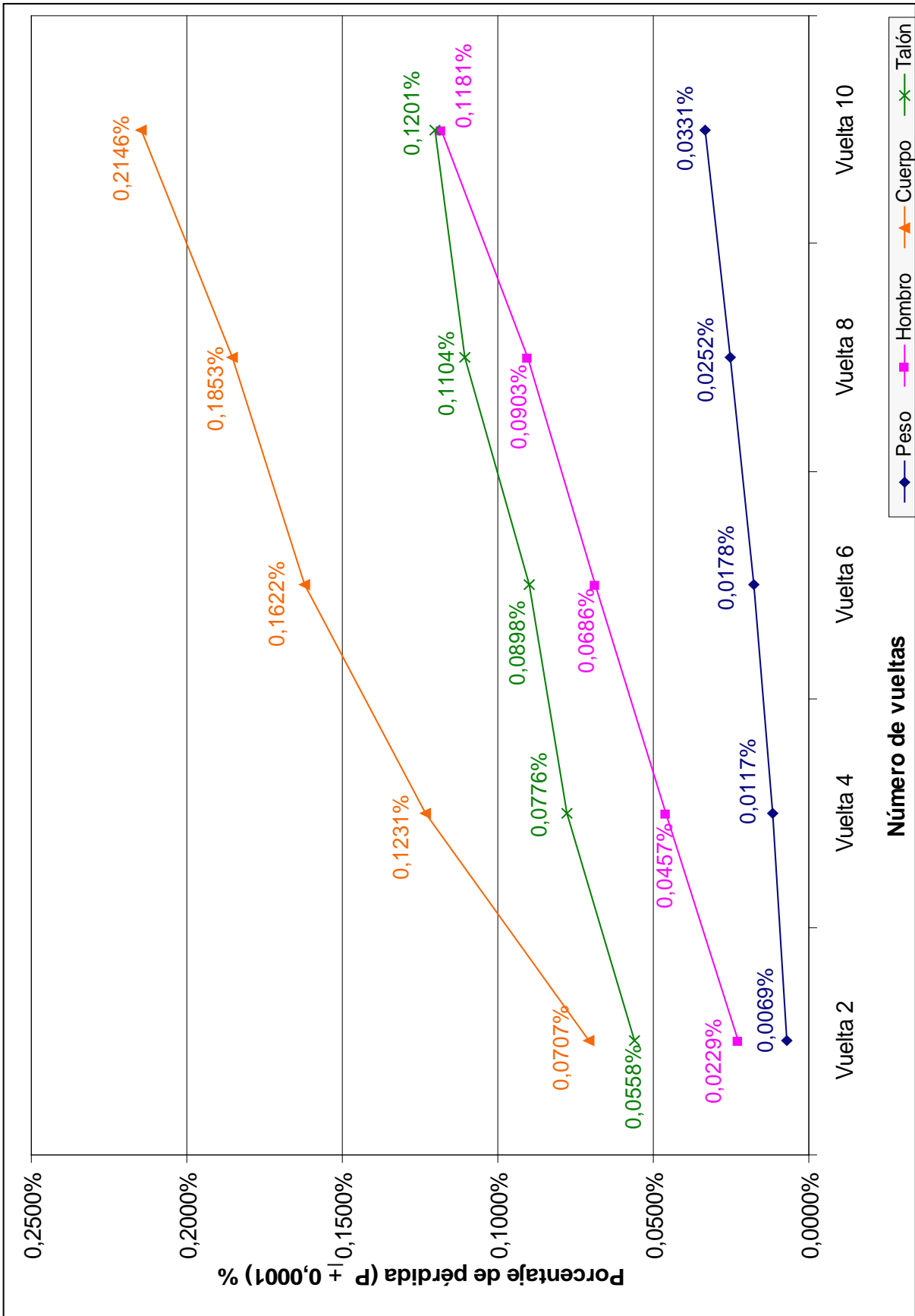


Figura 4.35. Porcentaje de pérdida de peso y diámetro en las botellas introducidas en el tren 8 antes del ajuste

En el caso del tren 10 (figura 4.36) se observa que las velocidades están más cercanas a la teórica, pero aún así el tren está desbalanceado, sobre todo en la desembaladora, la embaladora y el paletizador. En el caso de las velocidades de las vías (figura 4.37) se

tiene que las mismas son menores que las obtenidas en el tren 8, pero aún así se tiene que presentan una alta variación respecto a la máquina crítica.

En las vías las velocidades fueron tomadas en los sensores ópticos, los cuales son los reguladores de velocidad en puntos específicos, tales como en las bifurcaciones y la entrada a las llenadoras.

La altura del rayado después de dar 10 vueltas fue de  $(2,36 \pm 0,01)$ mm, observándose en la figura 4.38 las condiciones en las que quedaron las botellas. Las botellas nuevas introducidas tuvieron un comportamiento ascendente (figura 4.39). Es de notar que la mayor pérdida vino dada en el diámetro del cuerpo, adjudicándose esto a la pérdida del pirograbado.

Al comparar los resultados obtenidos en ambos trenes después de 10 vueltas (ver figura 4.40) se tiene que en el tren 8 se tiene mayor porcentaje de pérdida de peso y de diámetro en el cuerpo, esto es adjudicado a pérdida de pirograbado, debido a las condiciones tan fluctuantes en la lavadora; mientras que en el caso del tren 10 se tiene mayor porcentaje de pérdida de diámetro en el hombro y en el talón, esto es adjudicado a que este tren es más largo y presenta mayores uniones y bifurcaciones, lo que

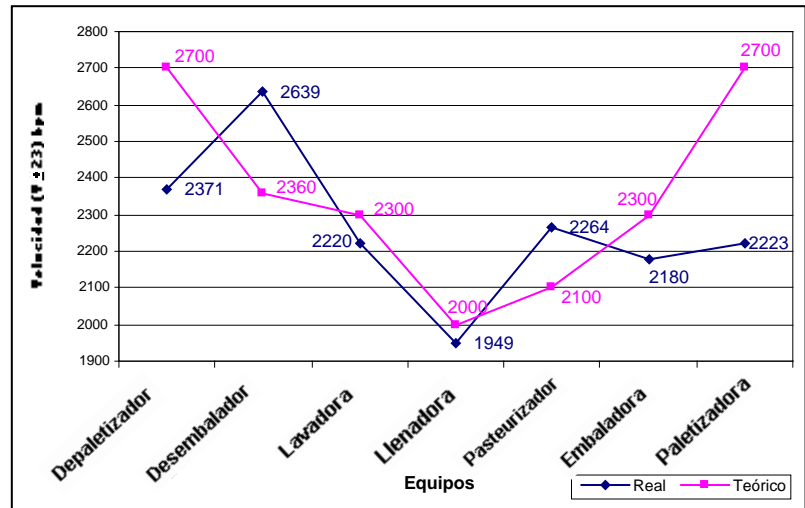


Figura 4.36. Comparación de las velocidades reales y teóricas de los equipos del tren 10 antes de los ajustes



Figura 4.38. Condición de las botellas introducidas en el tren 10 después de 10 vueltas antes de los ajustes

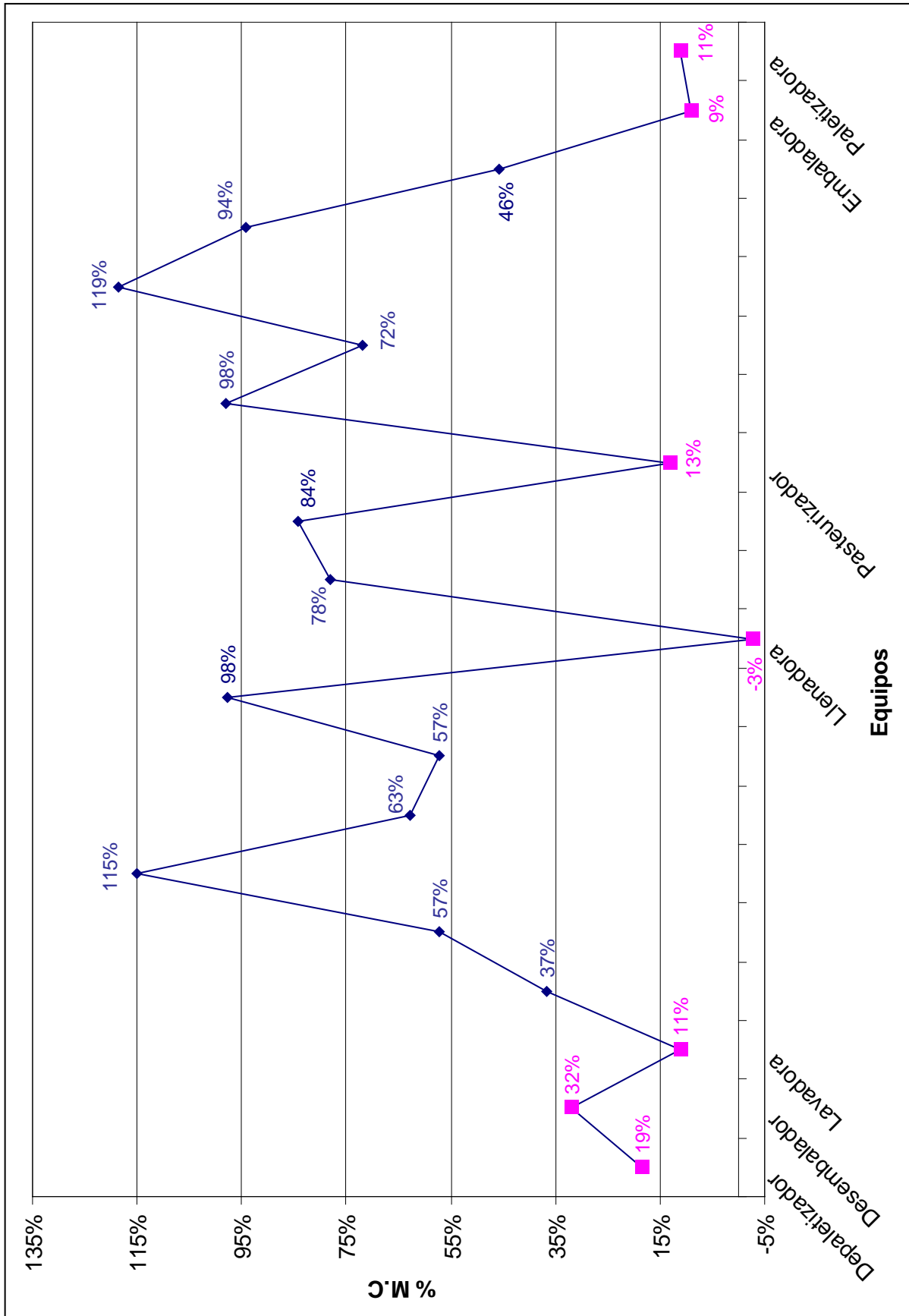


Figura 4.37. Porcentaje de velocidad respecto a la máquina crítica de las vías y los equipos en el tren 10 antes de los ajustes

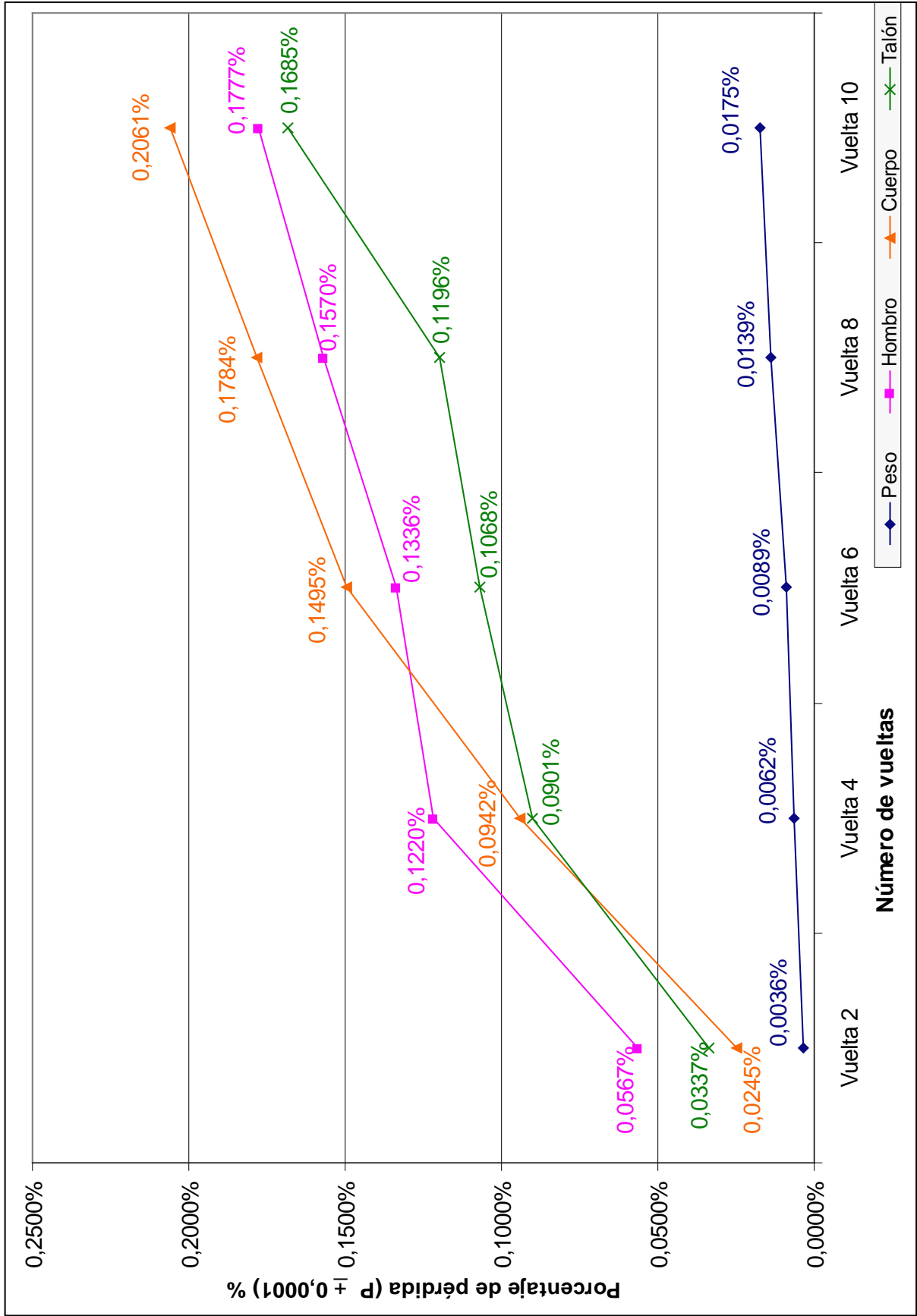


Figura 4.39. Porcentaje de la pérdida de peso y diámetro de las botellas introducidas en el tren 10 antes del ajuste

provoca que la exposición en el proceso de fricción entre las botellas sea mayor, y que por lo tanto se presente un mayor desgaste en las superficies de contacto.

En la figura 4.41 se aprecia la diferencia existente entre una botella introducida en el tren 8 (4.41.a) y una

introducida en el tren 10 (4.41.b). Se aprecia que la

altura de rayado en la botella del tren 8 es mayor que en la botella del tren 10, esto se debe a que cuando se introdujeron las botellas en el tren 8 se registraron mayor cantidad de paradas que en el tren 10, lo que provocó que las botellas tuvieran una altura de rayado superior.

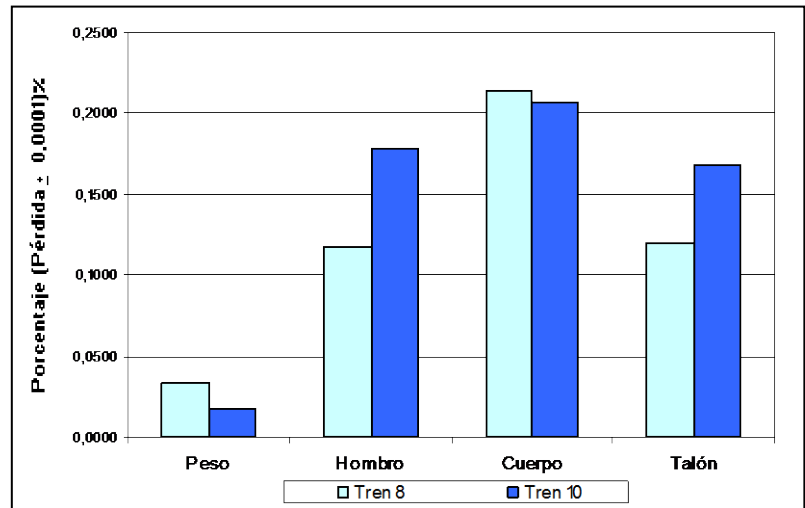


Figura 4.40. Comparación de los valores finales de pérdida en las botellas introducidas en los trenes 8 y 10 antes del ajuste



Figura 4.41. Comparación de las botellas introducidas en los trenes antes del ajuste: a. Tren 8 b. Tren 10

### 4.3 GENERACIÓN Y APLICACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE MEJORA

Al mostrar estos resultados a la Gerencia de Envasado se llegó al acuerdo de balancear los trenes, es decir mejorar las velocidades y observar el comportamiento que esto tenía sobre la formación de rayado en las botellas. Esta alternativa fue considerada la única viable a aplicar, ya que sólo implicaba manipulación en las vías, mientras que operar las variables de la lavadora es mucho más delicado, ya que se estaría poniendo en juego la calidad de la microbiología de las botellas, variable crítica en el proceso.



El balanceo de los trenes es realizado por los analistas de mantenimiento mecánico, en conjunto con los de mantenimiento eléctrico. Todo comienza con la revisión del software del equipo que se va a balancear, al mismo se le ajusta la velocidad al introducirle una clave. Todos los equipos presentan una clave distinta, la cual sólo la saben los analistas de mantenimiento. Después de ajustar la velocidad el equipo presenta una etapa de adaptación, donde el equipo se regulariza hasta alcanzar la velocidad que le fue introducida. Las velocidades de las vías se ajustan a partir del ajuste en el software principal de las mismas, siguiendo los mismos pasos realizados en el caso de los equipos.

Después del ajuste se realiza la validación de las velocidades de los equipos, donde se comprueba si existe o no el comportamiento en V en el tren. Al observar dicho comportamiento se procede a introducir botellas y determinar el efecto que las velocidades ajustadas tienen sobre la formación de rayado.

En la figura 4.42 se observa la comparación de las velocidades reales y teóricas

en el tren 8 después de realizado el ajuste. Se nota que sólo mejoró la velocidad del pasteurizador, mientras que el resto de las velocidades sigue desbalanceadas, esto puede notarse de igual forma en la figura 4.43, la cual representa las velocidades de las vías en

el tren 8, estas últimas en lugar de disminuir después de realizar el ajuste, aumentaron.

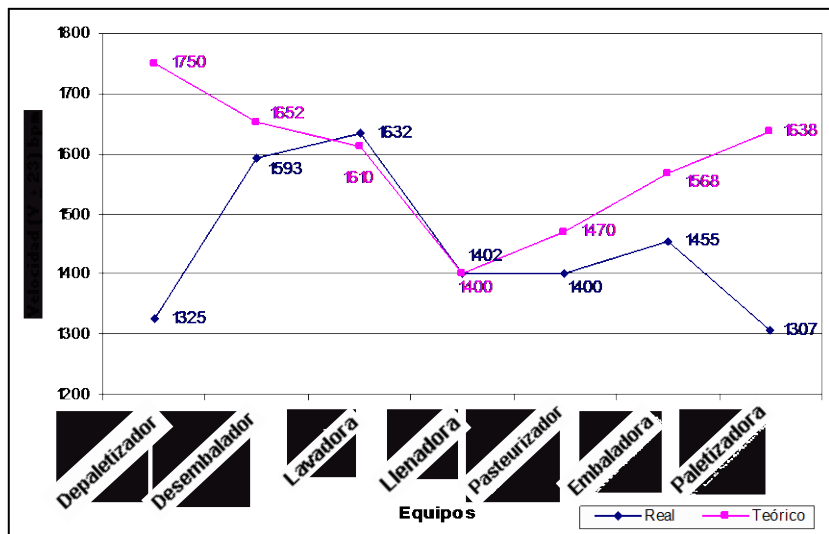


Figura 4.42. Comparación de las velocidades reales y teóricas en los equipos del tren 8 después de los ajustes

En general no hubo ningún ajuste mayor en el tren, ya que se trata de un tren on/off, es decir, no presenta un variador de frecuencia lo suficientemente actualizado como para manipularlo en distintos niveles, lo que dificulta la variación de las velocidades en este tren. Al no tener mejoras en el tren no se introdujeron botellas nuevas, ya que los resultados serían básicamente los mismos.

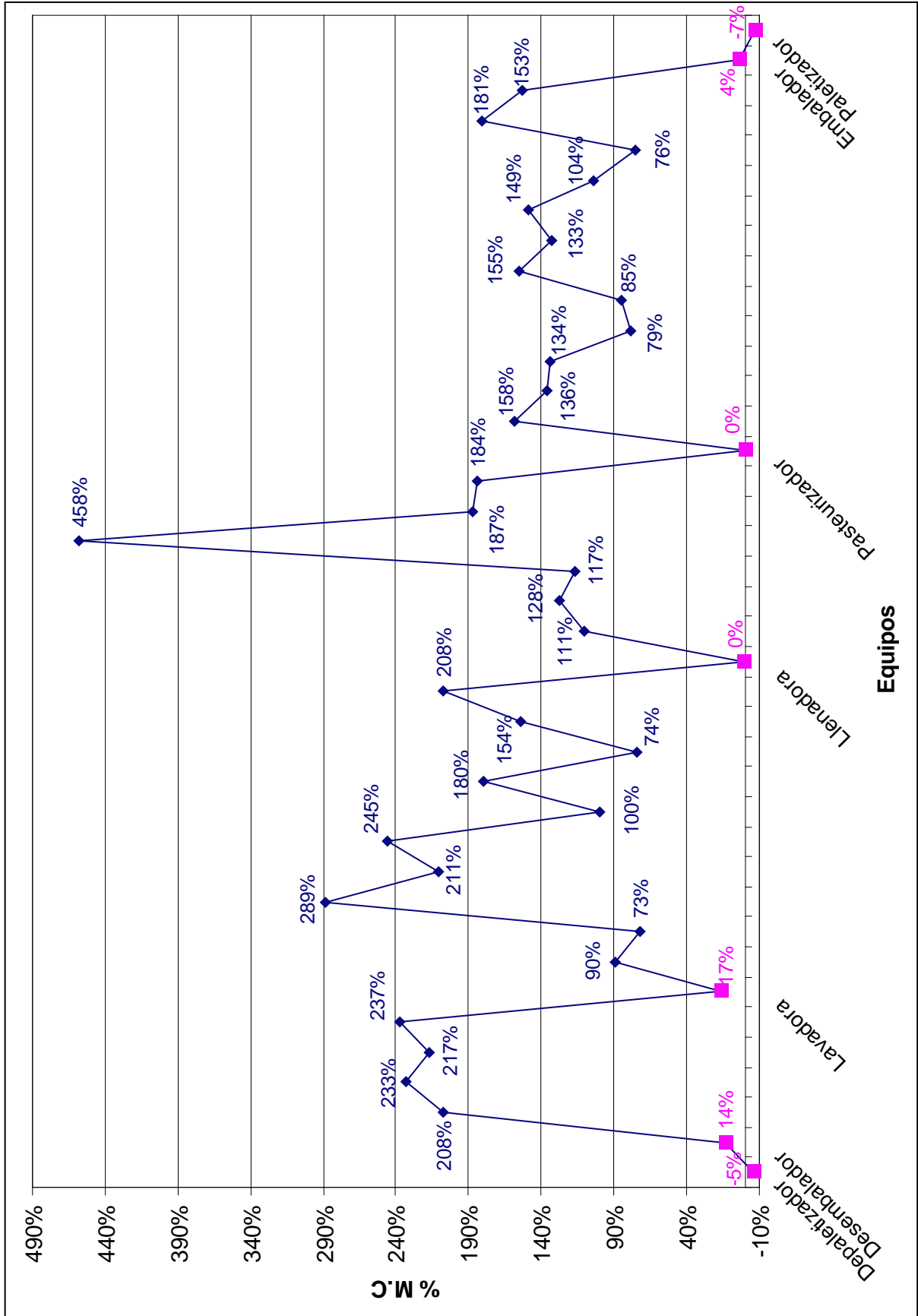


Figura 4.43. Porcentaje de la velocidad respecto a la máquina crítica de las vías y los equipos en el tren 8 después de los ajustes

En la figura 4.44 se aprecia la comparación de las velocidades reales y teóricas en el tren 10, notándose que hubieron mejoras en cuanto a la tendencia seguida por los valores reales, están mejor alineados y sincronizados, lo que se refleja en la velocidad de las vías de igual forma (ver figura 4.45), ya que, aunque en algunos puntos la velocidad aumentó, en líneas generales mejoró respecto a las velocidades anteriores.

En la figura 4.46 se aprecia el rayado de la botella después de introducirla 8 veces, el mismo alcanza el nivel 1 con  $(1,77 \pm 0,01)$  mm.

En la figura 4.47 se observa la variación de peso y diámetro referente a las botellas introducidas en el tren 10. Se observa que sólo se le dieron 8 vueltas a las botellas, esto debido a que las mismas sólo pueden ser introducidas cuando está corriendo en el tren cerveza Ice 222 mL, esto para cumplir con la veracidad del estudio, ya que si las botellas son introducidas cuando está corriendo otro producto (Light, Solera Light) existe la posibilidad que la superficie de contacto que tenga la botella Ice con las de otras presentaciones no corresponda con la superficie de contacto que tengan las botellas de la misma presentación. Esto hace muy limitativo el tiempo de trabajo en el tren.

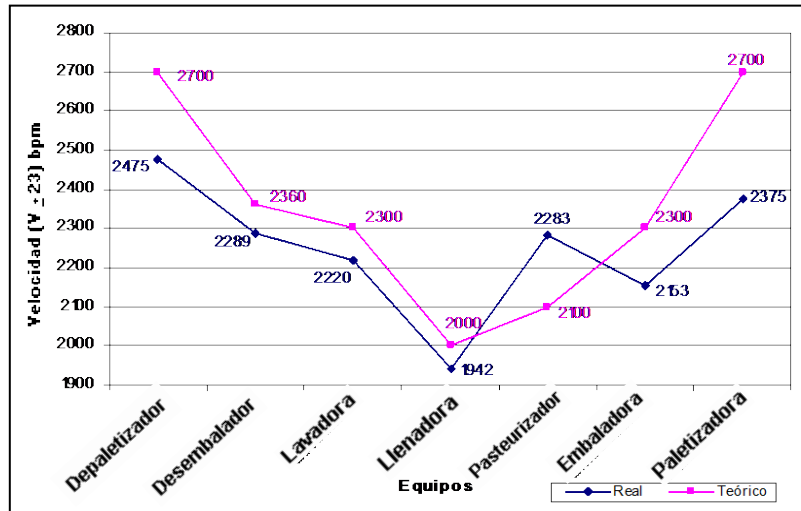


Figura 4.44. Comparación de las velocidades reales y teóricas de los equipos del tren 10 después de los ajustes



Figura 4.46. Condición de las botellas introducidas en el tren 10 después de 8 vueltas una vez realizados los ajustes

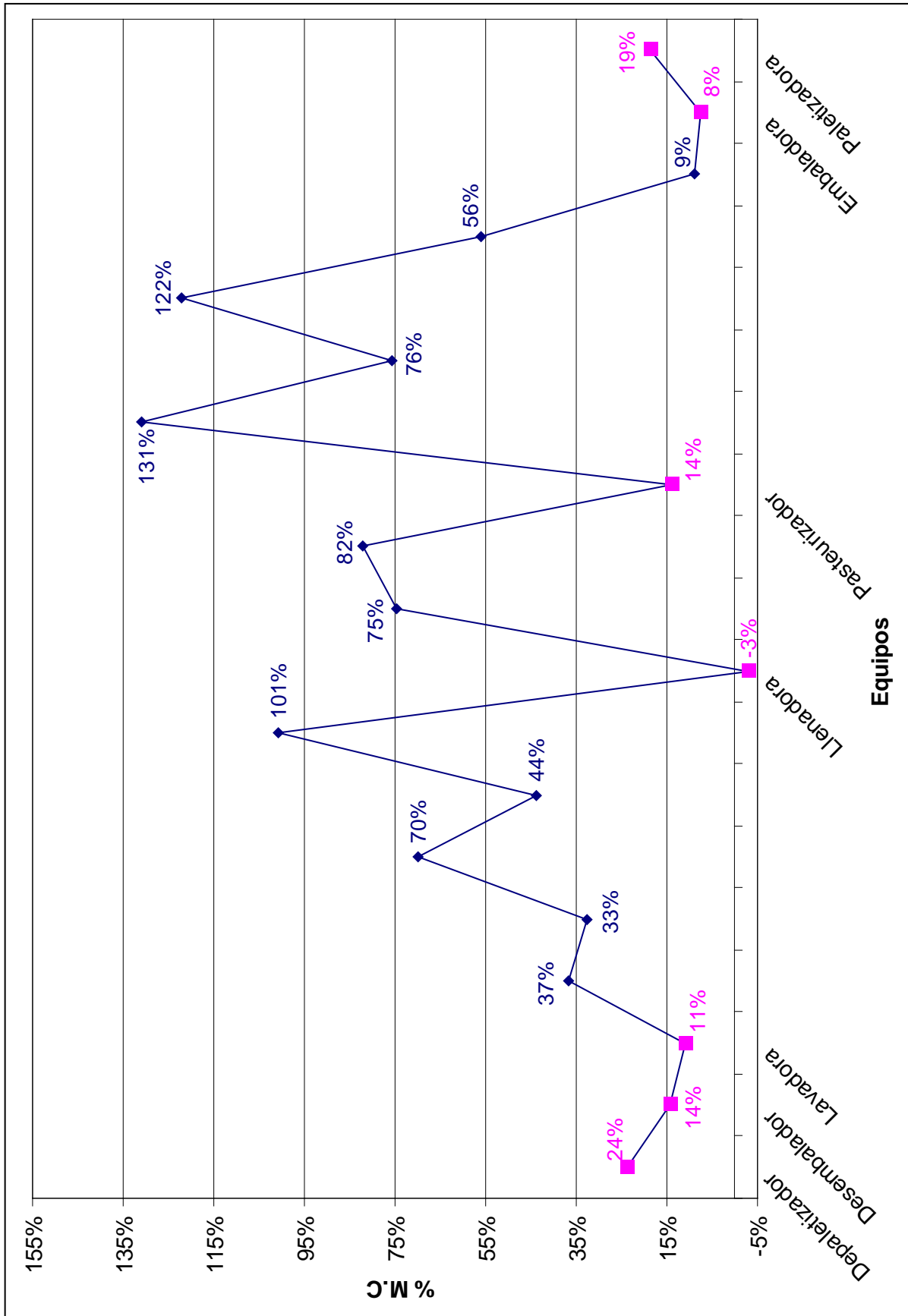


Figura 4.45. Porcentaje de la velocidad respecto a la máquina crítica de las vías y los equipos en el tren 10 después de los ajustes

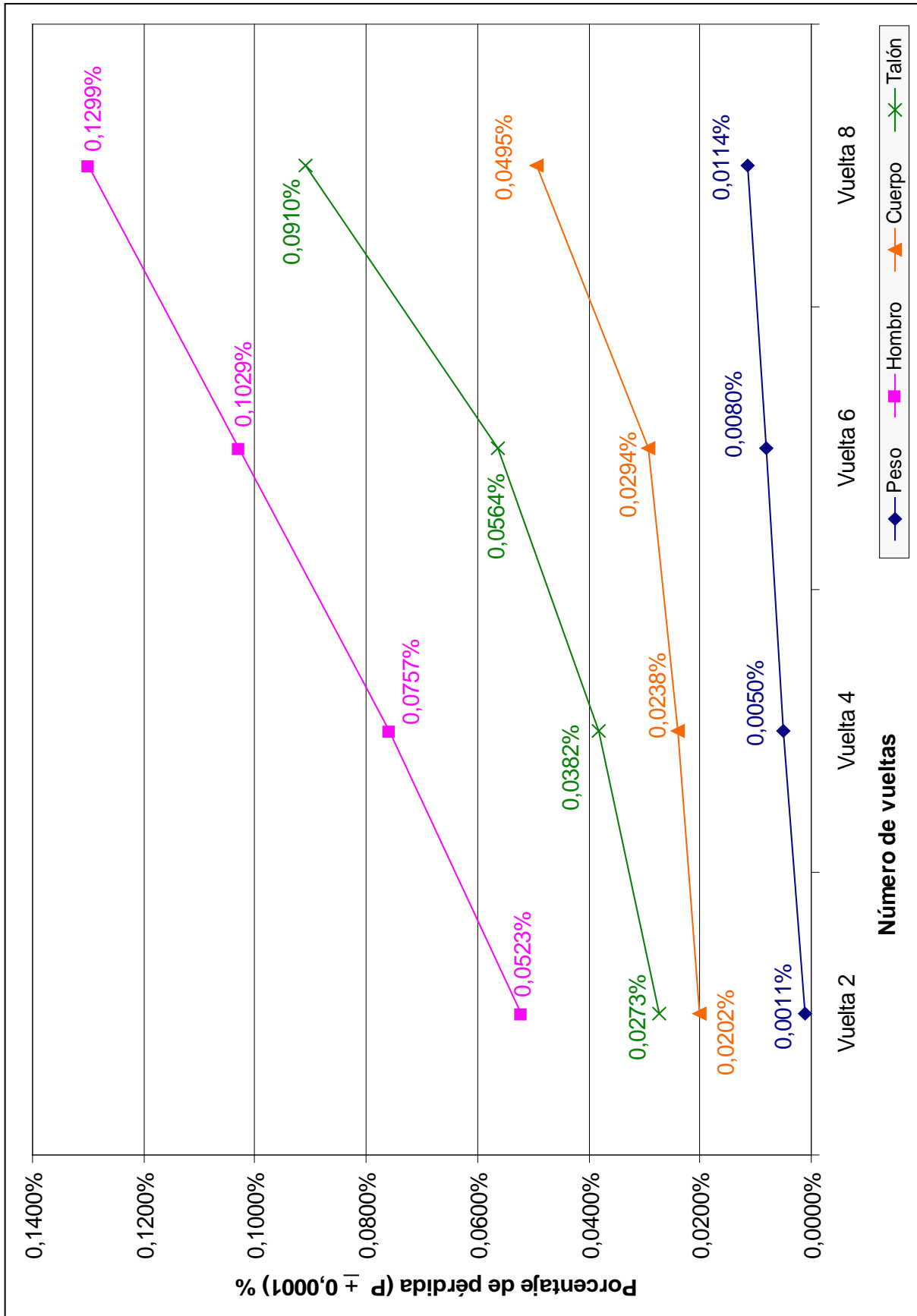


Figura 4.47. Porcentaje de pérdida de peso y diámetro de las botellas introducidas en el tren 10 después del ajuste

En la figura 4.48 se aprecia la diferencia que existe entre la botella introducida antes de hacer el ajuste (a.) y después de hacer el mismo (b.). Es muy notable la disminución de rayado apreciada.

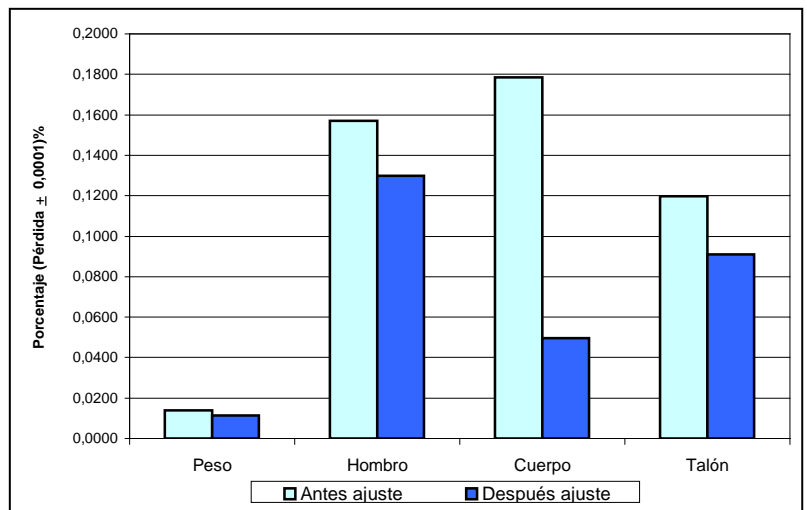


En la figura 4.49 se observa la comparación entre los valores de pérdida de peso y diámetro en las botellas introducidas en el tren 10, para la octava vuelta, antes y después del ajuste. Se nota que hubo una disminución notable en las

pérdidas. Esto indica que a medida que vaya pasando el tiempo el desgaste de

Figura 4.48. Comparación de las alturas de rayado de las botellas introducidas en el tren 10: a. Antes del ajuste b. Después del ajuste

la botella será menor si el tren se mantiene balanceado. En cuanto a la calidad de la solución limpiadora al introducir las botellas, se tiene que el tiempo de uso de la misma para esa época (18/06/2006) era de unos 25 días, por lo que se tenían las condiciones que se encontraban inicialmente del



estudio, antes de realizar cualquier ajuste.

Figura 4.49. Comparación de las pérdidas, para la octava vuelta, de las botellas introducidas en el tren 10 antes y después de los ajustes

La vida útil de las botellas se toma en unos 40 ciclos. Al comparar las pérdidas obtenidas en ambas botellas se tiene que, después del ajuste, a las botellas le tomaría 80 vueltas llegar al porcentaje de pérdidas que se presenta antes del ajuste, lo que representa el doble de vida útil para la misma botella.

Además de aumentar la vida útil de las botellas, se tiene que al balancear los trenes existen menos roturas de botellas en las líneas, haciendo que de esta forma las

pérdidas por botellas rotas sea menor, así como beneficia las condiciones de trabajo de los operarios al disminuir los riesgos de accidentes por roturas de botellas.

En el apéndice A se encuentran las tablas de datos recolectados en la realización del estudio. Vale destacar que la cantidad de botellas introducidas en la línea vino dada por la

manejabilidad que representaban, esto es, mientras más botellas eran

introducidas en la línea para el estudio, era más difícil recuperarlas todas, en especial si la hora de salida de las botellas era en un cambio de turno. El apoyo recibido por los operarios de las líneas era limitado, debido a los problemas presentados en los equipos que se encargaban de manejar.

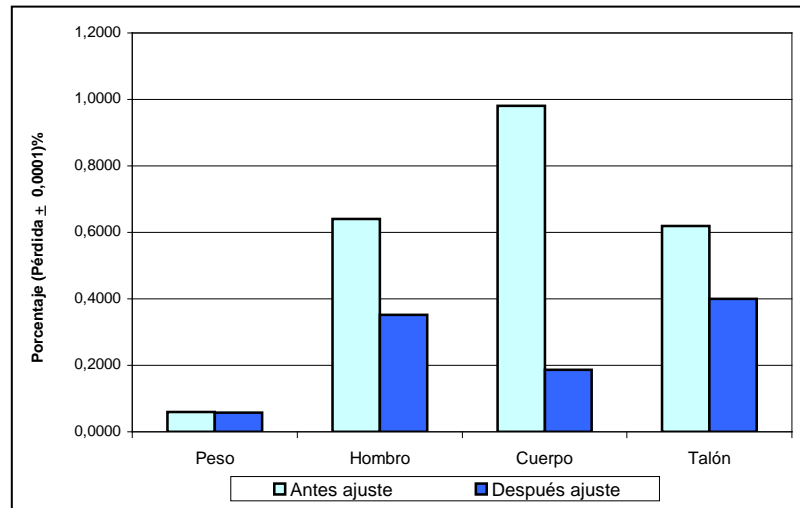


Figura 4.50. Comparación de las pérdidas, para la cuadragésima vuelta, de las botellas introducidas en el tren 10 antes y después de los ajustes

#### 4.4 ANÁLISIS ECONÓMICO

Al poner en práctica el ajuste de los trenes, se obtuvo que se presentara un ahorro significativo, por lo que no se realizó la generación de otras alternativas de mejora para el aumento de la vida útil de las botellas. Se determinará el ahorro que asociado al ajuste, tanto por las botellas como por el aumento de la eficiencia del tren.

Con el ajuste de las líneas se logra aumentar la vida útil de las botellas al doble, lo que implica que en lugar de reemplazar la flota cada 2 años se haría cada 4 años, estos períodos de tiempo son aproximados, ya que se tiene que tomar en cuenta el hecho que podrían llegar botellas nuevas para cumplir con la demanda (que no existan suficientes vacíos).

Al no realizar ninguna inversión de capital al efectuar el ajuste en el tren, no se realiza ninguna estimación de los modelos de rentabilidad.

Hace 2 años llegaron a la planta 168.905.000 de botellas, en lo que va de año han llegado sólo 6.204.000. En conversaciones sostenidas con el departamento de Logística de Compras se conoció que desde noviembre llegarían botellas nuevas para

reemplazar la flota de hace 2 años. Según los resultados obtenidos, estas botellas serán reemplazadas dentro de 4 años.

Todos los valores que no estén presentados en porcentajes son sólo estimados, debido a que, por políticas de confidencialidad, no se puede contar con los valores verdaderos.

#### 4.4.1 Estimación del ahorro de las botellas

Para la determinación del ahorro es necesario conocer el precio de venta de 1 botella (información confidencial) y estimar su incremento anual, que según el proveedor de esta materia prima se efectúa a una tasa fija anual, de un 0,75% aproximadamente.

Al tomar una base de cálculo de Bs. 1 por botella, se determina el porcentaje de ahorro asociado, siendo éste un valor real aproximado sea cual sea el precio de la botella (ver tabla 4.5).

**Tabla 4.5. Relación de ahorro asociado al ajuste en las vías**

Año	Sin ajuste (US \$)	Con ajuste (US \$)	Ahorro asociado
4	158.299	80.917	95,6 %
8	160.673	83.344	92,8 %
12	163.083	85.845	90,0 %
16	165.530	88.420	87,2 %

Se observa que el ahorro asociado en el año 4 alcanza el 95,6%, teniéndose con esto que sin el ajuste se gasta casi el doble que si se realizara el ajuste.

#### 4.4.2 Estimación del impuesto sobre la renta

En la tabla 4.6 se presenta el impuesto sobre la renta, donde la tasa es de 34% según lo impuesto por la ley.

**Tabla 4.6. Costos asociados al impuesto sobre la renta**

Año	Impuesto (US \$)
4	28.887
8	29.754
12	30.646
16	31.566



Este elemento se incluye en el estudio económico ya que se produce beneficios futuros asociados al ingreso adicional debido al ahorro por las botellas, por lo que se debe realizar pagos al Estado por concepto de impuesto sobre la renta.

#### 4.4.3 Flujos de cajas netos

Al comparar los flujos de cajas generados por el uso de las botellas, se nota que (ver tabla 4.7) al ajustar las velocidades de las vías se genera menores salidas de dinero. Esto no es más que otra consecuencia directa del ahorro generado por alargar la vida útil de las botellas.

Es importante destacar que los flujos de caja se expresan en forma negativa, ya que son salidas netas de dinero.

**Tabla 4.7. Flujos de cajas netos en cada período antes y después del ajuste en las vías**

Vías	Año	Flujo monetario neto (US \$)
Sin ajustar	4	-109.701
	8	-111.346
	12	-113.017
	16	-114.712
Ajustadas	4	-56.075
	8	-57.757
	12	-59.490
	16	-61.275

#### 4.4.4 Flujos de caja diferencial

Al efectuar la diferencia entre los flujos de caja producidos por el ajuste de las vías, se puede observar (ver tabla 4.8) que los valores arrojados son positivos, lo que indica nuevamente el ahorro generado por ajustar las vías, representando la entrada de dinero adicional por concepto de aumento de la vida útil de las botellas.

**Tabla 4.8. Flujos de caja diferencial**

<b>Año</b>	<b>Flujos de caja (US \$)</b>
4	53.625
8	53.589
12	53.526
16	53.437

Además de contar con el ahorro generado por el aumento de la vida útil de las botellas, se tiene el ahorro generado por el aumento de la eficiencia del tren, al aumentar en un 18% su producción, teniendo 716.932 cajas producidas tres semanas antes del ajuste, hasta llegar a 846.021 cajas tres semanas después del mismo. Esta diferencia de 129.089 cajas presenta un ingreso neto de US \$ 421.040

**Tabla 4.9. Ingresos relacionados al aumento de la eficiencia del tren 10**

<b>Ingreso bruto (US \$)</b>	750.517
<b>Costos operacionales (US \$)</b>	112.577
<b>Impuesto sobre la renta (US \$)</b>	216.899
<b>Ingreso neto (US \$)</b>	421.040

Vale destacar que este ingreso puede ser mucho mayor si se logra ajustar el resto de los trenes que lo necesitan, ya que este ingreso adicional se produce por la disminución de paradas por concepto de trancamiento de botellas en las vías.



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas a lo largo de la investigación.

### CONCLUSIONES

1. La razón por la cual la mayoría de las botellas rechazadas por los inspectores ópticos es por la presencia de sucio en sus paredes.
2. La mayoría de las botellas rechazadas presentaban niveles de rayado aceptables, lo que indica que habían retornado pocas veces a la planta.
3. Las botellas rayadas no sufren ruptura por presión ni por exposición a gradientes de temperaturas.
4. El desgaste de las botellas es proporcional a la concentración de soda y al tiempo de inmersión en la lavadora.
5. Las altas temperaturas incrementan la precipitación de sólidos en la superficie de las botellas, aumentando la abrasividad de las mismas.
6. Los repuntes en la concentración de soda en las lavadoras se debieron a problemas con la válvula de suministro, la misma quedaba abierta.
7. El tanque 1 de la lavadora del tren 8 sólo remueve el sucio suelto, mientras que el resto de los tanques remueven el sucio más adherido, provocando que la cantidad de sólidos en él sea menor que en el resto de los tanques.
8. En los tanques de la lavadora del tren 8 los sólidos tienden a sedimentar, lo que provoca que la cantidad de sólidos suspendidos disminuya a lo largo del tiempo.
9. La cantidad de sólidos presentes en los tanques de lavado depende del producto que esté corriendo y del tipo de botella utilizada al momento de tomar la muestra.
10. La variación de los resultados de los análisis dependen de la adición de soda nueva, del tipo de botella utilizada y del producto que esté corriendo en el tren, ya que cada una representa condiciones distintas de la solución limpiadora.



11. Las botellas aumentan su rugosidad al perder sílice, haciendo que la adherencia del sucio sea mayor, ocasionando que el lavado sea menos efectivo.
12. La altura de rayado en las botellas introducidas en el tren 8, bajo las condiciones de velocidad del mismo, resultó de  $(2,80 \pm 0,01)$  mm después de 10 vueltas.
13. La altura de rayado en las botellas introducidas en el tren 10, bajo las condiciones iniciales de velocidad, resultó de  $(2,36 \pm 0,01)$  mm después de 10 vueltas.
14. Las grandes variaciones existentes en la solución limpiadora del tren 8 provoca mayor pérdida de peso y del diámetro del cuerpo de la botella, esto adjudicado a la pérdida en el pirograbado.
15. La alta exposición en el proceso de fricción entre las botellas en el tren 10 provoca mayor pérdida de diámetro en el hombro y el talón, debido a que estos son los puntos de contacto entre las mismas.
16. La altura de rayado en las botellas introducidas en el tren 10, bajo las condiciones ajustadas de velocidad, resultó de  $(1,77 \pm 0,01)$  mm después de 8 vueltas.
17. Las velocidades de las vías del tren 8 no pudieron ser ajustadas, ante la carencia de un variador de frecuencia actualizado, lo que causa que el estudio de rayado sólo fuera hecho con las velocidades iniciales.
18. Con el ajuste en las velocidades de las vías se disminuye el rayado en las botellas en un 25% y aumentan su vida útil al doble del tiempo.
19. El ahorro asociado al aumento de la vida útil de las botellas supera el 85%.



## RECOMENDACIONES

- Sostener conversaciones con la Gerencia de Envasado con el fin de determinar las velocidades de los equipos y de las vías en el resto de los trenes de envasado, y ajustar las que se encuentren desbalanceadas. Esto se haría para aumentar la vida útil de las botellas que pasan por él, así como para disminuir las paradas del tren atribuidas a problemas de sincronización.
- Estudiar el efecto que tiene el balanceo en las líneas sobre el consumo de lubricante, energía y frecuencia de mantenimiento de las vías, ya que, en teoría, estos disminuyen si el tren se encuentra ajustado, teniéndose un ahorro asociado. Para el logro de esto se debe planificar con la Gerencia de Envasado el tiempo de estudio y todos los datos necesarios sobre los suministros de lubricante y energía en cada tren.
- Realizar las mediciones de niveles de ruido, en decibeles, antes y después de balancear los trenes, haciendo uso para ello de un dosímetro, ya que al disminuir las velocidades se reduce el contacto entre las botellas, teniéndose un descenso en el ruido producido. Esto provocaría un ambiente más confortable para los trabajadores de los trenes.
- Determinar cuantitativamente el efecto que presenta la adición de soda nueva sobre la cantidad de sólidos y la demanda química de oxígeno, realizando para ello los análisis a muestras tomadas antes y después de agregar cantidades específicas de soda, obteniendo una relación que permita construir una curva entre la cantidad de sólidos y DQO presentes antes y después de agregar la soda.
- Realizar el seguimiento de las condiciones de las vías y la formación de rayado en la nueva flota de botellas, contando para ello con el apoyo de la Gerencia de Envasado, esto para corroborar los resultados obtenidos en la presente investigación.

## APÉNDICE A DATOS EXPERIMENTALES

**Tabla A.1. Datos recolectados durante los análisis realizados a las muestras de la lavadora del tren 8**

Fecha prueba	Día lavadora	Tanque	Análisis										
			Concentración (%p/p)			Silíce (SiO <sub>2</sub> ± 0,1) mg/L	Demanda Química de O <sub>2</sub>				Sólidos (Muestra = 100 ml)		
			OH (f ± 0,05) ml	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (m ± 0,05) ml	SAF (M ± 0,0000001) mg/L		Muestra (V <sub>m</sub> ± 0,01) ml	Blanco (A ± 0,05) ml	Consumido (B ± 0,05) ml	Filtro (P <sub>s</sub> ± 0,0001)g	Suspendidos (P <sub>s</sub> ± 0,0001)g	Volátiles (P <sub>v</sub> ± 0,0001)g	
27/06/2006	3 días	1 (T= 72° C)	0,50	0,80	149,0				9,5	0,1293	0,1462	0,1347	
		2 (T= 78° C)	3,60	3,90	2,6				9,7	0,1289	0,1445	0,1360	
		3 (T= 78° C)	5,90	6,10	1,8				10,9	0,1285	0,1467	0,1370	
		4 (T= 79° C)	6,40	7,00	1,4		12,60		11,5	0,1292	0,1562	0,1436	
		5 (T= 77° C)	6,80	7,20	0,7				11,5	0,1261	0,1470	0,1369	
		6 (T= 70° C)	3,30	3,60	0,5				12,3	0,1266	0,1389	0,1333	
		7 (T= 55° C)	1,10	1,20	4,4				12,5	0,1282	0,1313	0,1285	
03/07/2006	7 días	1 (T= 70° C)	0,60	0,90	102,3				10,1	0,1294	0,1371	0,1324	
		2 (T= 78° C)	6,00	6,40	1,6				11,0	0,1280	0,1414	0,1345	
		3 (T= 79° C)	6,30	6,70	1,1				10,7	0,1267	0,1436	0,1356	
		4 (T= 79° C)	6,90	7,70	1,2		13,10		10,3	0,1284	0,1483	0,1392	
		5 (T= 76° C)	7,90	8,80	0,6				10,0	0,1286	0,1494	0,1394	
		6 (T= 70° C)	6,00	6,70	0,7				11,2	0,1263	0,1415	0,1343	
		7 (T= 55° C)	2,60	2,80	1,2				12,8	0,1270	0,1333	0,1297	
11/07/2006	9 días	1 (T= 68° C)	0,60	0,90	108,8				11,4	0,1294	0,1371	0,1324	
		2 (T= 77° C)	5,60	5,80	1,4				11,9	0,1280	0,1414	0,1345	
		3 (T= 80° C)	6,50	6,90	0,9				11,7	0,1267	0,1436	0,1356	
		4 (T= 80° C)	6,70	7,60	1,1				11,5	0,1284	0,1483	0,1392	
		5 (T= 77° C)	6,60	7,40	0,5		13,00		11,2	0,1286	0,1494	0,1394	
		6 (T= 68° C)	5,50	6,20	0,6				11,1	0,1263	0,1415	0,1343	
		7 (T= 55° C)	0,90	1,00	24,7				12,9	0,1270	0,1333	0,1297	
20/07/2006	16 días	1 (T= 75° C)	0,60	0,80	107,5				8,4	0,1292	0,1381	0,1325	
		2 (T= 78° C)	4,80	5,00	2,3				9,0	0,1278	0,1433	0,1362	
		3 (T= 75° C)	7,00	7,30	1,1				9,4	0,1292	0,1449	0,1379	
		4 (T= 79° C)	6,70	7,30	1,2		12,70		9,0	0,1282	0,1479	0,1396	
		5 (T= 76° C)	6,60	7,20	0,8				9,1	0,1292	0,1459	0,1381	
		6 (T= 68° C)	6,20	7,00	0,7				9,2	0,1280	0,1436	0,1365	
		7 (T= 55° C)	0,80	0,90	64,6				9,4	0,1246	0,1285	0,1260	
27/07/2006	21 días	1 (T= 63° C)	0,80	1,20	91,5				6,2	0,1265	0,1366	0,1309	
		2 (T= 74° C)	9,20	9,50	1,3				7,5	0,1270	0,1494	0,1390	
		3 (T= 74° C)	6,40	6,90	2,3				8,4	0,1295	0,1485	0,1400	
		4 (T= 77° C)	6,50	7,10	3,3		12,80		9,0	0,1260	0,1491	0,1397	
		5 (T= 75° C)	6,50	7,40	1,2				8,8	0,1298	0,1497	0,1404	
		6 (T= 70° C)	5,80	6,50	4,3				9,6	0,1263	0,1406	0,1340	
		7 (T= 56° C)	1,60	1,70	78,3				12,0	0,1269	0,1320	0,1290	

**Tabla A.2. Datos recolectados durante los análisis realizados a las muestras de la lavadora del tren 10**

Fecha prueba	Día lavadora	Tanque soda	Análisis															
			Concentración (%p/p)			Sílice (SiO <sub>2</sub> ± 0,1) mg/L	SAF (M ± 0,0000001) mol/L	Demanda Química de O <sub>2</sub>			Sólidos (Muestra = 100 ml)							
			OH (f ± 0,05) ml	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> (m ± 0,05) ml	(SiO <sub>2</sub> ± 0,1) mg/L			Muestra (V <sub>m</sub> ± 0,01) ml	Blanco (A ± 0,05) ml	Consumido (B ± 0,05) ml	Filtro (P <sub>F</sub> ± 0,0001)g	Suspendidos (P <sub>S</sub> ± 0,0001)g	Volátiles (P <sub>V</sub> ± 0,0001)g					
15/06/2006	21 días	1 (T= 64°C)	6,30	6,60	1,3		11,40	0,1277	0,1475	-								
		2 (T= 80°C)	6,30	6,70	1,8		11,10	0,1287	0,1508	-								
		3 (T= 82°C)	6,20	6,60	1,3	0,0946900	13,10	0,1285	0,1493	-								
		4 (T= 78°C)	6,30	6,70	0,0		11,40	0,1291	0,1515	-								
		5 (T= 68°C)	6,10	6,50	0,0		11,40	0,1294	0,1484	-								
22/06/2006	27 días	1 (T= 64°C)	6,90	7,20	0,7		11,30	0,1290	0,1505	0,1403								
		2 (T= 80°C)	5,90	6,10	1,3		10,90	0,1268	0,1506	0,1402								
		3 (T= 80°C)	6,90	7,60	0,4	0,0946900	12,40	0,1279	0,1505	0,1403								
		4 (T= 78°C)	6,50	6,90	0,7		10,50	0,1293	0,1514	0,1407								
		5 (T= 69°C)	5,60	5,90	0,9		11,00	0,1273	0,1504	0,1415								
29/06/2006	32 días	1 (T= 62°C)	6,10	6,40	1,0		12,10	0,1291	0,1473	0,1396								
		2 (T= 78°C)	5,80	6,10	1,8		11,50	0,1280	0,1495	0,1409								
		3 (T= 80°C)	5,90	6,20	1,9	0,0946969	12,70	0,1276	0,1478	0,1384								
		4 (T= 77°C)	6,00	6,40	2,4		11,90	0,1272	0,1458	0,1384								
		5 (T= 65°C)	6,00	6,40	2,8		11,70	0,1275	0,1451	0,1379								
06/07/2006	37 días	1 (T= 64°C)	6,80	7,10	0,7		12,00	0,1276	0,1496	0,1404								
		2 (T= 76°C)	6,30	6,70	1,5		11,80	0,1294	0,1585	0,1484								
		3 (T= 79°C)	6,50	7,00	1,6	0,0946900	12,60	0,1278	0,1557	0,1446								
		4 (T= 76°C)	6,10	6,50	1,8		11,60	0,1287	0,1529	0,1433								
		5 (T= 64°C)	5,40	5,60	1,8		11,60	0,1279	0,1563	0,1448								
13/07/2006	43 días	1 (T= 63°C)	6,80	7,10	1,1		11,30	0,1233	0,1420	0,1346								
		2 (T= 78°C)	6,30	6,70	1,3		11,40	0,1277	0,1561	0,1450								
		3 (T= 80°C)	6,50	7,00	1,4	0,0946900	12,70	0,1288	0,1520	0,1466								
		4 (T= 77°C)	6,10	6,50	1,7		11,20	0,1300	0,1590	0,1480								
		5 (T= 66°C)	5,40	5,60	2,1		11,40	0,1298	0,1599	0,1422								
20/07/2006	50 días	1 (T= 64°C)	13,20	13,50	1,1		9,90	0,1292	0,1577	0,1462								
		2 (T= 80°C)	7,00	7,30	3,4		8,90	0,1282	0,1492	0,1405								
		3 (T= 82°C)	6,00	6,30	3,9	0,0954200	12,70	0,1281	0,1455	0,1384								
		4 (T= 79°C)	5,90	6,20	3,7		9,50	0,1284	0,1454	0,1386								
		5 (T= 66°C)	5,50	5,80	4,0		9,60	0,1233	0,1419	0,1345								



Tabla A.3. Datos recolectados en los equipos del tren 8 antes de realizar el ajuste

Equipo	Ciclos	Tiempo ( $t \pm 0,01$ ) s /Golpes
Depaletizadora	1	116,25
	2	116,05
	3	115,64
	4	116,17
	5	115,65
Desembaladora	1	33,47
	2	33,48
	3	33,86
	4	33,73
	5	33,79
Lavadora	1	33
	2	34
	3	33
	4	34
	5	34
Llenadora O	1	22,32
	2	22,18
	3	22,14
	4	22,32
	5	22,23
Llenadora P	1	36,13
	2	35,8
	3	35,67
	4	35,89
	5	36,02
Pasteurizador	1	23,14
	2	23,02
	3	23,22
	4	23,02
	5	23,04
Embaladora	1	36,25
	2	35,41
	3	37,11
	4	36,10
	5	35,88
Paletizadora	1	113,74
	2	115,95
	3	117,00
	4	116,98
	5	113,25

Cabezales desembaladora: 8

Válvulas llenadoras: 88

Ancho pasteurizador: 4,57 m

Cabezales embaladora: 8

Cestas lavadora: 48

Pisos pasteurizador: 2

Paso pasteurizador: 5,83 in

 $A_{\text{botella}}$ : 26,1978 cm<sup>2</sup>





Tabla A.4. Datos recolectados en las vías del tren 8 antes de realizar el ajuste

Motor	Ancho ( $H \pm 0,01$ ) cm	Velocidad ( $\nabla \pm 0,1$ ) m/min
1	57,00	20,2
2	57,00	21,1
3	57,00	20,0
4	57,00	21,9
5	38,00	17,6
6	57,00	13,8
7	38,00	18,5
8	33,40	22,2
9	38,00	15,5
10	33,40	11,4
11	38,00	18,7
12	38,00	18,7
13	33,40	13,8
14	8,40	78,6
15	8,40	69,5
16	8,40	45,4
17	8,40	80,3
18	8,40	45,5
19	8,40	50,8
20	8,40	58,3
21	8,40	51,5
22	57,00	13,3
23	38,00	10,7
24	33,40	23,0
25	8,40	72,5
26	8,40	62,7
27	8,40	41,1
28	8,40	82,7
29	8,40	53,2
30	8,40	60,3
31	8,40	52,3
32	8,40	41,3
33	8,40	43,1
34	8,40	57,1
35	8,40	56,4
36	38,00	45,1
37	38,00	28,4
38	38,00	32,2
39	38,00	14,8
40	38,00	12,9
41	38,00	13,1
42	38,00	13,8
44	38,00	12,4
45	38,00	13,4
46	38,00	11,5
47	38,00	11,2
48	38,00	12,6
49	38,00	11,6
50	57,00	10,1
51	57,00	12,0
52	57,00	14,1
53	57,00	13,5
54	57,00	16,2
55	57,00	17,4
56	57,00	13,3
57	57,00	18,2
58	57,00	18,8
59	57,00	18,2

$A_{\text{botella}}: 26,1978 \text{ cm}^2$



Tabla A.5. Datos recolectados en los equipos del tren 10 antes de realizar el ajuste

Equipo	Ciclo	Tiempo (t ± 0,01) s /Golpes
Depaletizador 1	1	133,13
	2	132,65
	3	132,80
	4	132,54
	5	131,41
Depaletizador 2	1	129,54
	2	130,48
	3	129,99
	4	130,61
	5	128,99
Desembalador 1	1	30,89
	2	30,32
	3	30,09
	4	30,13
	5	30,32
Desembalador 2	1	40,40
	2	37,78
	3	39,53
	4	40,20
	5	40,42
Lavadora	1	30
	2	30
	3	30
	4	30
	5	30
Llenadora S	1	25,24
	2	25,17
	3	25,20
	4	25,16
	5	25,22
Llenadora T	1	22,99
	2	22,97
	3	22,90
	4	22,93
	5	22,93
Pasteurizador	1	12,50
	2	12,52
	3	12,49
	4	12,51
	5	12,55
Embalador 1	1	44,43
	2	40,49
	3	44,31
	4	42,24
	5	44,69
Embalador 2	1	40,00
	2	39,00
	3	39,03
	4	38,98
	5	43,58
Paletizador 1	1	136,98
	2	136,34
	3	139,72
	4	136,31
	5	139,00
Paletizador 2	1	146,20
	2	146,87
	3	133,91
	4	139,16
	5	145,11

Cabezales desembaladora: 7

Válvulas llenadoras: 130

Ancho pasteurizador: 4,87 m

Cabezales embaladora: 7

Cestas lavadora: 74

Pisos pasteurizador: 2

Paso pasteurizador: 5 in

 $A_{\text{botella}}: 26,1978 \text{ cm}^2$



Tabla A.6. Datos recolectados en las vías del tren 10 antes de realizar el ajuste

Sensor	Ancho ( $H \pm 0,01$ ) m	Velocidad ( $\nabla \pm 0,1$ ) m/min
1	100,80	7,1
2	33,60	8,0
3	67,20	10,9
4	8,40	50,0
5	33,60	7,6
6	33,60	8,9
7	8,40	52,6
8	8,40	31,6
9	67,20	12,7
10	33,60	10,9
11	33,60	13,6
12	8,40	58,3
13	8,40	65,1
14	84,00	11,1
15	42,00	10,3
16	42,00	12,7
17	100,80	10,3
18	33,60	9,7
19	33,60	8,1
20	33,60	9,0
21	8,40	50,2
22	8,40	41,4
23	8,40	44,7
24	100,80	10,1
25	42,00	8,3
26	42,00	9,9

$A_{\text{botella}}: 26,1978 \text{ cm}^2$



Tabla A.7. Datos recolectados en los equipos del tren 8 después de realizar el ajuste

Equipo	Ciclos	Tiempo (t ± 0,01) s /Golpes
Depaletizadora	1	117,27
	2	117,20
	3	117,40
	4	117,53
	5	117,46
Desembaladora	1	32,36
	2	32,40
	3	32,45
	4	32,44
	5	33,08
Lavadora	1	34
	2	34
	3	34
	4	34
	5	34
Llenadora O	1	23,00
	2	22,84
	3	22,91
	4	22,94
	5	23,03
Llenadora P	1	22,22
	2	22,29
	3	22,21
	4	22,25
	5	22,23
Pasteurizador	1	22,20
	2	22,02
	3	22,26
	4	22,12
	5	22,20
Embaladora	1	35,63
	2	35,57
	3	35,86
	4	35,64
	5	35,50
Paletizadora	1	116,23
	2	124,46
	3	119,74
	4	118,18
	5	116,12

Cabezales desembaladora: 8

Válvulas llenadoras: 88

Ancho pasteurizador: 4,57 m

Cabezales embaladora: 8

Cestas lavadora: 48

Pisos pasteurizador: 2

Paso pasteurizador: 5,83 in

 $A_{\text{botella}}: 26,1978 \text{ cm}^2$



Tabla A.8. Datos recolectados en las vías del tren 8 después de realizar el ajuste

Motor	Ancho (H $\pm$ 0,01) cm	Velocidad ( $\nabla \pm$ 0,1) m/min
1	57,00	19,8
2	57,00	21,4
3	57,00	20,4
4	57,00	21,7
5	38,00	12,2
6	57,00	11,1
7	38,00	11,7
8	33,40	18,9
9	38,00	15,8
10	33,40	15,7
11	38,00	11,2
12	38,00	18,6
13	33,40	18,4
14	8,40	14,6
15	8,40	11,7
16	8,40	63,1
17	8,40	40,1
18	8,40	47,0
19	8,40	67,8
20	8,40	58,3
21	8,40	44,1
22	57,00	13,3
23	38,00	13,3
24	33,40	11,1
25	8,40	14,1
26	8,40	23,1
27	8,40	10,1
28	8,40	59,2
29	8,40	36,0
30	8,40	64,1
31	8,40	48,0
32	8,40	51,5
33	8,40	48,0
34	8,40	52,0
35	8,40	42,7
36	38,00	47,5
37	38,00	21,2
38	38,00	32,7
39	38,00	15,0
40	38,00	12,7
41	38,00	13,7
42	38,00	13,7
44	38,00	11,7
45	38,00	13,2
46	38,00	11,4
47	38,00	11,4
48	38,00	12,3
49	38,00	10,3
50	57,00	11,5
51	57,00	11,9
52	57,00	16,4
53	57,00	15,0
54	57,00	16,0
55	57,00	13,1
56	57,00	11,3
57	57,00	18,1
58	57,00	24,4
59	57,00	18,2

$A_{\text{botella}}: 26,1978 \text{ cm}^2$



Tabla A.9. Datos recolectados en los equipos del tren 10 después de realizar el ajuste

Equipo	Ciclo	Tiempo (t + 0,01) s /Golpes
Depaletizador 1	1	129,70
	2	124,83
	3	121,34
	4	127,14
	5	123,60
Depaletizador 2	1	126,28
	2	125,57
	3	126,04
	4	127,90
	5	124,11
Desembalador 1	1	28,49
	2	32,74
	3	28,39
	4	28,38
	5	39,05
Desembalador 2	1	34,54
	2	43,68
	3	108,88
	4	42,32
	5	38,85
Lavadora	1	29
	2	30
	3	31
	4	30
	5	30
Llenadora S	1	24,34
	2	24,36
	3	24,29
	4	24,43
	5	24,49
Llenadora T	1	23,74
	2	23,92
	3	23,78
	4	23,69
	5	23,99
Pasteurizador	1	12,16
	2	12,33
	3	12,33
	4	12,63
	5	12,59
Embalador 1	1	44,85
	2	44,52
	3	44,27
	4	44,40
	5	44,29
Embalador 2	1	39,34
	2	43,48
	3	39,14
	4	39,15
	5	39,07
Paletizador 1	1	126,27
	2	137,99
	3	118,97
	4	120,09
	5	108,97
Paletizador 2	1	141,20
	2	137,67
	3	149,30
	4	134,31
	5	141,32

Cabezales desembaladora: 7

Válvulas llenadoras: 130

Ancho pasteurizador: 4,87 m

Cabezales embaladora: 7

Cestas lavadora: 74

Pisos pasteurizador: 2

Paso pasteurizador: 5 in

 $A_{\text{botella}}: 26,1978 \text{ cm}^2$

**Tabla A.10. Datos recolectados en las vías del tren 10 después de realizar el ajuste**

Sensor	Ancho ( $H \pm 0,01$ ) m	Velocidad ( $V \pm 0,1$ ) m/min
1	100,80	7,1
2	33,60	6,0
3	67,20	8,8
4	8,40	40,1
5	33,60	6,7
6	33,60	8,0
7	8,40	31,5
8	8,40	34,3
9	33,60	10,5
10	33,60	11,9
11	8,40	62,8
12	8,40	75,9
13	8,40	62,4
14	84,00	10,9
15	42,00	9,7
16	42,00	13,0
17	100,80	12,0
18	33,60	7,2
19	33,60	11,1
20	33,60	9,1
21	8,40	38,6
22	8,40	48,9
23	8,40	51,0
24	100,80	8,1
25	42,00	8,1
26	42,00	5,5

$A_{\text{botella}}: 26,1978 \text{ cm}^2$



Tabla A.11. Datos de las botellas introducidas en el tren 8 antes de realizar el ajuste

Vuelta	# botella	Peso (P ± 0,0001) g	Hombro (H ± 0,01) mm	Cuerpo (C ± 0,01) mm	Talón (T ± 0,01) mm
0	79	227,2229	55,08	54,29	54,89
	80	226,8774	55,44	54,94	55,03
	81	228,7145	55,40	54,81	55,02
	82	228,3577	55,76	55,48	55,03
	83	227,1271	55,13	54,51	54,80
	84	227,1853	55,26	54,59	54,90
	85	227,3027	55,23	54,52	54,89
	86	227,8048	55,31	54,65	54,84
	87	227,6125	55,15	54,47	54,91
	88	227,2564	55,45	54,99	55,01
	89	227,1099	55,07	54,20	54,71
	91	226,2279	55,45	54,75	54,87
	92	227,0586	55,36	55,00	54,92
	95	226,4841	55,22	54,66	54,97
96	227,3414	55,69	55,12	54,93	
2	79	227,2061	55,07	54,28	54,88
	80	226,8614	55,44	54,93	55,02
	81	228,6999	55,40	54,79	54,98
	82	228,3463	55,74	55,44	54,99
	83	227,1106	55,11	54,44	54,78
	84	227,1670	55,25	54,48	54,89
	85	227,2849	55,23	54,47	54,87
	86	227,7886	55,31	54,65	54,83
	87	227,5912	55,12	54,46	54,81
	88	227,2401	55,44	54,93	54,99
	89	227,0895	55,05	54,12	54,70
	91	226,2120	55,44	54,72	54,87
	92	227,0535	55,36	54,97	54,90
	95	226,4711	55,22	54,63	54,85
96	227,3241	55,63	55,09	54,90	
4	79	227,1938	55,07	54,28	54,84
	80	226,8507	55,44	54,93	54,98
	81	228,6902	55,36	54,78	54,96
	82	228,3298	55,74	55,40	54,99
	83	227,0997	55,09	54,44	54,78
	84	227,1576	55,24	54,48	54,88
	85	227,2722	55,22	54,44	54,87
	86	227,7699	55,30	54,61	54,82
	87	227,5875	55,11	54,41	54,81
	88	227,2262	55,42	54,83	54,94
	89	227,0823	55,05	54,06	54,70
	91	226,2032	55,42	54,66	54,87
	92	227,0482	55,35	54,95	54,90
	95	226,4575	55,20	54,61	54,84
96	227,3151	55,61	55,09	54,90	



**Tabla A.11(Continuación). Datos de las botellas introducidas en el tren 8 antes de realizar el ajuste**

Vuelta	# botella	Peso (P ± 0,0001) g	Hombro (H ± 0,01) mm	Cuerpo (C ± 0,01) mm	Talón (T ± 0,01) mm
6	79	227,1820	55,05	54,27	54,83
	80	226,8414	55,42	54,91	54,97
	81	228,6734	55,35	54,77	54,94
	82	228,3188	55,73	55,40	54,99
	83	227,0812	55,08	54,28	54,78
	84	227,1438	55,24	54,46	54,88
	85	227,2731	55,21	54,44	54,86
	86	227,7654	55,29	54,61	54,82
	87	227,5662	55,09	54,39	54,81
	88	227,2149	55,39	54,82	54,93
	89	227,0649	55,03	54,02	54,70
	91	226,1852	55,41	54,66	54,87
	92	227,0288	55,35	54,93	54,88
	95	226,4452	55,20	54,61	54,82
96	227,2909	55,59	55,08	54,90	
8	79	227,1590	55,04	54,27	54,80
	80	226,8075	55,40	54,88	54,95
	81	228,6504	55,34	54,75	54,92
	82	228,3040	55,73	55,40	54,98
	83	227,0774	55,07	54,28	54,78
	84	227,1210	55,22	54,46	54,88
	85	227,2486	55,20	54,44	54,81
	86	227,7608	55,29	54,60	54,82
	87	227,5483	55,07	54,36	54,81
	88	227,2025	55,39	54,81	54,93
	89	227,0482	55,00	54,02	54,68
	91	226,1703	55,41	54,64	54,86
	92	227,0154	55,34	54,86	54,88
	95	226,4274	55,18	54,61	54,82
96	227,2841	55,57	55,08	54,89	
10	79	227,1468	55,04	54,24	54,80
	80	226,8052	55,40	54,86	54,94
	81	228,6369	55,33	54,75	54,92
	82	228,2873	55,73	55,40	54,97
	83	227,0510	55,04	54,23	54,78
	84	227,1080	55,22	54,46	54,88
	85	227,2270	55,18	54,43	54,80
	86	227,7318	55,25	54,57	54,81
	87	227,5292	55,05	54,32	54,81
	88	227,1805	55,37	54,81	54,92
	89	227,0329	54,98	53,99	54,68
	91	226,1510	55,40	54,64	54,86
	92	226,9935	55,30	54,86	54,85
	95	226,4124	55,17	54,61	54,82
96	227,2596	55,56	55,05	54,89	

**Tabla A.12. Datos de las botellas introducidas en el tren 10 antes de realizar el ajuste**

Vuelta	# botella	Peso (P ± 0,0001) g	Hombro (H ± 0,01) mm	Cuerpo (C ± 0,01) mm	Talón (T ± 0,01) mm
0	11	232,5256	55,16	54,56	55,40
	15	235,0046	55,22	54,26	55,52
	16	232,7434	54,98	54,06	55,32
	17	231,5028	54,81	53,81	55,20
	18	234,9376	55,51	54,38	55,76
	19	232,2129	54,76	54,12	55,14
	20	231,2956	55,14	54,81	55,74
	21	231,6574	55,17	54,14	55,43
	22	225,4108	54,82	54,32	55,66
	23	226,6106	54,81	54,11	55,56
	25	232,3438	54,95	54,39	55,50
	26	232,7415	55,35	54,81	55,46
	28	232,3294	55,19	54,11	55,44
2	30	231,2531	55,24	54,66	55,73
	31	231,8212	55,17	54,35	55,10
	11	232,5204	55,10	54,47	55,31
	15	234,9940	55,21	54,26	55,47
	16	232,7361	54,98	54,06	55,31
	17	231,4944	54,78	53,81	55,20
	18	234,9260	55,34	54,38	55,76
	19	232,2040	54,76	54,08	55,12
	20	231,2855	55,13	54,81	55,73
	21	231,6469	55,15	54,12	55,43
	22	225,4004	54,82	54,32	55,65
	23	226,6035	54,81	54,11	55,55
	25	232,3359	54,93	54,39	55,48
26	232,7364	55,27	54,81	55,44	
28	232,3230	55,16	54,11	55,44	
4	30	231,2432	55,20	54,64	55,71
	31	231,8151	55,17	54,32	55,08
	11	232,5124	55,09	54,25	55,28
	15	234,9896	55,13	54,22	55,47
	16	232,7288	54,97	54,06	55,28
	17	231,4859	54,78	53,77	55,19
	18	234,9204	55,23	54,35	55,67
	19	232,1991	54,75	54,08	55,12
	20	231,2809	55,11	54,75	55,72
	21	231,6434	55,15	54,12	55,41
	22	225,3979	54,65	54,29	55,64
	23	226,5978	54,78	54,10	55,48
	25	232,3281	54,92	54,38	55,44
26	232,7302	55,24	54,73	55,44	
28	232,3155	55,12	54,10	55,36	
30	231,2388	55,20	54,62	55,63	
31	231,8057	55,15	54,30	55,08	

**Tabla A.12 (Continuación). Datos de las botellas introducidas en el tren 10 antes de realizar el ajuste**

Vuelta	# botella	Peso (P ± 0,0001) g	Hombro (H ± 0,01) mm	Cuerpo (C ± 0,01) mm	Talón (T ± 0,01) mm
6	11	232,5067	55,06	54,19	55,28
	15	234,9827	55,08	54,19	55,45
	16	232,7225	54,92	54,06	55,28
	17	231,4856	54,72	53,76	55,19
	19	232,1904	54,75	54,07	55,12
	20	231,2728	55,11	54,63	55,60
	21	231,6373	55,12	54,10	55,40
	22	225,3886	54,62	54,22	55,64
	23	226,5879	54,77	54,10	55,47
	25	232,3232	54,92	54,35	55,43
	26	232,7242	55,22	54,72	55,44
	28	232,3069	55,12	54,06	55,36
	30	231,2335	55,18	54,62	55,63
	31	231,8026	55,15	54,30	55,08
8	11	232,4938	55,04	54,17	55,28
	15	234,9729	55,06	54,19	55,43
	16	232,7126	54,91	54,04	55,27
	17	231,4727	54,68	53,73	55,18
	19	232,1788	54,74	54,03	55,12
	20	231,2619	55,11	54,63	55,59
	21	231,6240	55,12	54,10	55,40
	22	225,3778	54,60	54,21	55,63
	23	226,5735	54,76	54,09	55,47
	25	232,3102	54,90	54,35	55,40
	26	232,7109	55,21	54,71	55,43
	28	232,3002	55,12	54,03	55,36
	30	231,2195	55,17	54,57	55,63
	31	231,7954	55,14	54,30	55,08
10	11	232,4891	55,02	54,15	55,27
	15	234,9657	55,04	54,19	55,43
	16	232,7026	54,91	53,98	55,26
	17	231,4583	54,66	53,73	55,14
	19	232,1729	54,74	54,00	55,12
	20	231,2543	55,10	54,63	55,50
	21	231,6189	55,11	54,09	55,37
	22	225,3683	54,59	54,20	55,61
	23	226,5696	54,76	54,08	55,45
	25	232,3017	54,88	54,33	55,30
	26	232,6987	55,21	54,71	55,41
	28	232,2913	55,11	54,02	55,35
	30	231,2100	55,16	54,54	55,60
	31	231,7849	55,11	54,29	55,08

**Tabla A.13. Datos de las botellas introducidas en el tren 10 después de realizar el ajuste**

Vuelta	# botella	Peso (P ± 0,0001) g	Hombro (H ± 0,01) mm	Cuerpo (C ± 0,01) mm	Talón (T ± 0,01) mm
0	21	226,7587	55,37	54,39	54,89
	24	228,3024	55,50	54,79	54,87
	26	225,0959	54,87	53,95	54,78
	27	226,3714	55,56	55,17	55,04
	30	226,1395	55,47	54,86	54,96
	31	226,4064	55,24	54,74	54,95
	32	225,8018	55,41	54,47	54,95
	33	228,0818	55,56	54,62	55,09
	34	227,1104	55,15	54,25	54,88
	36	226,9349	55,47	54,59	54,86
2	21	226,7568	55,35	54,37	54,88
	24	228,3022	55,46	54,79	54,86
	26	225,0917	54,87	53,93	54,78
	27	226,3694	55,47	55,16	54,98
	30	226,1327	55,46	54,85	54,96
	31	226,4044	55,23	54,72	54,92
	32	225,8015	55,41	54,46	54,93
	33	228,0799	55,52	54,62	55,08
	34	227,1076	55,12	54,24	54,88
	36	226,9320	55,42	54,58	54,85
4	21	226,7484	55,32	54,37	54,88
	24	228,2955	55,46	54,78	54,85
	26	225,0854	54,86	53,93	54,78
	27	226,3602	55,46	55,16	54,98
	30	226,1189	55,43	54,85	54,96
	31	226,3950	55,23	54,72	54,92
	32	225,7944	55,40	54,45	54,92
	33	228,0709	55,48	54,62	55,06
	34	227,0989	55,12	54,24	54,86
	36	226,9223	55,42	54,58	54,85
6	21	226,7437	55,25	54,37	54,87
	24	228,2896	55,44	54,78	54,85
	26	225,0769	54,84	53,93	54,77
	27	226,3520	55,46	55,16	54,98
	30	226,1116	55,41	54,85	54,96
	31	226,3871	55,22	54,72	54,92
	32	225,7851	55,40	54,42	54,90
	33	228,0645	55,48	54,62	55,03
	34	227,0949	55,11	54,24	54,84
	36	226,9164	55,42	54,58	54,84
8	21	226,7372	55,24	54,37	54,84
	24	228,2844	55,43	54,77	54,85
	26	225,0703	54,83	53,93	54,77
	27	226,3444	55,46	55,15	54,93
	30	226,1043	55,37	54,83	54,94
	31	226,3801	55,22	54,72	54,90
	32	225,7752	55,38	54,40	54,85
	33	228,0580	55,43	54,57	55,02
	34	227,0878	55,10	54,24	54,83
	36	226,9038	55,42	54,58	54,84

## APÉNDICE B

### TABLAS DE RESULTADOS EXPERIMENTALES

**Tabla B.1. Resultados obtenidos en los análisis realizados a la lavadora del tren 8**

Fecha realización prueba	Día lavadora	Tanque	Análisis						Sólidos volátiles (S <sub>v</sub> ± 5) mg/L
			Concentración (%p/p)		Sílice (SiO <sub>2</sub> ± 0,1) mg/L	Demanda Química de O <sub>2</sub> (DQO ± 130) mg O <sub>2</sub> /L	Sólidos suspendidos (S <sub>ST</sub> ± 5) mg/L		
			OH <sup>-</sup> (p/p ± 0,06)%	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> (p/p ± 0,11)%					
27/06/2006	3 días	1 (T= 72° C)	0,08	0,32	149,0	4700	170	120	
		2 (T= 78° C)	1,32	0,32	2,6	4570	160	90	
		3 (T= 78° C)	2,28	0,21	1,8	2680	180	100	
		4 (T= 79° C)	2,32	0,64	1,4	1730	270	130	
		5 (T= 77° C)	2,56	0,42	0,7	1730	210	100	
		6 (T= 70° C)	1,20	0,32	0,5	470	120	60	
		7 (T= 55° C)	0,40	0,11	4,4	160	30	30	
03/07/2006	7 días	1 (T= 70° C)	0,12	0,32	102,3	4550	80	50	
		2 (T= 78° C)	2,24	0,42	1,6	3190	130	70	
		3 (T= 79° C)	2,36	0,42	1,1	3640	170	80	
		4 (T= 79° C)	2,44	0,85	1,2	4250	200	90	
		5 (T= 76° C)	2,80	0,95	0,6	4700	210	100	
		6 (T= 70° C)	2,12	0,74	0,7	2880	150	70	
		7 (T= 55° C)	0,96	0,21	1,2	460	60	40	
11/07/2006	9 días	1 (T= 68° C)	0,12	0,32	108,8	2450	80	50	
		2 (T= 77° C)	2,16	0,21	1,4	1680	130	60	
		3 (T= 80° C)	2,44	0,42	0,9	1990	140	70	
		4 (T= 80° C)	2,32	0,95	1,1	2290	190	80	
		5 (T= 77° C)	2,32	0,85	0,5	2750	160	70	
		6 (T= 68° C)	1,92	0,74	0,6	2900	140	70	
		7 (T= 55° C)	0,32	0,08	24,7	200	30	20	
20/07/2006	16 días	1 (T= 75° C)	0,16	0,21	107,5	3290	110	60	
		2 (T= 78° C)	1,84	0,21	2,3	2830	160	70	
		3 (T= 75° C)	2,68	0,32	1,1	2520	160	70	
		4 (T= 79° C)	2,44	0,64	1,2	2830	200	80	
		5 (T= 76° C)	2,40	0,64	0,8	2750	170	80	
		6 (T= 68° C)	2,16	0,21	0,7	2680	160	70	
		7 (T= 55° C)	0,28	0,11	64,6	480	40	30	
27/07/2006	21 días	1 (T= 63° C)	0,16	0,42	91,5	5160	100	60	
		2 (T= 74° C)	3,56	0,32	1,3	4140	220	100	
		3 (T= 74° C)	2,36	0,53	2,3	3440	190	90	
		4 (T= 77° C)	2,36	0,64	3,3	2980	230	90	
		5 (T= 75° C)	2,24	0,95	1,2	3130	200	90	
		6 (T= 70° C)	2,04	0,74	4,3	2500	140	70	
		7 (T= 56° C)	0,60	0,11	78,3	630	50	30	

Tabla B.2 Resultados obtenidos en los análisis realizados a la lavadora del tren 10

Fecha realización prueba	Día lavadora	Tanque soda	Análisis						Sólidos volátiles (S <sub>v</sub> ± 5) mg/L
			Concentración (%p/p)		Sílice (SiO <sub>2</sub> ± 0,1) mg/L	Demanda Química de O <sub>2</sub> (DQO ± 130) mg O <sub>2</sub> /L	Sólidos suspendidos (S <sub>ST</sub> ± 5) mg/L		
			OH <sup>-</sup> (p/p ± 0,06)%	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> (p/p ± 0,11)%					
15/06/2006	21 días	1 (T= 64°C)	2,40	0,32	1,3	2720	200	-	
		2 (T= 80°C)	2,36	0,42	1,8	3200	220	-	
		3 (T= 82°C)	2,32	0,42	1,3	2256	210	-	
		4 (T= 78°C)	2,36	0,42	0,0	2720	220	-	
		5 (T= 68°C)	2,28	0,42	0,0	2720	200	-	
22/06/2006	27 días	1 (T= 64°C)	2,64	0,32	0,7	1670	220	100	
		2 (T= 80°C)	2,28	0,21	1,3	2270	240	100	
		3 (T= 80°C)	2,48	0,74	0,4	2120	230	100	
		4 (T= 78°C)	2,44	0,42	0,7	2880	220	110	
		5 (T= 69°C)	2,12	0,32	0,9	2120	230	90	
29/06/2006	32 días	1 (T= 62°C)	2,32	0,32	1,0	910	220	90	
		2 (T= 78°C)	2,20	0,32	1,8	1120	290	100	
		3 (T= 80°C)	2,24	0,32	1,9	1370	280	110	
		4 (T= 77°C)	2,24	0,42	2,4	1520	240	100	
		5 (T= 65°C)	2,24	0,42	2,8	1520	280	120	
06/07/2006	37 días	1 (T= 64°C)	2,60	0,32	0,7	910	180	80	
		2 (T= 76°C)	2,36	0,42	1,5	1820	220	90	
		3 (T= 79°C)	2,40	0,53	1,6	1520	200	80	
		4 (T= 76°C)	2,28	0,42	1,8	1210	190	70	
		5 (T= 64°C)	2,08	0,21	1,8	1520	180	70	
13/07/2006	43 días	1 (T= 63°C)	2,48	0,21	1,1	2070	190	80	
		2 (T= 78°C)	2,20	0,32	1,3	1990	180	80	
		3 (T= 80°C)	2,32	0,21	1,4	1840	180	70	
		4 (T= 77°C)	2,24	0,32	1,7	2220	180	80	
		5 (T= 66°C)	2,16	0,42	2,1	1910	200	80	
20/07/2006	50 días	1 (T= 64°C)	5,16	0,32	1,1	2140	290	120	
		2 (T= 80°C)	2,68	0,32	3,4	2900	210	90	
		3 (T= 82°C)	2,28	0,32	3,9	2600	170	70	
		4 (T= 79°C)	2,24	0,32	3,7	2450	170	70	
		5 (T= 66°C)	2,08	0,32	4,0	2370	190	70	

**Tabla B.3 Velocidades de los equipos de los trenes 8 y 10 antes y después de los ajustes**

Tren	Condición	Equipo	Velocidad (V ± 23) bpm
Tren 8	Antes ajuste	Depaletizador	1341
		Desembalador	1540
		Lavadora	1613
		Llenadora	1447
		Pasteurizador	1344
		Embalador	1434
		Paletizador	1348
	Después ajuste	Depaletizador	1325
		Desembalador	1593
		Lavadora	1632
		Llenadora	1402
		Pasteurizador	1400
		Embalador	1455
		Paletizador	1307
Tren 10	Antes ajuste	Depaletizador	2371
		Desembalador	2639
		Lavadora	2220
		Llenadora	1949
		Pasteurizador	2264
		Embalador	2180
		Paletizador	2223
	Después ajuste	Depaletizador	2475
		Desembalador	2289
		Lavadora	2220
		Llenadora	1942
		Pasteurizador	2283
		Embalador	2153
		Paletizador	2375

Tabla B.4. Velocidades de las vías en el tren 8 antes y después de los ajustes

Antes ajuste				Después ajuste			
Motor	Velocidad (V ± 23) bpm	Motor	Velocidad (V ± 23) bpm	Motor	Velocidad (V ± 23) bpm	Motor	Velocidad (V ± 23) bpm
1	4395	30	1933	1	4308	30	2000
2	4591	31	1677	2	4656	31	1539
3	4352	32	1324	3	4439	32	1651
4	4765	33	1382	4	4721	33	1539
5	2553	34	1831	5	2654	34	1667
6	3046	35	1808	6	2415	35	1369
7	2683	36	6543	7	2546	36	1523
8	2830	37	4119	8	2741	37	3075
9	2698	38	4671	9	2026	38	4743
10	1453	39	2147	10	2277	39	2176
11	2712	40	1871	11	1436	40	1842
12	2712	41	1900	12	2698	41	1987
13	1759	42	2002	13	2669	42	1987
14	2520	44	1799	14	1873	44	1697
15	2228	45	1944	15	1501	45	1915
16	1456	46	1668	16	2023	46	1654
17	2575	47	1625	18	1286	47	1654
18	1459	48	1828	17	1455	48	1784
19	1629	49	1683	19	1507	49	1494
20	1869	50	2198	20	2174	50	2502
21	2894	51	2611	21	1414	51	2589
22	1552	52	3068	22	2894	52	3568
23	2932	53	2937	23	1610	53	3264
24	2010	54	3525	24	2963	54	3481
25	1494	55	3786	25	1295	55	2850
26	1318	56	2894	26	1898	56	2459
27	2652	57	3960	27	1154	57	3938
28	1706	58	4090	28	2055	58	3539
29	1933	59	3960	29	2135	59	3539





**Tabla B.5. Velocidades de los equipos del tren 10 antes y después del ajuste**

Antes ajuste		Después ajuste	
Sensor	Velocidad (V ± 23) bpm	Sensor	Velocidad (V ± 23) bpm
1	2732	1	2732
2	1026	2	770
3	2796	3	2257
4	1603	4	1286
5	975	5	859
6	1141	6	1026
7	1687	7	1010
8	1013	8	1100
9	3258	9	1347
10	1398	10	1526
11	1744	11	2014
12	1869	12	2434
13	2087	13	2001
14	3559	14	3495
15	1651	15	1555
16	2036	16	2084
17	3963	17	4617
18	1244	18	923
19	1039	19	1424
20	1154	20	1167
21	1610	21	1238
22	1327	22	1568
23	1433	23	1635
24	3886	24	3117
25	1331	25	1299
26	1587	26	882

**Tabla B.6. Porcentaje de pérdida de peso y diámetro en las botellas introducidas en el tren 8 antes del ajuste**

Vuelta	Botella	% de pérdida (Pérdida $\pm$ 0,0001) %			
		Peso	Diámetro hombro	Diámetro cuerpo	Diámetro talón
2	79	0,0074%	0,0182%	0,0184%	0,0182%
	80	0,0071%	0,0000%	0,0182%	0,0182%
	81	0,0064%	0,0000%	0,0365%	0,0727%
	82	0,0050%	0,0359%	0,0721%	0,0727%
	83	0,0073%	0,0363%	0,1284%	0,0365%
	84	0,0081%	0,0181%	0,2015%	0,0182%
	85	0,0078%	0,0000%	0,0917%	0,0364%
	86	0,0071%	0,0000%	0,0000%	0,0182%
	87	0,0094%	0,0544%	0,0184%	0,1821%
	88	0,0072%	0,0180%	0,1091%	0,0364%
	89	0,0090%	0,0363%	0,1476%	0,0183%
	91	0,0070%	0,0180%	0,0548%	0,0000%
92	0,0022%	0,0000%	0,0545%	0,0364%	
95	0,0057%	0,0000%	0,0549%	0,2183%	
96	0,0076%	0,1077%	0,0544%	0,0546%	
4	79	0,0128%	0,0182%	0,0184%	0,0911%
	80	0,0118%	0,0000%	0,0182%	0,0909%
	81	0,0106%	0,0722%	0,0547%	0,1091%
	82	0,0122%	0,0359%	0,1442%	0,0727%
	83	0,0121%	0,0726%	0,1284%	0,0365%
	84	0,0122%	0,0362%	0,2015%	0,0364%
	85	0,0134%	0,0181%	0,1467%	0,0364%
	86	0,0153%	0,0181%	0,0732%	0,0365%
	87	0,0110%	0,0725%	0,1102%	0,1821%
	88	0,0133%	0,0541%	0,2910%	0,1272%
	89	0,0122%	0,0363%	0,2583%	0,0183%
	91	0,0109%	0,0541%	0,1644%	0,0000%
92	0,0046%	0,0181%	0,0909%	0,0364%	
95	0,0117%	0,0362%	0,0915%	0,2365%	
96	0,0116%	0,1437%	0,0544%	0,0546%	
6	79	0,0180%	0,0545%	0,0368%	0,1093%
	80	0,0159%	0,0361%	0,0546%	0,1090%
	81	0,0180%	0,0903%	0,0730%	0,1454%
	82	0,0170%	0,0538%	0,1442%	0,0727%
	83	0,0202%	0,0907%	0,4219%	0,0365%
	84	0,0183%	0,0362%	0,2381%	0,0364%
	85	0,0130%	0,0362%	0,1467%	0,0547%
	86	0,0173%	0,0362%	0,0732%	0,0365%
	87	0,0203%	0,1088%	0,1469%	0,1821%
	88	0,0183%	0,1082%	0,3091%	0,1454%
	89	0,0198%	0,0726%	0,3321%	0,0183%
	91	0,0189%	0,0721%	0,1644%	0,0000%
92	0,0131%	0,0181%	0,1273%	0,0728%	
95	0,0172%	0,0362%	0,0915%	0,2729%	
96	0,0222%	0,1796%	0,0726%	0,0546%	
8	79	0,0281%	0,0726%	0,0368%	0,1640%
	80	0,0308%	0,0722%	0,1092%	0,1454%
	81	0,0280%	0,1083%	0,1095%	0,1818%
	82	0,0235%	0,0538%	0,1442%	0,0909%
	83	0,0219%	0,1088%	0,4219%	0,0365%
	84	0,0283%	0,0724%	0,2381%	0,0364%
	85	0,0238%	0,0543%	0,1467%	0,1457%
	86	0,0193%	0,0362%	0,0915%	0,0365%
	87	0,0282%	0,1451%	0,2019%	0,1821%
	88	0,0237%	0,1082%	0,3273%	0,1454%
	89	0,0272%	0,1271%	0,3321%	0,0548%
	91	0,0255%	0,0721%	0,2009%	0,0182%
92	0,0190%	0,0361%	0,2545%	0,0728%	
95	0,0250%	0,0724%	0,0915%	0,2729%	
96	0,0252%	0,2155%	0,0726%	0,0728%	
10	79	0,0335%	0,0726%	0,0921%	0,1640%
	80	0,0318%	0,0722%	0,1456%	0,1635%
	81	0,0339%	0,1264%	0,1095%	0,1818%
	82	0,0308%	0,0538%	0,1442%	0,1090%
	83	0,0335%	0,1633%	0,5137%	0,0365%
	84	0,0340%	0,0724%	0,2381%	0,0364%
	85	0,0333%	0,0905%	0,1651%	0,1640%
	86	0,0320%	0,1085%	0,1464%	0,0547%
	87	0,0366%	0,1813%	0,2754%	0,1821%
	88	0,0334%	0,1443%	0,3273%	0,1636%
	89	0,0339%	0,1634%	0,3875%	0,0548%
	91	0,0340%	0,0902%	0,2009%	0,0182%
92	0,0287%	0,1084%	0,2545%	0,1275%	
95	0,0317%	0,0905%	0,0915%	0,2729%	
96	0,0360%	0,2334%	0,1270%	0,0728%	

**Tabla B.7. Porcentaje de pérdida de peso y diámetro en las botellas introducidas en el tren 10 antes del ajuste**

Vuelta	Botella	% de pérdida (Pérdida $\pm$ 0,0001) %			
		Peso	Diámetro hombro	Diámetro cuerpo	Diámetro talón
2	11	0,0022%	0,1088%	0,1650%	0,1625%
	15	0,0045%	0,0181%	0,0000%	0,0901%
	16	0,0031%	0,0000%	0,0000%	0,0181%
	17	0,0036%	0,0547%	0,0000%	0,0000%
	18	0,0049%	0,3063%	0,0000%	0,0000%
	19	0,0038%	0,0000%	0,0739%	0,0363%
	20	0,0044%	0,0181%	0,0000%	0,0179%
	21	0,0045%	0,0363%	0,0369%	0,0000%
	22	0,0046%	0,0000%	0,0000%	0,0180%
	23	0,0031%	0,0000%	0,0000%	0,0180%
	25	0,0034%	0,0364%	0,0000%	0,0360%
4	26	0,0022%	0,1445%	0,0000%	0,0361%
	28	0,0028%	0,0544%	0,0000%	0,0000%
	30	0,0043%	0,0724%	0,0366%	0,0359%
	31	0,0026%	0,0000%	0,0552%	0,0363%
	11	0,0057%	0,1269%	0,5682%	0,2166%
	15	0,0064%	0,1630%	0,0737%	0,0901%
	16	0,0063%	0,0182%	0,0000%	0,0723%
	17	0,0073%	0,0547%	0,0743%	0,0181%
	18	0,0073%	0,5044%	0,0552%	0,1614%
	19	0,0059%	0,0183%	0,0739%	0,0363%
	20	0,0064%	0,0544%	0,1095%	0,0359%
21	0,0060%	0,0363%	0,0369%	0,0361%	
22	0,0057%	0,3101%	0,0552%	0,0359%	
23	0,0056%	0,0547%	0,0185%	0,1440%	
25	0,0068%	0,0546%	0,0184%	0,1081%	
26	0,0049%	0,1987%	0,1460%	0,0361%	
28	0,0060%	0,1268%	0,0185%	0,1443%	
30	0,0062%	0,0724%	0,0732%	0,1794%	
31	0,0067%	0,0363%	0,0920%	0,0363%	
6	11	0,0081%	0,1813%	0,6782%	0,2166%
	15	0,0093%	0,2535%	0,1290%	0,1261%
	16	0,0090%	0,1091%	0,0000%	0,0723%
	17	0,0074%	0,1642%	0,0929%	0,0181%
	19	0,0097%	0,0183%	0,0924%	0,0363%
	20	0,0099%	0,0544%	0,3284%	0,2512%
	21	0,0087%	0,0906%	0,0739%	0,0541%
	22	0,0098%	0,3648%	0,1841%	0,0359%
	23	0,0100%	0,0730%	0,0185%	0,1620%
	25	0,0089%	0,0546%	0,0735%	0,1261%
	26	0,0074%	0,2349%	0,1642%	0,0361%
28	0,0097%	0,1268%	0,0924%	0,1443%	
30	0,0085%	0,1086%	0,0732%	0,1794%	
31	0,0080%	0,0363%	0,0920%	0,0363%	
8	11	0,0137%	0,2175%	0,7148%	0,2166%
	15	0,0135%	0,2898%	0,1290%	0,1621%
	16	0,0132%	0,1273%	0,0370%	0,0904%
	17	0,0130%	0,2372%	0,1487%	0,0362%
	19	0,0147%	0,0365%	0,1663%	0,0363%
	20	0,0146%	0,0544%	0,3284%	0,2691%
	21	0,0144%	0,0906%	0,0739%	0,0541%
	22	0,0146%	0,4013%	0,2025%	0,0539%
	23	0,0164%	0,0912%	0,0370%	0,1620%
	25	0,0145%	0,0910%	0,0735%	0,1802%
	26	0,0131%	0,2529%	0,1824%	0,0541%
28	0,0126%	0,1268%	0,1478%	0,1443%	
30	0,0145%	0,1267%	0,1647%	0,1794%	
31	0,0111%	0,0544%	0,0920%	0,0363%	
10	11	0,0157%	0,2538%	0,7515%	0,2347%
	15	0,0166%	0,3260%	0,1290%	0,1621%
	16	0,0175%	0,1273%	0,1480%	0,1085%
	17	0,0192%	0,2737%	0,1487%	0,1087%
	19	0,0172%	0,0365%	0,2217%	0,0363%
	20	0,0179%	0,0725%	0,3284%	0,4306%
	21	0,0166%	0,1088%	0,0924%	0,1082%
	22	0,0189%	0,4196%	0,2209%	0,0898%
	23	0,0181%	0,0912%	0,0554%	0,1980%
	25	0,0181%	0,1274%	0,1103%	0,3604%
	26	0,0184%	0,2529%	0,1824%	0,0902%
28	0,0164%	0,1450%	0,1663%	0,1623%	
30	0,0186%	0,1448%	0,2195%	0,2333%	
31	0,0157%	0,1088%	0,1104%	0,0363%	

**B.8. Porcentaje de pérdida de peso y diámetro en las botellas introducidas en el tren 10 después del ajuste**

Vuelta	Botella	% de pérdida (Pérdida $\pm$ 0,0001) %			
		Peso	Diámetro hombro	Diámetro cuerpo	Diámetro talón
2	21	0,0008%	0,0361%	0,0368%	0,0182%
	24	0,0001%	0,0721%	0,0000%	0,0182%
	26	0,0019%	0,0000%	0,0371%	0,0000%
	27	0,0009%	0,1620%	0,0181%	0,1090%
	30	0,0030%	0,0180%	0,0182%	0,0000%
	31	0,0009%	0,0181%	0,0365%	0,0546%
	32	0,0001%	0,0000%	0,0184%	0,0364%
	33	0,0008%	0,0720%	0,0000%	0,0182%
	34	0,0012%	0,0544%	0,0184%	0,0000%
	36	0,0013%	0,0901%	0,0183%	0,0182%
4	21	0,0045%	0,0903%	0,0368%	0,0182%
	24	0,0030%	0,0721%	0,0183%	0,0364%
	26	0,0047%	0,0182%	0,0371%	0,0000%
	27	0,0049%	0,1800%	0,0181%	0,1090%
	30	0,0091%	0,0721%	0,0182%	0,0000%
	31	0,0050%	0,0181%	0,0365%	0,0546%
	32	0,0033%	0,0180%	0,0367%	0,0546%
	33	0,0048%	0,1440%	0,0000%	0,0545%
	34	0,0051%	0,0544%	0,0184%	0,0364%
	36	0,0056%	0,0901%	0,0183%	0,0182%
6	21	0,0066%	0,2167%	0,0368%	0,0364%
	24	0,0056%	0,1081%	0,0183%	0,0364%
	26	0,0084%	0,0547%	0,0371%	0,0183%
	27	0,0086%	0,1800%	0,0181%	0,1090%
	30	0,0123%	0,1082%	0,0182%	0,0000%
	31	0,0085%	0,0362%	0,0365%	0,0546%
	32	0,0074%	0,0180%	0,0918%	0,0910%
	33	0,0076%	0,1440%	0,0000%	0,1089%
	34	0,0068%	0,0725%	0,0184%	0,0729%
	36	0,0082%	0,0901%	0,0183%	0,0365%
8	21	0,0095%	0,2348%	0,0368%	0,0911%
	24	0,0079%	0,1261%	0,0365%	0,0364%
	26	0,0114%	0,0729%	0,0371%	0,0183%
	27	0,0119%	0,1800%	0,0363%	0,1999%
	30	0,0156%	0,1803%	0,0547%	0,0364%
	31	0,0116%	0,0362%	0,0365%	0,0910%
	32	0,0118%	0,0541%	0,1285%	0,1820%
	33	0,0104%	0,2340%	0,0915%	0,1271%
	34	0,0100%	0,0907%	0,0184%	0,0911%
	36	0,0137%	0,0901%	0,0183%	0,0365%



## APÉNDICE C CÁLCULOS TÍPICOS

### C.1 Cálculo de la eficiencia de las lavadoras:

Haciendo uso de la ecuación D.4 y los datos correspondientes a la botella N° 2 utilizada en el tren 10, el cual se encuentra en la tabla 4.4:

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

Donde:

PBI: 198,3626 g	PBL: 198,2379 g
PLA: 197,5849 g	PLD: 198,2299 g

Sustituyendo:

$$\%E = \frac{(198,3626 - 197,5849) - (198,2379 - 198,2299)}{(198,3626 - 197,5849)} \cdot 100$$

$$\%E = 98,9713\%$$

Todos los resultados de las eficiencias son reflejados en la tabla 4.4.

Calculando el error:

$$\Delta\%E = \left| \frac{\partial\%E}{\partial PBI} \right| \cdot \Delta PBI + \left| \frac{\partial\%E}{\partial PLA} \right| \cdot \Delta PLA + \left| \frac{\partial\%E}{\partial PBL} \right| \cdot \Delta PBL + \left| \frac{\partial\%E}{\partial PLD} \right| \cdot \Delta PLD$$

$$\Delta\%E = \frac{PBL - PLD}{(PBI - PLA)^2} \cdot \Delta PBI + \frac{2 \cdot PBI - 2 \cdot PLA - PBL + PLD}{(PBI - PLA)^2} \cdot \Delta PLA + \frac{1}{PBI - PLA} \cdot \Delta PBL + \frac{1}{PBI - PLA} \cdot \Delta PLD$$

$$\Delta\%E = 0,01322 \cdot 0,0001 + 2,55845 \cdot 0,0001 + 1,28584 \cdot 0,0001 + 1,28584 \cdot 0,0001$$

$$\Delta\%E = 0,00051 \approx 0,0005$$

$$\%E = (98,9713 \pm 0,0005)\%$$

### C.2 Cálculo de la concentración de iones OH<sup>-</sup> y CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>:

Haciendo uso de las ecuaciones 3.1 y 3.2, además de los datos correspondientes de los análisis realizados en el tanque 1 de la lavadora del tren 8 el día 27/07/2006, reflejados en la tabla A.1:

$$NaOH(\%) = (2f - m) \times 0,4$$

$$Na_2CO_3(\%) = 2 \times (m - f) \times 0,53$$



Donde:

$$f: 0,80 \text{ ml}$$

$$m: 1,20 \text{ ml}$$

Sustituyendo:

$$NaOH(\%) = (2 \cdot 0,80 - 1,20) \times 0,4$$

$$NaOH(\%) = 0,16 \%$$

$$Na_2CO_3(\%) = 2 \times (1,20 - 0,80) \times 0,53$$

$$Na_2CO_3(\%) = 0,424\%$$

Todas las concentraciones fueron reflejadas en las tablas B.1 y B.2, así como en las figuras desde la 4.4 a la 4.10.

Calculando el error:

$$\Delta NaOH(\%) = \left| \frac{\partial NaOH(\%)}{\partial f} \right| \cdot \Delta f + \left| \frac{\partial NaOH(\%)}{\partial m} \right| \cdot \Delta m$$

$$\Delta NaOH(\%) = 0,8 \cdot \Delta f + 0,4 \cdot \Delta m \quad \Rightarrow \quad \Delta NaOH(\%) = 0,8 \cdot 0,05 + 0,4 \cdot 0,05$$

$$\Delta NaOH(\%) = 0,06$$

$$NaOH(\%) = (0,16 \pm 0,06)\%$$

$$\Delta Na_2CO_3(\%) = \left| \frac{\partial Na_2CO_3(\%)}{\partial f} \right| \cdot \Delta f + \left| \frac{\partial Na_2CO_3(\%)}{\partial m} \right| \cdot \Delta m$$

$$\Delta Na_2CO_3(\%) = 1,06 \cdot \Delta f + 1,06 \cdot \Delta m \quad \Rightarrow \quad \Delta Na_2CO_3(\%) = 1,06 \cdot 0,05 + 1,06 \cdot 0,05$$

$$\Delta Na_2CO_3(\%) = 0,106 \approx 0,11$$

$$Na_2CO_3(\%) = (0,42 \pm 0,11)\%$$

Para efecto de las figuras se tomará el error más bajo, esto debido a que hay valores que así lo requieren

### C.3 Cálculo del contenido de sólidos volátiles y sólidos suspendidos:

Haciendo uso de las ecuaciones 3.3 y 3.4, además de los datos correspondientes a los análisis realizados al tanque 1 de la lavadora del tren 8 el día 27/07/2006, reflejados en la tabla A.1:

$$S_{TS} = \frac{(P_s - P_F) \times 1000 \times 1000}{V_M}$$

$$S_V = \frac{(P_s - P_V) \times 1000 \times 1000}{V_M}$$



Donde:

$$P_S: 0,1366 \text{ g}$$

$$P_F: 0,1265 \text{ g}$$

$$P_V: 0,1309 \text{ g}$$

$$V_M: 100 \text{ ml}$$

Sustituyendo:

$$S_{ST} = \frac{(0,1366 - 0,1265) \times 1000 \times 1000}{100}$$

$$S_{ST} = 100 \text{ mg / L}$$

$$S_V = \frac{(0,1366 - 0,1309) \times 1000 \times 1000}{100}$$

$$S_V = 60 \text{ mg / L}$$

Todos los resultados están reflejados en las tablas B.1 y B.2, así como en las figuras desde la 4.11 hasta la 4.16

Calculando el error:

$$\Delta S_{ST} = \left| \frac{\partial S_{ST}}{\partial P_S} \right| \cdot \Delta P_S + \left| \frac{\partial S_{ST}}{\partial P_F} \right| \cdot \Delta P_F + \left| \frac{\partial S_{ST}}{\partial V_M} \right| \cdot \Delta V_M$$

$$\Delta S_{ST} = \frac{1000000}{V_M} \cdot \Delta P_S + \frac{1000000}{V_M} \cdot \Delta P_F + \frac{(P_S - P_F) \cdot 1000000}{V_M^2} \cdot \Delta V_M$$

$$\Delta S_{ST} = 10000 \cdot 0,0001 + 10000 \cdot 0,0001 + 1,01 \cdot 0,5$$

$$\Delta S_{ST} = 2,505 \approx 5$$

$$S_{ST} = (100 \pm 5) \text{ mg / L}$$

El error de los sólidos suspendidos es el mismo que en los sólidos volátiles, esto debido a que presentan las mismas variables y errores.

#### C.4 Cálculo de la demanda química de oxígeno:

Haciendo uso de la ecuación 3.6, además de los datos correspondientes de los análisis realizados en el tanque 1 de la lavadora del tren 8 el día 27/07/2006, reflejados en la tabla A.1:

$$DQO = \frac{(A - B) \times M \times 8000}{V_M}$$

Donde:

$$A: 12,80 \text{ ml}$$

$$B: 6,20 \text{ ml}$$



$$M: 0,0976000 \text{ mol/L}$$

$$V_M: 1,00 \text{ ml}$$

Sustituyendo:

$$DQO = \frac{(12,80 - 6,20) \times 0,0976000 \times 8000}{1,00}$$

$$DQO = 5150 \text{ mgO}_2 / L$$

Todos los resultados están reflejados en las tablas B.1 y B.2, así como en las figuras desde la 4.17 hasta la 4.21.

Calculando el error:

$$\Delta DQO = \left| \frac{\partial DQO}{\partial A} \right| \cdot \Delta A + \left| \frac{\partial DQO}{\partial B} \right| \cdot \Delta B + \left| \frac{\partial DQO}{\partial M} \right| \cdot \Delta M + \left| \frac{\partial DQO}{\partial V_M} \right| \cdot \Delta V_M$$

$$\Delta DQO = \frac{M \cdot 8000}{V_M} \cdot \Delta A + \frac{M \cdot 8000}{V_M} \cdot \Delta B + \frac{(A - B) \cdot 8000}{V_M} \cdot \Delta M + \frac{(A - B) \cdot M \cdot 8000}{V_M^2} \cdot \Delta V_M$$

$$\Delta DQO = 780,8 \cdot 0,05 + 780,8 \cdot 0,05 + 52800 \cdot 0,0000001 + 5153,28 \cdot 0,01$$

$$\Delta DQO = 129,618 \approx 130$$

$$DQO = (5150 \pm 130) \text{ mgO}_2 / L$$

### C.5 Cálculo de la velocidad de los equipos:

Para el cálculo de las velocidades se tomó el valor correspondiente al análisis en el tren 8 antes del ajuste, reflejado en la tabla A.3

#### C.5.1 Depaletizadora:

Haciendo uso de la ecuación 3.7, se tiene lo siguiente:

$$V_{dp} = \frac{72 \cdot 36 \cdot 60}{t_{dp}}$$

Donde:

$$t_{dp}: 116,25 \text{ s}$$

Sustituyendo:

$$V_{dp} = \frac{72 \cdot 36 \cdot 60}{116,25} \Rightarrow V_{dp} = 1337,8 \text{ bpm}$$

#### C.5.2 Desembaladora:

Haciendo uso de la ecuación 3.8 se tiene lo siguiente:

$$V_{db} = \frac{C \cdot 36 \cdot 60}{\frac{t_{db}}{3}}$$





Donde:

$$C: 8$$

$$t_{db}: 33,47 \text{ s}$$

Sustituyendo:

$$V_{db} = \frac{8 \cdot 36 \cdot 60}{\frac{33,47}{3}} \Rightarrow V_{db} = 1548,8 \text{ bpm}$$

$$V_{db} = (1549 \pm 1) \text{ bpm}$$

### C.5.3 Lavadora:

Haciendo uso de la ecuación 3.9 se tiene lo siguiente:

$$V_l = N_{Cestas} \cdot B$$

Donde:

$$N_{Cestas}: 48$$

$$B: 33$$

Sustituyendo:

$$V_l = 48 \cdot 33 \Rightarrow V_l = 1584 \text{ bpm}$$

### C.5.4 Llenadora:

Haciendo uso de la ecuación 3.10 se tiene lo siguiente:

$$V_{ll} = \frac{N_v \cdot 60}{\frac{t_{ll}}{3}}$$

Donde:

$$N_v: 88$$

$$t_{ll}: 22,32 \text{ s}$$

Sustituyendo:

$$V_{ll} = \frac{88 \cdot 60}{\frac{22,32}{3}} \Rightarrow V_{ll} = 709,67 \text{ bpm}$$

### C.5.5 Pasteurizador:

Haciendo uso de la ecuación 3.11 se tiene lo siguiente:

$$V_p = \frac{60 \cdot A \cdot P}{A_{botella} \cdot Ciclo}$$

Donde:

$$A: 4,57 \text{ m} = 4570 \text{ mm}$$

$$P: 5,83 \text{ in} = 148,08 \text{ mm}$$

$$A_{botella}: 26,1978 \text{ cm}^2 = 2619,78 \text{ mm}^2$$

$$Ciclo: 23,14 \text{ s}$$

Sustituyendo:



$$V_p = \frac{60 \cdot 4570 \cdot 148,08}{2619,78 \cdot 23,14} \Rightarrow V_p = 669,78 \text{ bpm}$$

### C.5.6 Embaladora:

Haciendo uso de la ecuación 3.12 se tiene lo siguiente:

$$V_{eb} = \frac{C \cdot 36 \cdot 60}{\frac{t_{eb}}{3}}$$

Donde:

C: 8

$t_{eb}$ : 36,25 s

Sustituyendo:

$$V_{eb} = \frac{8 \cdot 36 \cdot 60}{\frac{36,25}{3}} \Rightarrow V_{eb} = 1430,06 \text{ bpm}$$

### C.5.7. Paletizadora:

Haciendo uso de la ecuación 3.13 se tiene lo siguiente:

$$V_{pa} = \frac{72 \cdot 36 \cdot 60}{t_{pa}}$$

Donde:

$t_{pa}$ : 113,74 s

Sustituyendo:

$$V_{pa} = \frac{72 \cdot 36 \cdot 60}{113,74} \Rightarrow V_{pa} = 1367,32 \text{ bpm}$$

Todos los resultados de las velocidades de los equipos se encuentran reflejados en la tabla B.3, así como en las figuras 4.30, 4.34, 4.40 y 4.42.

## C.6 Cálculo de las velocidades de las vías:

Haciendo uso de los valores obtenidos en el análisis de las vías del tren 8, reflejados en la tabla A.4, así como de la ecuación 3.14 se tiene lo siguiente:

$$V = \frac{H}{A_{botella}} \cdot \nabla \cdot 100$$

Donde:

H: 57,00 cm

$A_{botella}$ : 26,1978 cm<sup>2</sup>



$$\nabla : 20,2 \text{ m/ min}$$

Sustituyendo:

$$V = \frac{57,00}{26,1978} \cdot 20,2 \cdot 100 \quad \Rightarrow \quad V = 4395,02 \text{ bpm}$$

Todos los resultados se encuentran reflejados en las tablas B.4 y B.5, así como en las figuras 4.31, 4.35, 4.41 y 4.43.

Calculando el error:

$$\Delta V = \left| \frac{\partial V}{\partial H} \right| \cdot \Delta H + \left| \frac{\partial V}{\partial \nabla} \right| \cdot \Delta \nabla$$

$$\Delta V = \frac{100 \cdot \nabla}{A_{botella}} \cdot \Delta H + \frac{100 \cdot H}{A_{botella}} \cdot \Delta \nabla \quad \Rightarrow \quad \Delta V = 77,12 \cdot 0,01 + 217,58 \cdot 0,1$$

$$\Delta V = 22,529 \approx 23 \text{ bpm}$$

$$V = (4395 \pm 23) \text{ bpm}$$

Los errores de las velocidades de los equipos serán los mismos que los de las velocidades de las vías.

### C.7 Cálculo de la pérdida en las botellas:

Haciendo uso de los valores obtenidos en los análisis realizados a la botella N° 79 introducida en el tren 8, reflejados en la tabla A.11, así mismo utilizando la ecuación 3.14 se tiene lo siguiente:

$$\% \text{ Pérdida} = \frac{\text{Valor inicial} - \text{Valor final}}{\text{Valor inicial}} \cdot 100$$

Donde:

Valor inicial: 227,2229 g

Valor final: 227,2061 g

Sustituyendo:

$$\% \text{ Pérdida} = \frac{227,2229 - 227,2061}{227,2229} \cdot 100$$

$$\% \text{ Pérdida} = 0,07393\%$$

Todas las pérdidas en el peso y diámetro en el hombro, cuerpo y talón se encuentran reflejadas en las tablas B.6, B.7 y B.8, así mismo en las figuras 4.33, 4.37 y 4.45.

Calculando el error:



$$\Delta\% \text{ Pérdida} = \left| \frac{\partial\% \text{ Pérdida}}{\partial \text{Valor inicial}} \right| \cdot \Delta \text{Valor inicial} + \left| \frac{\partial\% \text{ Pérdida}}{\partial \text{Valor final}} \right| \cdot \Delta \text{Valor final}$$

$$\Delta\% \text{ Pérdida} = \frac{100 \cdot \text{Valor final}}{\text{Valor inicial}^2} \cdot \Delta \text{Valor inicial} + \frac{100}{\text{Valor inicial}} \cdot \Delta \text{Valor final}$$

$$\Delta\% \text{ Pérdidas} = 0,440063 \cdot 0,0001 + 0,440096 \cdot 0,0001$$

$$\Delta\% \text{ Pérdidas} = 0,000088 \approx 0,0001$$

$$\% \text{ Pérdidas} = (0,0739 \pm 0,0001)\%$$

### C.8 Estimación del ahorro de botellas:

Conociendo la cantidad de botellas utilizadas hace 2 años, suponiendo que esta misma cantidad será la reemplazada, se calcula el ahorro a partir de la aplicación de una base de cálculo y trabajando sólo con porcentajes debido a que la información del precio de 1 botella es confidencial.

Base de cálculo: Bs. 1 por botella

$$\% \text{ Ahorro} = \left( \frac{\text{Gasto asociado antes ajuste}}{\text{Gasto asociado después ajuste}} - 1 \right) \cdot 100 \quad (B.8.1)$$

Donde:

Gasto asociado antes ajuste: Bs. 340.343.575

Gasto asociado después ajuste: Bs. 173.972.150

Sustituyendo:

$$\% \text{ Ahorro} = \left( \frac{340.343.575}{173.972.150} - 1 \right) \cdot 100$$

$$\% \text{ Ahorro} = 95,6\%$$

El ahorro en los períodos de todos los años viene representado de la misma manera, reflejados en la tabla 4.5.

### C.9 Estimación del impuesto sobre la renta por ahorro de botellas:

Asumiendo los costos de mantenimiento como 5% del costo de las botellas y tomando los valores de la tabla 4.5, se tiene lo siguiente:

$$ISR = (C_{\text{mantenimiento}} + C_{\text{botellas}}) \cdot t \quad (B.9)$$

Donde:

ISR: Impuesto sobre la renta, Bs.

$C_{\text{mantenimiento}}$ : Costos de mantenimiento, Bs.

$C_{\text{botellas}}$ : Costos por concepto de compras de botellas, Bs.

t: Tasa de impuesto sobre la renta, 34%



Sustituyendo:

$$ISR = (8.698.607,5 + 173.972.150) \cdot 0,34$$

$$ISR = 62.108.057,55Bs.$$

Los resultados se encuentran reflejados en la tabla 4.6.

### C.10 Estimación de los flujos de caja netos por período:

Tomando los valores de las tablas 4.5 y 4.6 se presenta lo siguiente:

$$F_{nf} = (C_{botellas} + C_{mantenimiento}) - ISR \quad (B.10)$$

Donde:

$F_{nf}$ : Flujo de caja neto, Bs.

Sustituyendo:

$$F_{nf} = (173.972.150 + 8.698.607,5) - 62.108.057,55$$

$$F_{nf} = -120.562.699,95Bs.$$

Los resultados se encuentran reflejados en la tabla 4.7.

### C.11 Estimación de los flujos de cajas diferenciales:

Tomando los valores de la tabla 4.7 se presenta lo siguiente:

$$F_d = F_{nf} - F_{ni} \quad (B.11)$$

Donde:

$F_d$ : Flujo diferencial, Bs.

$F_{ni}$ : Flujo de caja neto antes del ajuste en el tren, Bs.

Sustituyendo:

$$F_d = -120.562.699,9 - (-235.858.097,5)$$

$$F_d = 115.295.397,6Bs.$$

Los resultados se encuentran reflejados en la tabla 4.8.

### C.12 Estimación de los ingresos brutos por concepto de aumento de la eficiencia del tren:

$$I_{bruto} = \text{Cajas producidas} \cdot \text{Precio venta} \quad (B.12)$$

Donde:

Cajas producidas: 129.089

Precio venta: Bs. 12.500

Sustituyendo:

$$I_{bruto} = 129.089 \cdot 12.500 \quad \therefore \quad I_{bruto} = Bs. 1.613.612.500$$

### C.13 Estimación del impuesto sobre la renta del ingreso por incremento de la eficiencia del tren:



Asumiendo los costos operacionales como un 15% del ingreso bruto, se tiene lo siguiente:

$$ISR = (I_{bruto} - C_{operacionales}) \cdot t \quad (B.13)$$

Donde:

$I_{bruto}$ : Ingreso bruto, Bs.

$C_{operacionales}$ : Costos operacionales, Bs.

Sustituyendo:

$$ISR = (1.613.612.500 - 242.041.875) \cdot 0,34$$

$$ISR = 466.334.012,5Bs.$$

#### C.14 Estimación del ingreso neto por concepto del incremento de la eficiencia del tren:

$$I_{neto} = I_{bruto} - C_{operacionales} - ISR \quad (B.14)$$

Donde:

$I_{neto}$ : Ingreso neto, Bs.

Sustituyendo:

$$I_{neto} = 1.613.612.500 - 242.041.875 - 466.334.012,5$$

$$I_{neto} = 905.236.612,5Bs.$$

Los resultados obtenidos en C.12, C.13 y C.14 se encuentran reflejados en la tabla 4.9.

A fin de expresar todos los valores en US \$ se utilizó el factor de cambio actual 2150 Bs/US \$.



## APÉNDICE D METODOLOGÍA

### D.1 Cuantificación de las botellas desechadas

#### *Materiales*

- Gaveras vacías

#### *Metodología*

1. Tomar el valor de botellas totales que han pasado hasta el momento, el cual es suministrado por la Linatronic. Este valor se denomina  $BT_1$ .
2. Tomar el valor de las botellas rechazadas hasta el momento, el cual es suministrado por la Linatronic. Este valor se denomina  $BR_1$ .
3. Se procedió a tomar las botellas que resultaban rechazadas por la Linatronic, exceptuando aquellas que no eran Ice 222 mL.
4. Se toma la cantidad de botellas seleccionadas con anterioridad.
5. Se tomó la cantidad de botellas totales que habían pasado hasta el momento, denominándose  $BT_2$ .
6. Se tomó la cantidad de botellas que habían sido rechazadas por la Linatronic, valor denominado como  $BR_2$ .
7. Para determinar la cantidad de botellas totales (BT) y rechazadas (BR) que habían pasado mientras se tomaban las muestras se hace uso de las siguientes expresiones:

$$BT = BT_2 - BT_1 \quad (\text{D.1, Propia, 2006})$$

$$BR = BR_2 - BR_1 \quad (\text{D.2, Propia, 2006})$$

8. Se procedió a identificar las razones por las cuales habían sido rechazadas las botellas, y se tomó su nivel de rayado.

### D.2 Presión interna

#### *Materiales*

- Recipiente cilíndrico de plexiglas, o material similar, para contener agua y sumergir las botellas.



### *Equipos*

- Medidor de presión hidrostática (Secure seal tester o sustituto de éste) capaz de:
  - Sujetar la botella de tal manera que ésta quede suspendida en el reborde superior de la corona sin ser prensada.
  - Producir un sello hermético de la presión interior de la botella.
  - Aplicar presión, al líquido contenido en el envase, mediante inyección o bombeo de agua

### *Metodología*

1. Se toman al azar 8 botellas del total de las muestras y se llenan con agua.
2. Se colocan las botellas en el equipo generador de presión hidrostática, una a la vez.
3. Se mantiene durante 1 minuto bajo la presión correspondiente, dependiendo de la botella, de acuerdo a lo establecido en los planos aprobados.
4. En caso de no haber rotura, despresurizar primero el equipo y retirar la muestra.

## **D.3 Choque térmico**

### *Materiales*

- Cesta metálica para contener las muestras.

### *Equipos*

- Dos (2) baños termostáticos con agitación, con capacidad para contener 8 muestras.
- Termómetro.

### *Metodología*

1. Ajustar un baño termostático a la temperatura de 70 °C y el otro a 28 °C ( $\Delta T = 42$  °C)
2. Tomar al azar 8 botellas del total de las muestras del lote en evaluación y colocarlas en la cesta
3. Sumergir la cesta con las botellas en el baño de agua caliente (70 °C) y dejarlas allí durante 5 minutos
4. Retirar la cesta y colocarla en el agua fresca (28 °C), durante 30 segundos
5. Retirar la cesta e inspeccionar las botellas





## D.4 Sucio estándar

### *Materiales*

- Pera o asistente para pipeta.
- Recipientes para centrifugar de 100 mL de capacidad.
- Recipiente de 2000 mL graduado.
- Varilla de vidrio de, aproximadamente, 5 mm de diámetro.
- Beaker de 1000 mL y 500 mL.
- Agitador magnético de, aproximadamente, 6 cm de largo.
- Barra magnética.
- Termómetro, con un rango de lectura de (0 – 120) °C.
- Dos (2) Beaker de 200 mL.
- Pipeta graduada de 10 mL.
- Bureta de 25 mL.
- Espátula.
- Pizeta.
- Equipo de cepillos para lavar botellas.
- Envase de 500 mL con tapa hermética.
- Botellas tipo flint (vidrio sin coloración), modelo retornable de Pilsen 222 mL.
- Bombona de aire comprimido

### *Equipos:*

- Estufa, preferiblemente de convección forzada.
- Equipo degasificador.
- pH-Metro
- Centrífuga
- Balanza analítica (cuatro cifras decimales).
- Plancha de suministro de calor con agitación magnética.
- Equipo secador de botellas; este equipo fue diseñado para secar la superficie interna de la botella, luego de ser impregnada, en posición vertical invertida, por corriente de aire



*Reactivos:*

- Levadura de la tina (fuente de proteínas): se requieren de 1500 mL. Este reactivo se obtiene de las tinajas de levadura del proceso de elaboración de la cerveza tipo Pilsen. Contiene aproximadamente 43 % de proteínas, su pH debe ser de  $(5,6 \pm 0,5)$
- Álcali: se requieren de 10 mL de NaOH al 50 %.
- Ácido: se requieren 35 mL de HCl 2,5 N.
- Producto: se requieren de 250 mL de cerveza o Maltín.
- Agua destilada

*Metodología:*

Preparación del Sucio Base:

6. Se toman en un recipiente de 2000 mL limpio y seco, aproximadamente 1500 mL de proteínas.
7. Se toman dos envases de centrifugado limpios y secos, y se identifican. Se realizan los pasos del 3 al 9 simultáneamente para cada uno de los envases.
8. Se pesa un envase de centrifuga identificado en el paso 2. Se registra este peso como el PESO1.
9. Se homogeniza la muestra de proteína del envase del paso 1 con agitación suave.
5. Se toma una muestra de proteína del envase del paso 1, en el envase de centrifugado del paso 3, aproximadamente 70 mL.
6. Se centrifuga la muestra del paso 5 a 3500 rpm durante 5 minutos.
7. Se pesa el envase de centrifugado del paso 6, luego de cumplido el tiempo establecido. Se registra este peso como el PESO2.
8. Se desecha el sobrenadante y se pesa el envase de centrifugado con el precipitado. Se registra este peso como el PESO3.
9. Se realiza el cálculo de la concentración de la solución de proteína, mediante la siguiente formula:

$$\% \frac{P}{p} = \frac{PESO3 - PESO1}{PESO2 - PESO1} \cdot 100 \quad (\text{D.2, De Sousa, 2002})$$

donde:

$\%P/p$ : Concentración de la solución de proteína,  $\%P/p$ .



10. Se comparan los cálculos de concentración obtenidos entre los dos envases de centrifugado, si la diferencia es mayor a 0,5 %<sup>p/p</sup> se realizan los pasos del 2 al 10 nuevamente, de lo contrario se continúa con el paso 11.

11. Si la concentración calculada en el paso 9 es de  $(60 \pm 1)$  %<sup>p/p</sup> se continúa con el paso 14, de lo contrario se continúa con el paso 12.

12. Si la concentración calculada en el paso 9 es menor a 59 %<sup>p/p</sup>, se agrega el precipitado obtenido en el paso 8 al recipiente de proteínas del paso 1 y se continúa con el paso 2, de lo contrario se realiza el paso 13.

13. En este si caso la concentración calculada en el paso 9 es mayor a 61 %<sup>p/p</sup>; se determina el volumen de agua necesaria para diluir la proteína, mediante la siguiente formula:

$$V_{AGUA} = \frac{\%p/p \cdot V_{EST}}{60} - V_{EST} \quad (D.3, De Sousa, 2002)$$

donde:

$V_{AGUA}$ : Volumen de agua destilada para diluir la proteína, mL.

$V_{EST}$ : Volumen de la solución de proteína del recipiente del paso 1, luego de determinar su concentración, mL.

**Nota:** Luego, se agrega el volumen de agua ( $V_{AGUA}$ ) al recipiente del paso 1 y se continúa con el paso 2. Se debe utilizar únicamente agua destilada, de lo contrario se disminuiría la vida útil del sucio base.

14. Se colocan aproximadamente 500 mL de la solución de proteína en un beacker de 1000 mL.

15. Se coloca un agitador magnético en el recipiente del paso 14, cuidando que este se encuentre en el centro del envase.

16. Se coloca el recipiente del paso 15 sobre una plancha de agitación magnética con calentamiento.

17. Se coloca la perilla del suministro de agitación magnética de la plancha en la posición media de la escala.

18. Se coloca la perilla de suministro de calor de la plancha al 60% de la escala.

19. Se introduce un termómetro en el recipiente del paso 16.



20. Se agregan 350 mL de proteína al envase del paso 19, cuando este haya alcanzado los 60 °C.
21. Se coloca la perilla de suministro de calor de la plancha en la posición apagado, luego de que el termómetro del paso 19 alcance los 70 °C.
22. Se coloca la perilla de suministro de agitación magnética de la plancha en la posición apagado.
23. Se retira el termómetro del paso 19.
24. Con ayuda de un beacker de 200 mL se retira solución de proteína del recipiente del paso anterior hasta alcanzar los 800 mL.
25. Se repite el paso 17, colocando la perilla en la posición media alta.
26. Se agregan 10 mL de álcali y se deja homogenizar la solución durante 10 minutos.
27. Se repite el paso 22.
28. Se retira el recipiente de la plancha y se deja enfriar hasta alcanzar la temperatura ambiente. Se recomienda el uso de un baño de agua fría.
29. Se retira el agitador magnético del recipiente con ayuda de la barra magnética.
30. Se adicionan 35 mL de ácido al recipiente del paso anterior y se homogeniza.
31. Con ayuda de un pH-metro se determina el pH, éste debe ser de  $(9,0 \pm 0,5)$ ; en caso contrario, ajustar a este valor.
32. Se centrifuga la solución obtenida en el paso anterior a 3500 rpm durante 10 minutos.
33. Luego del centrifugado, se descarta el sobrenadante y se agrega agua destilada al mismo volumen del sobrenadante. Se debe utilizar únicamente agua destilada, de lo contrario se disminuiría la vida útil del sucio base.
34. Se homogeniza completamente el precipitado con el agua destilada y se repite el paso 32 con esta solución.
35. Luego del centrifugado, se descarta el sobrenadante. Se deja escurrir completamente el sobrenadante del precipitado.
36. Remover la capa superficial del precipitado obtenido en el paso anterior.
37. Se transvasa el precipitado restante del paso anterior a un recipiente de cierre hermético. Se debe cuidar de no transvasar los sólidos que comúnmente se alojan en el fondo del recipiente de centrifugado.



38. En caso de no ser necesario preparar muestras, se cierra el recipiente y se almacena refrigerado. Éste sucio base puede almacenarse refrigerado durante 10 días aproximadamente sin perder sus propiedades.

#### Preparación del sucio estándar:

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

1. Se colocan 250 mL de producto en el desgasificador, hasta observar la ausencia de gas en el producto.
2. Se pesan 90,41 g de Sucio Base en un beacker de 250 mL. El sucio base debe estar a temperatura ambiente.
3. Se agita suavemente con ayuda de una varilla de vidrio, homogenizando, el sucio base pesado en el paso anterior.
4. Se agregan 15 g de producto y se homogeniza suavemente, evitando la formación de espuma. El producto debe estar a temperatura ambiente.
5. Se agregan 18,28 g de producto y se homogeniza completa y suavemente, evitando la formación de espuma. Esta formulación, sucio estándar, debe ser utilizada para el momento; no se recomienda reutilizarla para otra ocasión.

#### Preparación de las muestras:

1. Se pesa 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).
2. Se agregan aproximadamente 20 mL de sucio estándar en la botella flint y se impregna 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. Se coloca la botella impregnada en posición vertical durante aproximadamente 4 minutos. El sucio remanente se debe recolectar en un beacker para luego ser utilizado en la próxima muestra.



4. Se seca el sucio estándar, impregnado en la superficie interna de la botella, con inyección de aire utilizando el secador de botellas. La botella impregnada debe permanecer en el secador, hasta que visiblemente este seca.
5. Se retira la botella del secador y se remueve 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.
6. Se coloca, la botella impregnada, en la estufa por un periodo de 45 minutos a 70 °C.
7. Luego de cumplirse el paso 6, se retira la botella impregnada de la estufa y se deja enfriar a temperatura ambiente.
8. Se pesa la muestra obtenida en el paso anterior en una balanza analítica, es indispensable que la balanza sea analítica. Se registra este valor como PBI (Peso de la botella impregnada).
9. Se somete 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.
10. Se introduce 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.
11. Se retira la muestra de la estufa y se deja enfriar a temperatura ambiente.
12. Se pesa la botella en la balanza analítica, de cuatro cifras decimales, y se registra este peso como PBL (Peso de la botella lavada).
13. Se lava la botella con ayuda de un cepillo y jabón líquido. Se recomienda dejar la muestra en remojo con el jabón antes de lavarla.
14. Se introduce la botella limpia nuevamente en la estufa, a 70 °C, hasta secarse en su totalidad.
15. Se repite el paso 11 con la botella del paso 14.
16. Se pesa la botella en la balanza analítica, de cuatro cifras decimales, y se registra este peso como PLD (Peso de la botella limpia después del lavado).
17. Se determina la eficiencia del lavado mediante la siguiente ecuación:

$$\%E = \frac{(PBI - PLA) - (PBL - PLD)}{(PBI - PLA)} \cdot 100 \quad (D.4, \text{De Sousa, 2002})$$