

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA
PLANTA DE SOPLADO DE ENVASES PET EN EMBOL S.A.**

Por:

VALDEZ VÁSQUEZ RAÚL ERNESTO

**Proyecto de Grado (Modalidad Optimización de Planta Industrial)
presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN
MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de
Licenciatura en Ingeniería Química.**

Marzo de 2016

TARIJA-BOLIVIA

V°B°

Ing. Ernesto Alvarez Gozalvez
DECANO

Ing. Silvana Paz Ramírez
VICEDECANO (a)

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

ING. MICHEL CORTÉZ RENÉ

ING. MORENO LÓPEZ GUSTAVO ROMÁN

ING. TEJERINA OLLER JORGE LUIS

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo éstas responsabilidad del autor.

Dedicatoria

A Dios, por dame el regalo de la vida y haberme dado salud para poder llegar hasta este punto, además de su infinita bondad y amor, haber puesto en mi destino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía en el transcurso de mi vida.

A mi amada esposa, por todo el apoyo, sacrificio, ánimo y amor, que brinda día a día para poder alcanzar metas y objetivos, tanto profesionales como personales.

A mi adorado hijo Raúl Zadkiel, a quien siempre cuidaré para poder verlo hecho una persona de bien, que pueda valerse por sí mismo.

A mis padres por ser la base fundamental y guía desde mi infancia, por haberme inculcado los valores y enseñanzas que me han permitido ser una persona de bien, por sus ejemplos de perseverancia y constancia, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor incondicional.

A mi hermana y su esposo, por brindarme su apoyo incondicional y amistad.

Finalmente a mis maestros, aquellos que marcaron cada etapa del asombroso camino del conocimiento, y me ayudaron en asesorías y dudas presentadas en la elaboración del Proyecto.

Agradecimientos.

A Dios, por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por brindarme una vida llena de aprendizajes experiencias y sobre todo felicidad.

A mi familia por ser esa fuente de apoyo constante e incondicional en toda mi vida.

Le agradezco el apoyo, confianza y dedicación de tiempo a mis docentes: René Michel, Jorge Tejerina, Gustavo Moreno y a todos mis docentes de la carrera. Por haber compartido sus conocimientos y experiencias.

Gracias Ingeniero Enrique Pinedo, Hernan León y David Torrez, por creer en mi persona y haberme brindado la oportunidad de desarrollar el Proyecto de grado profesional en EMBOL S.A. Por darme la grandiosa oportunidad de crecer profesionalmente y aprender cosas nuevas en esta prestigiosa empresa.

ÍNDICE

	Página
Advertencia.	i
Dedicatoria.	ii
Agradecimiento.	iii

INTRODUCCIÓN

Antecedentes.	1
a. Identificación de la Optimización del Proceso de la Planta de Soplado de Envases PET en EMBOL S.A. Tarija.	13
b. Caracterización de la Optimización del Proceso de la Planta de Soplado de Envases PET en EMBOL S.A. Tarija.	17
Objetivos del Trabajo.	20
Objetivo General.	20
Objetivos Específicos.	20
Justificación.	21
Justificación Técnica.	21
Justificación Económica.	21
Justificación Social.	22
Justificación Ambiental.	22
Justificación Personal.	23

CAPÍTULO I DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

1.1. Reseña Histórica.	24
1.2. Materias Primas e Insumos para EMBOL S.A. Tarija.	25
1.2.1. Materias Primas e Insumos en la Planta de Soplado de Envases PET.	29
1.3. Localización de la Planta.	33
1.3.1. Descripción del Entorno de EMBOL S.A. Tarija.	34
1.3.1.1. Aspectos Abióticos.	34
1.3.1.1.1. Clima y Meteorología.	34
1.3.1.1.2. Recursos Hídricos.	35
1.4. Servicios Auxiliares.	36
1.4.1. Energía Eléctrica.	37

1.4.2. Consumo de Agua de Pozo	39
1.4.3. Recojo de Residuos Sólidos.	40
1.4.4. Gas Natural.	40
1.5. Manejo de Materiales.	41
1.5.1. Departamento de Almacenes.	42
1.5.2. Departamento de Logística.	43
1.5.3. Departamento de Producción.	43
1.5.4. Manejo de Materiales de la Planta de Soplado.	43
1.5.4.1. Preformas.	44
1.5.4.2. Etiqueta para Botellas PET.	44
1.5.4.3. Pegamento para Etiquetas.	45
1.5.4.4. Cartón Plast.	45
1.5.4.5. Strech Film.	46
1.6. Operación y Control de la Planta de Soplado.	47
1.6.1. Arranque de los equipos de Soplado.	48
1.6.1.1. Verificación de las Condiciones de Operación del Equipo.	48
1.6.1.2. Secuencia de Arranque de los Equipos.	54
1.7. Eliminación de Efluentes Sólidos y Líquidos.	55
1.7.1. pH de los Efluentes Líquidos.	59
1.7.2. Temperatura de los Efluentes Líquidos.	60
1.7.3. Alcalinidad de los Efluentes Líquidos.	60
1.7.4. Sólidos Totales en los Efluentes Líquidos	60
1.7.5. Sólidos Sedimentables en los Efluentes Líquidos.	60
1.7.6. DBO ₅	61
1.7.7. DQO	61

CAPÍTULO II
CONCEPCIÓN Y DEFINICIÓN DE LA OPTIMIZACIÓN
DE LA PLANTA DE SOPLADO DE
EMBOL S.A. TARIJA

2.1. Identificación del Problema.	62
2.2. Descripción de Alternativas Técnicas de Solución.	62
2.3. Selección de la Alternativa de la Solución más Apropiada de Acuerdo a Criterios Apropiados.	63
2.4. Modificación de Operación de los Equipos de Soplado de Envases PET.	65
2.4.1. Sopladora.	66
2.4.2. Etiquetadora.	67

2.4.3. Envolvedora Automática de Pallets.	68
2.4.4. Compresor de Aire para el Proceso de Soplado de Envases. PET.	69
2.4.5. Water Chiller.	70
2.4.6. Torre de Enfriamiento de Agua.	70
2.5. Proceso de Soplado.	71
2.5.1. Tolva de Alimentación de Preformas.	74
2.5.2. Orientación - Rampa Inclinada.	74
2.5.3. Rueda de Muecas.	74
2.5.4. Vestido de Túnelas - Giro.	74
2.5.5. Enfriado del Finish de la Preforma.	75
2.5.6. Calentamiento de las Preformas.	75
2.5.7. Perfil de Temperatura.	77
2.5.8. Transferencia de Preformas - Cierre de Molde.	80
2.5.9. Descenso Tobera.	80
2.5.10. Activación de Estirado la Preforma.	80
2.5.11. Presoplado.	82
2.5.12. Soplado.	84
2.5.13. Desgase de la Botella Soplada.	85
2.5.14. Enfriado de la Botella Soplada.	85

CAPÍTULO III ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS RECOMENDADOS

3.1. Caracterización de los Problemas y Soluciones Técnicas de la Planta de Soplado de Envases PET en EMBOL S.A. Tarija	86
3.1.1. Caracterización de los Problemas de la Planta de Soplado de Envases PET en EMBOL S.A Tarija.	86
3.1.2. Soluciones Técnicas Para la Planta de Soplado de Envases PET en EMBOL S.A. Tarija.	87
3.1.2.1. Estudio de Aligeramiento de las Botellas PET.	87
3.1.2.2. Atemperación de las Preformas antes del Ingreso a la Tolva de la Maquina Sopladora.	87
3.2. Diagrama de Flujo del Proceso de Soplado de Envases PET en EMBOL S.A. Tarija.	89
3.3. Balance de Materia y Energía del Proceso de Soplado de Envases PET en EMBOL S.A. Tarija.	91
3.3.1. Balance de Materia y Energía para las Preformas de 48 gr.	92

3.3.2. Balance de Materia y Energía para las Preformas de 52 gr.	100
3.4. Desarrollo del Estudio Técnico y Control de Calidad en los Envases de Gramaje Reducido.	108
3.4.1. Apariencia General.	108
3.4.2. Dimensiones del Finish.	112
3.4.3. Capacidad (Volumen).	114
3.4.4. Dimensiones de la botella.	115
3.4.5. Distribución de la Resina PET.	116
3.4.6. Impacto de Caída.	117
3.4.7. Carga Vertical.	118
3.4.8. Perpendicularidad.	119
3.4.9. Stress Cracking.	119
3.4.10 Estabilidad Térmica.	121
3.4.11. Presión Interna.	121
3.4.12. Retención de Carbonatación.	122
3.5. Desarrollar los sistemas de Seguimiento, vigilancia y Control de la Optimización de la Planta de Soplado de Envases PET en EMBOL S.A. Tarija.	123
3.6. Elaborar e interpretar los resultados obtenidos, de la optimización del proceso de soplado de envases PET en EMBOL S.A. Tarija.	132

CAPÍTULO IV ANÁLISIS ECONÓMICO.

4.1. Realizar el Análisis Económico de la Optimización del Proceso de Soplado de Envases PET en EMBOL S.A. Tarija.	146
4.1.1. Valor del Proyecto.	146
4.1.1.1. Obra Civil.	146
4.1.2. Gastos.	146
4.1.2.1. Compra de Materia Prima y Suministros.	146
4.1.2.2. Gastos por mano de Obra.	148
4.1.3. Ingresos.	148
4.1.4. Evaluación económica del Proyecto.	153

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.	155
--------------------	-----

5.2. Recomendaciones.

156

ÍNDICE DE CUADROS Y TABLAS

		Página
Tabla 1	Cronología de PET.	2
Tabla 2	Cambio Propuesto en los Pesos de las Preformas.	16
Tabla I-1	Materias Primas e Insumos para EMBOL S.A. Tarija.	25
Tabla I-2	Peso de Preformas.	29
Tabla I-3	Datos Históricos de los Aspectos Climáticos en la Ciudad de Tarija.	34
Tabla I-4	Ubicación de los Filtros del Conducto del Pozo Acuífero.	35
Tabla I-5	Propiedades Fisicoquímicas del Agua de Pozo Utilizada en EMBOL S.A. Tarija.	36
Tabla I-6	Servicios Auxiliares.	36
Tabla I-7	Breve Descripción de Equipos Disponibles en EMBOL S.A. Tarija.	37
Tabla I-8	Disposición del Palletizado.	46
Tabla I-9	Condiciones de Operación.	48
Tabla I-10	Tratamiento y Disposición de Efluentes Líquidos.	58
Tabla I-11	Descarga de los Efluentes y Desechos Sólidos.	59
Tabla II-1	Comparación de las tres Alternativas.	65
Tabla III-1	Datos del Proceso de Soplado.	91
Tabla III-2	Nivel de Punto de llenado.	114
Tabla III-3	Dimensiones y límites permisibles para los envases	115
Tabla III-4	Altura del corte de Sección.	116
Tabla III-5	Tiempo de ejecución para las pruebas de Retención de Carbonatación.	122
Tabla III-6	Plan de Seguimiento y Criterio de Éxito para las Pruebas de Validación.	124
Tabla III-7	Plan de Seguimiento y Control de la Reducción de Gramaje.	129
Tabla III-8	Resumen de Resultados de CC 2000 OW	133
Tabla III-9	Resumen de Resultados de FN 2000 OW	135
Tabla III-10	Resumen de Resultados de MN 2000 OW	137
Tabla III-11	Resumen de Resultados de SB 2000 OW	139
Tabla III-12	Resumen de Resultados de SP 2000 OW	141
Tabla IV-1	Detalle de materiales directos, indirectos y suministro energético para la producción con preformas de 48 gr.	147
Tabla IV-2	Detalle de materiales directos, indirectos y suministro	147

	energético para la producción con preformas de 52 gr.	
Tabla IV-3	Detalle de mano de obra directa e indirecta.	148
Tabla IV-4	Estructura de Financiamiento.	148
Tabla IV-5	Inversión Total Requerida.	149
Tabla IV-6	Plan de Pagos.	150
Tabla IV-7	Costos Anuales.	151
Tabla IV-8	Costo Unitario de Producción.	152
Tabla IV-9	Ingresos con Producción de Preformas de 48 gr.	152
Tabla IV-10	Ingresos con Producción de Preformas de 52 gr.	153
Tabla IV-11	Detalle de Beneficios, Costos y Flujos	153

ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 1	Consumo Mundial de Plásticos.	4
Figura 2	Producción de Plásticos.	5
Figura 3	Producción Mundial de Plásticos, por Regiones.	6
Figura 4	Reciclaje y Recuperación Total de los Plásticos.	7
Figura 5	Demanda Europea de Plásticos por Segmentos.	7
Figura 6	Producción de Plásticos en Bolivia.	8
Figura 7	Producción de Plásticos en Tarija.	8
Figura 8	Producción de Plásticos en EMBOL S.A. Tarija.	9
Figura 9	Consumo de PET en EMBOL S.A. Tarija.	10
Figura 1-1	Diagrama General del Proceso de Producción de EMBOL S.A. Tarija.	27
Figura 1-2	Resumen General del Proceso de Producción de EMBOL S.A. Tarija.	28
Figura 1-3	Plano de Preforma para Formatos Menores a 600 ml.	30
Figura 1-4	Plano de Preforma para Formatos Mayores a 600 ml.	31
Figura 1-5	Diagrama del Proceso de Soplado.	32
Figura 1-6	Descripción Gráfica: Ubicación de EMBOL S.A. Tarija.	33
Figura 1-7	Diagrama del Flujo del Proceso	47
Figura 2-1	Sopladora SIDEL SBO 2/3 (imagen 1).	66
Figura 2-2	Sopladora SIDEL SBO 2/3 (imagen 2).	66
Figura 2-3	Etiquetadora NARITA MZ 4 GOLD (imagen 1).	67
Figura 2-4	Etiquetadora NARITA MZ 4 GOLD (imagen 2).	67
Figura 2-5	Envolvedora FILMA FP30CP73	68
Figura 2-6	Compresor INGERSOLL RAND PHE-NL (imagen 1).	69
Figura 2-7	Compresor INGERSOLL RAND PHE-NL (imagen 2).	69
Figura 2-8	Enfriador de Agua MECALOR GA-15.	70
Figura 2-9	Torre de Refrigeración de Agua DZ M1-1.	70
Figura 2.10	Proceso de Soplado.	71
Figura 2.11	Comparación de Temperatura Interna vs Externa de las Paredes de las Preformas Durante el Proceso de Calefacción.	76
Figura 2.12	Perfil de Temperatura.	77
Figura 2.13	Zonas de la preforma - botella.	78
Figura 2.14	Variación de Potencia de la Lámpara.	79
Figura 2.15	Punto 0 y Punto 10.	81

Figura 2.16	Presoplado y Soplado.	82
Figura 2.17	Curva Típica de Fuerza - Tensión para una Botella de Polímero a una Determinada Viscosidad Intrínseca.	83
Figura 2.18	Curva Típica de Fuerza - Tensión Durante el Proceso de Estirado, Presoplado y Soplado de una Botella. PET a una determinada Viscosidad Intrínseca.	84
Figura 3-1	Diagrama de Flujo del Proceso de Soplado.	89
Figura 3-2	Diagrama de Bloques dentro de la Máquina Sopladora.	90
Figura 3-3	Defecto Visual - Contaminación.	109
Figura 3-4	Defecto Visual - Fuera de Perpendicularidad.	109
Figura 3-5	Defecto Visual - Rosca Mal Formada.	110
Figura 3-6	Defecto Visual - Opalescencia.	110
Figura 3-7	Defecto Visual - Perlescencia	111
Figura 3-8	Defecto Visual - Anillo en el Cuello.	111
Figura 3-9	Defecto Visual - Punto de Inyección Descentrado	112
Figura 3-10	Calibre de Aprobación para el Finish 28 PCO.	113
Figura 3-11	Dimensiones del Finish 28 PCO	113
Figura 3-12	Corte por Secciones.	117
Figura 3-13	Prueba de Caída Vertical.	118
Figura 3-14	Muestras para Realizar las Pruebas de Retención de Carbonatación.	123

NOMINA DE ANEXOS

Anexo 1	Cronograma.
Anexo 2	Requerimiento y Disponibilidad de equipos y materiales.
Anexo 3	Estándares de los parámetros del proceso.
Anexo 4	Balance de Materia y Energía en Época de Invierno.
Anexo 5	Resultados de las Pruebas.

LISTA DE ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS.

LISTA DE ABREVIATURAS.

EMBOL	Embotelladoras Bolivianas Unidas.
S.A.	Sociedad Anónima.
PET	Polietileno Tereftalato.
S	Sur.
O	Oeste.
STD	Estándar.
ISO	Organización Internacional para la Normalización.
OHSAS	Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional.
USD	Dólar Estados Unidos o Dólares Estadounidenses.
PVC	Policloruro de Vinilo.
Dr.	Doctor.
PE	Polietileno.
SPI	Servicio de Protección Institucional.
Mtons	Miles de Toneladas.
NAFTA	Tratado de Libre Comercio de América del Norte.
CEI	Comunidad de Estados Independientes.
CEP	Centro Español de Plásticos.
UE	Unión Europea.
PEMRG	Grupo de Investigación de Mercado del Plástico en Europa.
USA	Estados Unidos de América.
TFU	Unidad de Franquicias The Coca Cola Company.
IBNORCA	Instituto Boliviano de Normalización y Calidad.
RSE	Responsabilidad Social Empresarial.
CO ₂	Dióxido de Carbono.
3R	Reciclar, Reducir y Reutilizar.
c.c.	Centímetros Cúbicos.
NR-PET	PET No Retornables.
O ₂	Oxígeno.
TESA	Técnico, Económico, Social y Ambiental.
pH	Potencial de Hidrogeno.
OMS	Organización Mundial de la Salud.
FEFO	Firts Expired First Out.
CaCO ₃	Carbonato de Calcio.

SETAR	Servicios Eléctricos Tarija.
COSAALT	Cooperativa de Servicios de Agua y Alcantarillado de Tarija.
EMAT	Entidad Municipal de Aseo Tarija.
EMTAGAS	Empresa Tarijeña del Gas.
EVA	Acetato de Vinilo - Etileno
FDA	Administración de Drogas y Alimentos.
kPa	Kilo Pascales.
RASIM	Reglamento Ambiental para el Sector Industrial Manufacturero.
DBO	Demanda Biológica de Oxígeno.
DQO	Demanda Química de Oxígeno.
PLC	Controlador Lógico Programable.
OW	One Way o Un solo uso.
CC	Coca Cola.
FN	Fanta.
SP	Sprite.
SB	Simba.
MN	Mineragua.
NaOH.	Hidróxido de Sodio.
Cpk.	Índice de Capacidad.
VAN.	Valor Actual Neto.
TIR.	Tasa Interna de Retorno.
LEI	Límite Extremo Inferior.
LES	Límite Extremo Superior.

LISTA DE SÍMBOLOS.

mm.	Milímetros.
°C	Grados Centígrados.
≈	Aproximadamente Igual a.
cm ³	Centímetros Cúbicos.
gr.	Gramos.
kg.	Kilogramos.
°BRIX	Grados Brix (concentración de azúcar).
m.	Metros.
%	Porcentaje.
V.	Voltio.
BAR.	Bares (Unidad de Presión).
m ²	Metros Cuadrados.
cm.	Centímetros.
ppm.	Partes Por Millón.
mg/l	Miligramos por Litro.
W	Watts.
hr.	Hora.
J	Joule.
H.	Entalpia.
Q.	Calor
ρ.	Densidad.