

DISEÑO DEL PROCESO DE LAVADO Y SECADO POST-CONSUMO PARA
RECIPIENTES DE POLIPROPILENO IMPLEMENTADOS EN LA RECOLECCIÓN
DE ACEITE.



HAMER CHICA LARIOS
YEISON JOSE RODRÍGUEZ MAZA

UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL CARIBE
PROGRAMA DE INGENIERIA MECÁNICA
FACULTAD DE INGENIERÍA
BARRANQUILLA, ATLÁNTICO
2014

DISEÑO DEL PROCESO DE LAVADO Y SECADO POST-CONSUMO PARA
RECIPIENTES DE POLIPROPILENO IMPLEMENTADOS EN LA RECOLECCIÓN
DE ACEITE.

HAMER CHICA LARIOS
YEISON JOSE RODRÍGUEZ MAZA

Tesis de grado para optar al título de INGENIERO MECÁNICO

Director De Tesis:
Msc Ing. Wilmer Segundo Velilla Díaz

Asesor Metodológico:
Msc Ing. Franz Quesada

UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL CARIBE
PROGRAMA DE INGENIERIA MECÁNICA
FACULTAD DE INGENIERIA
BARRANQUILLA, ATLÁNTICO
2014

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado.

Firma del jurado.

Firma del jurado

Barranquilla, 20 de agosto de 2014

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios por haberme permitido vivir hasta este día, haberme guiado a lo largo de mi vida, por ser mi apoyo, mi luz y mi camino. A mi abuela CARMEN LARIOS que, aunque ya no se encuentre con nosotros físicamente, siempre estará presente en mi corazón, por haber creído en mí hasta el último momento.

A mi madre MARGARITA CHICA LARIOS por ese espíritu de lucha insaciable, por educarme y hacerme un hombre de bien. Gracias al Ingeniero WILMER VELILLA por el apoyo brindado a lo largo de la carrera, por su tiempo, amistad y por los conocimientos transmitidos.

De ante mano le agradezco muchísimo a DIOS por haberme dado la oportunidad de venir al mundo, por la fortaleza y sabiduría para luchar cada día por los deseos de mi corazón. Por haberme guiado por el camino de la victoria en los momentos más difíciles, a mis padres ALIDIS MAZA MIELES y ANTONIO RODRIGUEZ GALLARDO y a mi hermana DANITZA RODRIGUEZ MAZA por haberme dado la oportunidad de llegar a una universidad y estar a las puertas de ser un profesional cumpliendo mi sueño de ser un ingeniero de la familia, por sus grandes enseñanzas y valores que me han hecho crecer como persona, y sobre todo por darme ese apoyo incondicional que el día de hoy me hace darles esta gran felicidad.

Este agradecimiento lo hago extensivo al profesor Wilmer Velilla Díaz, por su invaluable apoyo en la ejecución de este trabajo, por sus sabios consejos y por todo el conocimiento que de manera desinteresada me brindó. Finalmente agradezco a todos mis familiares y amigos que directamente contribuyeron a la realización de este gran proyecto en mi vida y por ultimo le agradezco mucho a SANDRA MILENA ORELLANO NAVAS por ayudarme a seguir con mi sueño en los momentos más difíciles de mi vida.

TABLA DE CONTENIDO

LISTADO DE TABLA.....	8
LISTADO DE ECUACIONES	10
LISTADO DE FIGURAS.....	12
INTRODUCCIÓN.....	14
1. IDENTIFICACION Y DESCRIPCION DEL PROBLEMA.....	16
1.1. ANTECEDENTES CIENTIFICOS.....	16
1.2 DESCRIPCION DEL PROBLEMA.....	17
1.3. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	19
1.4. FORMULACION DEL PROBLEMA.....	19
2.JUSTIFICACION.....	20
3. OBJETIVOS.....	22
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	22
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
4. MARCO DE REFERENCIA.....	23
4.1 MARCO CONCEPTUAL.....	25
4.2 MARCO TEORICO.....	28
4.2.1. El origen y desarrollo del plástico.....	28
4.2.2. Polipropileno.....	29
4.2.3. La industria de los plásticos en Colombia.....	32
4.2.4. Situación ambiental del país y de sus ciudades.....	33
4.2.5. Consumo y generación de residuos plásticos.....	33
4.2.6. Aprovechamiento y valorización de los residuos plásticos.....	34
4.2.7. Manejo de los residuos plasticos en Colombia.....	35
4.2.8. Aportes del plastico para el desarrollo sostenible.....	36
5. METODO DE RECICLAJE MECANICO.....	39

5.1. PROCESO DE SEPARACION MANUAL.....	40
5.2. MOLINO TRITURACION.....	41
5.2.1. Molino triturador de cuchillas radicales.....	42
5.2.2. Molino biconico de trituración.....	42
5.2.3. Molino vertical de rodillos	42
5.3. PROCESO DE LAVADO.....	43
5.3.1. Proceso de lavado por agitacion.....	43
5.3.2. Proceso de lavado por ciclon.....	45
5.3.3. Proceso de lavado por centrifugacion.....	47
5.4. PROCESO DE SECADO.....	49
5.4.1. Proceso de secado por combustible.....	49
5.4.2. Proceso de secado rotativo.....	50
5.4.3. Proceso de secado solar.....	51
5.4.4. Proceso de secado por resistencias electricas.....	52
6. SOLVENTES UTILIZADOS EN EL PROCESO DE LAVADO.....	54
6.1. PRIMERA ALTERNATIVA THINNER.....	54
6.1.1. Riesgos y precauciones.....	55
6.1.2. Propiedades fisicoquimicas del thinner.....	55
6.2. SEGUNDA ALTERNATIVA ACIDO NITRICO.....	56
6.2.1. Composición del producto.....	56
6.2.2. Identificacion de los peligros.....	56
6.2.3. Potenciales efectos sobre la salud.....	56
6.2.4. Manejo y almacenamiento.....	57
6.2.5. Propiedades físicas y químicas.....	57
7. RESULTADO DEL PROCESO DE LAVADO QUIMICO.....	58
7.1. NORMAS EMPLEADAS PARA EL PROCESO ESPECTROSCOPICO	58
7.2. PROBETAS LAVADOS CON THINNER	63

8. MARCO LEGAL.....	64
8.1. NORMAS Y LEYES VIGENTES.....	65
9. METODOLOGÍA.....	67
9.1. DETERMINACION DEL SISTEMA DE LAVADO	68
9.2. METODOLOGÍA DE DISEÑO PARA EVALUAR LA VIABILIDAD DEL PROCESO .	77
9.3. DISEÑO DE DETALLE Y DESARROLLO DE LOS PLANOS DE FABRICACIÓN, MONTAJE Y MANUALES DE FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA	90
9.3.1. Diseño de detalle de la máquina de lavado y manual de la misma.....	91
9.3.2. Guia de funcionamiento	103
9.4. METODOLOGÍA DE DISEÑO PARA EVALUAR LA VIABILIDAD DEL PROCESO DE SECADO.....	107
10. CONCLUSIONES.....	160
11. RECOMENDACIONES.....	162
12. BIBLIOGRAFÍA.....	163
13. ANEXOS.....	167

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Vida útil de los plásticos en Colombia	18
Tabla 2. Vida útil de los plásticos en Colombia	34
Tabla 3. Ventajas y desventajas del lavado por agitación.....	44
Tabla 4. Ventajas y desventajas del lavado por ciclón	46
Tabla 5. Ventajas y desventajas del lavado por centrifugación.....	48
Tabla 6. Costos de fabricacion para el proceso de agitacion	70
Tabla 7. Costos de fabricacion para el proceso de ciclon	72
Tabla 8. Costos de fabricacion para el proceso de centrifugacion	74
Tabla 9. criterios de evaluacion de los procesos de lavado	76
Tabla 10. Necesidades del cliente.....	78
Tabla 11 Identificación de atributos.....	79
Tabla 12. Listado de objetivos según su jerarquía	80
Tabla 13. Objetivos de primer nivel	82
Tabla 14. Objetivos de segundo nivel para los costos	82
Tabla 15. Objetivos de segundo nivel para el diseño	82
Tabla 16. Objetivos de segundo nivel para la logística	83
Tabla 17. Objetivos de segundo nivel para el medio ambiente	83
Tabla 18. Nivel de importancia según las especificaciones del cliente	85
Tabla 19. Alternativas desarrolladas en el proyecto.....	86
Tabla 20. Ponderacion de los objetivos.....	87
Tabla 21. Necesidades del cliente.....	108
Tabla 22 Identificación de atributos.....	109
Tabla 23. Listado de objetivos según su jerarquía	110
Tabla 24. Objetivos de primer nivel	111
Tabla 25. Objetivos de segundo nivel para los costos	111
Tabla 26. Objetivos de segundo nivel para el diseño	111
Tabla 27. Objetivos de segundo nivel para la logística	112
Tabla 28. Objetivos de segundo nivel para el medio ambiente	112
Tabla 29. Nivel de importancia según las especificaciones del cliente	115

Tabla 30. Alternativas desarrolladas en el proyecto.....	116
Tabla 31. Ponderacion de los objetivos.....	117
Tabla 32. Piezas de la máquina de secado.....	121

LISTADO DE ECUACIONES

Ecuación 1. Tasa interna de retorno TIR para el proceso de lavado agitación	73
Ecuación 2. Valor presente para el proceso de lavado por agitación.....	73
Ecuación 3. Tasa interna de retorno TIR para el proceso de lavado ciclón	75
Ecuación 4. Valor presente para el proceso de lavado por ciclón.....	75
Ecuación 5. Tasa interna de retorno TIR para el proceso de lavado centrifugo	77
Ecuación 6. Valor presente para el proceso de lavado por centrifugación	77
Ecuación 7. Fuerza cortante.....	93
Ecuación 8. Potencia.....	93
Ecuación 9. Columna larga	95
Ecuación 10. Columna de euler	95
Ecuación 11. Análisis Flexión para los soportes horizontales del motor.	96
Ecuación 12. Frecuencia natural de vibracion.....	97
Ecuación 13. Densidad	99
Ecuación 14. Esfuerzo sobre las paredes del tanque	100
Ecuación 15. Esfuerzo normal de la barra	101
Ecuación 16. Factor de seguridda.....	102
Ecuación 17. Densidad corregida por temperatura	123
Ecuación 18. Densidad absoluta.....	123
Ecuación 19. Diametro de la tubería	127
Ecuación 20. Velocidad corregida del aire	128
Ecuación 21. Velocidad de flotacion.....	128
Ecuación 22. Velocidad relativa	129
Ecuación 23. Velocidad del material	129
Ecuación 24. Aire requerido de transporte	130
Ecuación 25. Material de carga.....	131
Ecuación 26. Pies cubicos de aire por libra de material.....	131
Ecuación 27. Altura de presión equivalente del aire para una pulgada de agua.	131
Ecuación 28. Perdidas en tramos verticales	132
Ecuación 29. Perdidas en tramos horizontales	132

Ecuación 30. Perdidas por aceleracion	134
Ecuación 31. Perdidas por codos.....	135
Ecuación 32. Perdidas debido al flujo de aire	135
Ecuación 33. Perdidas totales venturi	137
Ecuación 34. Perdidas por ciclón	144
Ecuación 35. Presion estatica	147
Ecuación 36. Perdidas corregidas del ventilador.....	148
Ecuación 37. Perdidas reales del ventilador	148
Ecuación 38. Potencia real del ventilador	148
Ecuación 39. Eficiencia del ventilador	149
Ecuación 40. Altura del cono truncado.....	152
Ecuación 41. Potencia para un gas ideal	153
Ecuación 42. Potencia activa	154
Ecuación 43. Corriente por fase	158
Ecuación 44. Corriente por resistencia.....	159

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Disposición final de los residuos solidos	16
Figura 2. Los tres tipor de estructuras isomeras del polipropileno	29
Figura 3. Método de reciclaje mecánico	39
Figura 4. Sistema de lavado por agitación	44
Figura 5. Sistema de lavado por ciclón	46
Figura 6. Sistema de lavado por centrifugacion	48
Figura 7. Sistema de secado por combustible.....	50
Figura 8. Sistema de secado rotativo	51
Figura 9. Sistema de secado solar	52
Figura 10. Sistema de secado por resistencias electricas.....	53
Figura 11. Particulas por millon del aceite sae 60	59
Figura 12. Particulas por millon adheridas a la probeta	60
Figura 13. Particulas por millon del aceite sae 30	61
Figura 14. Particulas por millon adheridas a la probeta	62
Figura 15. Probetas en el proceso de lavado	63
Figura 16. Probetas lavadas.....	63
Figura 17. Diagrama de flujo	77
Figura 18. Funciones del proceso	84
Figura 19. Estructura y análisis de esfuerzo de la maquina de lavado.....	91
Figura 20. Potencia del motor vs fluido viscoso	92
Figura 21. Diagrama de cuerpo libre	94
Figura 22. Análisis Flexión para los soportes horizontales del motor.....	96
Figura 23. Dimensiones del tanque de lavado	98
Figura 24. Presión estática ejercida sobre el tanque.....	99
Figura 25. Diagrama de cuerpo libre	101
Figura 26. Diagrama de flujo	107
Figura 27. Funciones del proceso	113
Figura 28. Máquina de secado	120
Figura 29. Presion según la altitud	125

Figura 30. Velocidad de transporte	126
Figura 31. Coeficiente de fricción	133
Figura 32. Deposito venturi	138
Figura 33. Ampliaciones y reducciones.....	140
Figura 34. Longitud equivalente para codos	141
Figura 35. Perdidas en fricción en ductos por cabeza de velocidad.....	142
Figura 36. Factor de correccion para ductos.....	143
Figura 37. Capacidad de ciclones de 2 y 6 pulgadas de caídas de presión.....	145
Figura 38. Caída de presión en ciclones en condición de operación.....	146
Figura 39. Viscosidad del aire	146
Figura 40. Ventiladores de 6 pulgadas	149
Figura 41. Dimensiones del ciclón.....	152
Figura 42. Propiedades del aire a presión atmosférica	156
Figura 43. Propiedades de los metales para resistencias eléctricas	157
Figura 44. Diámetro de hilos de cobre para valores de corriente determinada ...	158
Figura 45. Propiedades generales del polipropileno	173
Figura 46. Propiedades generales del polipropileno	174
Figura 47. Propiedades del acero	175
Figura 48. Propiedades del acero	176
Figura 49. Propiedades del acero	177
Figura 50. Ficha técnica del motor	178
Figura 51. Plano eléctrico del motor.....	179
Figura 52. Secciones normales de ángulos en L.....	180
Figura 53. Diagrama de un ventilador centrífugo 9 HP.....	181
Figura 54. Ventilador centrífugo 9 HP	182

INTRODUCCION

Las empresas del sector minero utilizan como herramienta preventiva el estudio del aceite de motor con la intención de pronosticar fallas y ejecutar acciones que optimicen la producción y el desempeño de la maquinaria. Actualmente se presenta un hacinamiento de residuos plásticos debido a que los recipientes empleados para realizar este estudio no pueden ser reutilizados para el mismo proceso, debido a las altas temperaturas con las cuales se deben realizar estas pruebas. Por tal motivo se destina un monto económico considerable a entidades para que ejecuten la disposición final del residuo plástico.

La idea de investigación denominada DISEÑO DEL PROCESO DE LAVADO Y SECADO POST-CONSUMO PARA RECIPIENTES DE POLIPROPILENO IMPLEMENTADOS EN LA RECOLECCIÓN DE ACEITE hace parte de un macro proyecto titulado METODOLOGÍA DE DISEÑO PARA EL MANEJO Y APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS (POLIPROPILENO), APOYADO EN TECNOLOGÍAS LIMPIAS QUE BRINDEN UNA ALTERNATIVA ECONÓMICA, AMBIENTAL Y SOCIAL. Se estudia la proyección del impacto socio económico de crear productos para la sociedad por medio de un proceso mecánico, teniendo como base el polipropileno RANDOM. Mediante un proceso de trituración se tomaran probetas de polipropileno desechadas y posteriormente lavadas para obtener materia prima en el estudio de la viabilidad de dicho proceso.

Este proyecto se fundamenta en la necesidad que presentan diversas empresas en el departamento del Atlántico de aprovechar el residuo plástico proveniente de los recipientes de polipropileno utilizados en sus procesos. Particularmente esta investigación se basa en el estudio del proceso de alistamiento mecánico (trituración), químico (lavado) y eléctrico (secado) que debe recibir el desecho plástico para su valorización. Pero la presencia de solventes en el proceso de lavado tiende a causar en los plásticos un aumento de volumen. Por esto, para obtener una eficiente transformación de los plásticos se hace necesario un secado preliminar,

que genere corrientes de aire caliente. El método de análisis inicia con la toma de las muestras de aceite de los vehículos del campo industrial, posteriormente son llevadas al laboratorio para ser examinadas por una máquina que emite rayos gama y describe por medio de gráficas la proyección de la vida útil que tiene el motor del equipo pesado.

En los últimos años se ha incrementado el número de equipos en los principales yacimientos carboníferos de Colombia. Como lo son: Drummond, la Jagua, Prodeco, Cerrejón, entre otros. Pasando de 971 unidades en el 2009 a 1.501 unidades de máquinas industriales al primer semestre del 2012 incidiendo directamente en el número de muestras de aceites tomadas en sus laboratorios que van desde 9.190 hasta 14.862 muestras totales en el mismo periodo. Esta actividad se considera una fuente generadora de residuos plásticos y una oportunidad potencial para ser reutilizados en un posterior proceso¹.

¹ Sociedad Nacional de Industrias Colombianas. 11 de junio del 2012.

1. IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES CIENTÍFICOS DEL PROBLEMA.

El desecho de los recipientes plásticos que utilizan frecuentemente las industrias para realizar sus análisis se ha convertido en un problema debido a que la mayoría de ellos son materiales de difícil degradación, por lo que se acumulan en los suelos afectando el medio ambiente. Por esta razón este proyecto se encuentra encaminado exclusivamente a la trituración, lavado y secar de envases (polipropileno), en forma de hojuelas convirtiéndose de esta forma en una materia prima para la elaboración de diversos productos como sillas, canecas, piezas de automóviles, juguetes, etc. Por lo que, para llevar a cabo el proceso de trituración, lavado y posteriormente el secado, el diseño requiere la consideración del tamaño de los envases, el color del material plástico (polipropileno), y el retiro de etiqueta y tapa².

Figura 1. Disposición final de los residuos sólidos en las industrias.



Fuente: [www. Ntrzacatecas.com](http://www.Ntrzacatecas.com) (visitado el 4 de septiembre).

² **Hannequart, Jean-Pierre.** Guía de buenas prácticas para el reciclaje de los residuos plásticos y para las autoridades locales y regionales: s.n., (2009).

Estos análisis se realizan en recipientes de polipropileno RAMDOM, con dimensiones de 9 cm de altura con un radio de 2.2 cm y un peso de 35 g. El proceso seguido es el siguiente; Se vierte dentro de los recipientes aceite de motor a una temperatura que oscila entre los (80-90) °C después que el vehículo haya cumplido su actividad diaria, posteriormente estos aceites son llevados a un banco de prueba donde se generan gráficas para determinar la vida útil del motor y finalmente el aceite es separado de las recipientes. El fluido viscoso es vertido en un tanque de almacenamiento y las probetas son recogidas en bolsas plásticas, generando así cantidades de desecho plástico cercanas a los 500kg por mes. Que son posteriormente llevadas a rellenos sanitarios a cielo abierto donde son enterradas y roseadas con reactivo que al momento de reaccionar los va deteriorando y con el paso del tiempo se van degradando de tal manera que se vuelven un gas y se esparcen dentro de la corteza terrestre. Pero este proceso le genera un costo adicional a la empresa que debe de pagar mensualmente.

1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

En la actualidad las empresas, encargadas de analizar el aceite de los equipos pesados, para determinar la vida útil de sus motores, presentan una aglomeración de residuos plásticos debido a que los recipientes empleados para realizar este tipo de estudio no pueden ser reutilizados para el mismo proceso y no están representando un ingreso económico. Por el contrario se paga un trabajo a terceros para la disposición de estos residuos.

Teniendo en cuenta lo citado, y analizando la situación actual de las empresas de la región es evidente la generación de un volumen considerable de desechos plásticos. Entre ellos el polipropileno (PP) RAMDOM, principal constituyente de los envases recolectores de aceite. A partir de esta situación nace la necesidad y la idea de diseñar una máquina que tenga como función u objetivo lavar todas las probetas de PP, teniendo presente parámetros como funcionalidad, impacto ambiental, costos, rentabilidad, seguridad y volumen de producción.

El proceso manualmente es tedioso y extenso, por el cual se necesita un dispositivo mecánico que lave la mayor cantidad de recipientes y separe el aceite existente en las paredes de los mismos, utilizando solventes que no afecten sus estructuras moleculares y su presentación superficial por medio de reacciones químicas³.

Actualmente el desecho que aportan las empresas colombianas que realizan el proceso de análisis de fluidos (aceite y refrigerantes), representa un promedio anual de 10112.6 toneladas/semanal de plástico residual; con una tasa de incremento de aproximadamente 6% toneladas por año⁴.

Tabla 1. Producción total de residuos sólidos toneladas/día año 2013.

	Plástico	Cartón	Vidrio
Bogotá	5698.3	3217.2	3876.3
Medellín	4351.6	3587.1	3012.8
Cali	3915.1	3657.1	3013.7
Armenia	4456.9	4231.8	3860.2
Manizales	5302.1	4777.6	4112.3
Pasto	3654.7	3001.9	2965.1
Cartagena	3769.8	3455.2	3564.9
Barranquilla	5498.3	4002.8	4309.9
Bucaramanga	4771.2	2998.2	3300.7

Fuente. GEOSIGMA LTDA, Informe final 20 de Noviembre de 2013.

Según lo anterior es necesario implementar procesos sistemáticos y metodologías de diseño que permitan identificar las ventajas y desventajas de cada uno de los

³ TCHOBANOGLOUS, George; Theisen, Hillary; Vigil, Samuel. Gestión Integral de los residuos sólidos. Mc Graw Hill. 2009.

⁴ GEOSIGMA LTDA. Evaluación técnica de la situación actual de la prevención, minimización, aprovechamiento y valorización de residuos plásticos y orgánicos de Colombia y sus regiones. Informe final 20 de noviembre de 2013.

subsistemas de lavado y secado que se pueden desarrollar, y de esta manera, cumplir con las exigencias y necesidades de la empresa.

1.3. ALCANCES Y LIMITACIONES.

La finalidad del proyecto es lograr diseñar la ruta del sistema de reciclaje mecánico. Así mismo dejar establecido recomendaciones de mejora para posteriores proyectos o diversidad funcional de las máquinas de lavado y secado de plástico.

1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

Actualmente las empresas colombianas se encuentran buscando un proceso de reciclaje basado en sistemas químicos o mecánicos que permitan valorizar los recipientes de polipropileno RAMDOM y no destinar dinero a terceros para realizar esta labor, que en un futuro puede proporcionar un activo económico mayor al actualmente generado.

2. JUSTIFICACION

Existen proyectos similares en cuanto al reciclaje mecánico y lavado químico pero las metodologías de diseño poco se han utilizado para la selección de métodos en estos procesos⁵. En el 2004 se realiza una propuesta de un método para la elección de buenas alternativas y la localización de empresas de reciclaje de RAEE en España, esta desarrolla un procedimiento que consiste en la identificación de los factores relevantes que deben tenerse en cuenta y en la aplicación de una técnica de decisión discreta a nivel provincial⁶. En Argentina la facultad de diseño y urbanismo de la universidad de Buenos Aires, realizó una investigación para evaluar la ruta más óptima a gran escala del PP (polipropileno) aplicando una metodología de diseño con el fin de analizar las mejores prácticas de tratamiento de tres empresas diferentes, para finalmente crear una hoja de recomendaciones para el aprovechamiento de los residuos de este tipo de plástico⁷.

La metodología empleada en este proceso tiene un valor agregado al obtener la recuperación del solvente llamado THINNER que está dentro de un rango del (40-60) % utilizado en la segunda etapa del proceso inicial. El diseño de la máquina empleada en el lavado químico fue generado basado en los manuales del ingeniero mecánico.

Este escrito está sustentado dentro de los requisitos exigidos para desarrollar un trabajo de grado como lo son las normas ISO, FDA y la política de manejo integral de residuos sólidos expedida por el ministerio ambiental y el Consejo Nacional Ambiental de vivienda y desarrollo territorial.

⁵ Arrigoni, J. P. Evaluación del desempeño de diferentes procesos en el tratamiento de residuos sólidos. 2011. Tesis de Maestría. Universidad Nacional del Comahue, Neuquén, Argentina. 126 pp.

⁶ AIMPLAS Idoneidad del PP. reciclado en contacto con alimentos, y situación de su uso en Europa y otros países.2008.

⁷ FIPMA y Plastivida. Manual de Valorización de los Residuos Plásticos, Buenos Aires, (2011).

El diseño del proceso de lavado es muy importante ya que lo que se va a separar de los recipientes es un aceite pesado. Por lo tanto se deben tener en cuenta muchos factores como lo son: las propiedades mecánicas del plástico, su temperatura máxima de trabajo entre otros. Como el proceso de lavado humedece las partículas es necesario diseñar un proceso de secado.

El sistema de secado a cielo abierto es simple y barato, pero implica mucho Movimiento del plástico, pues debe protegerse de lluvias repentinas; del polvo, basura y los animales. Además que se debe cubrir o guardar por las noches.

El secado del plástico es una operación importante, para reducir el contenido de humedad hasta un nivel adecuado en una fase crítica de transición entre el plástico húmedo y totalmente seco.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL.

Evaluar el proceso para la recuperación de recipientes de PP RAMDOM recolectores de aceite, empleando un método eficaz, económico y que no genere un impacto ambiental negativo.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Evaluar mediante metodologías de diseño la viabilidad del sistema de lavado que mejor aplique a los recipientes recolectores de aceite de polipropileno RAMDOM.
- Seleccionar el subsistema de lavado para separar aceites de recipientes PPR (polipropileno RAMDOM) acorde a la situación actual de la empresa.
- Elaborar los planos de la máquina de lavado
- Realizar la guía de funcionamiento y mantenimiento de la máquina de lavado.
- Diseño de detalle de una secadora de residuos plásticos (RAMDOM).

4. MARCO DE REFERENCIA

La industrialización, la producción y distribución en masa generó más productos y más residuos plásticos. El crecimiento de los mercados industriales para algunos productos requirió del continuo desecho de los mismos, por lo que, el crecimiento económico del siglo XXI fue impulsado por el plástico⁸. Christine Frederick utiliza el término de “obsolescencia programada” para describir la fuente del crecimiento de la economía generadora de productos que duren poco. Esto creó en la sociedad un método de “usar y tirar”. El polipropileno se ajustó perfectamente a esta transformación cultural hacia el desecho. Gracias a su bajo costo ha sido posible el éxito de productos diseñados para desechar. Cada vez son más los productos hechos con este material. Brindando la posibilidad de hacer menos esfuerzo, facilitando algunas actividades de la vida diaria. Además, ha tenido un papel primordial en la prevención de transmisión de enfermedades y en la obtención de una mejor higiene⁹.

Los plásticos pueden ser considerados como un bien que aumenta la eficiencia de recursos. Hay una eficiencia energética que se da gracias a la obtención de productos más livianos. El ejemplo usado por la industria del plástico es que se necesita menos energía para transportar un camión de recipientes industriales de plástico, que si estuvieran en probetas industriales de vidrio debido al peso. Sin embargo, lo que inicialmente es un ahorro se traduce en desperdicio cuando las probetas de plástico son convertidas en desecho y las de vidrio se reutilizan. Esta es una perversión de la eficiencia, un producto tan barato permite ser desechado fácilmente.

Sin embargo, el éxito de estos productos en la actualidad está en función de los procesos de reciclaje. Actualmente se estima que se recupera menos del 15% de los

⁸ Tellez Maldonado, Alejandra. (2012). "La complejidad de la problemática ambiental de los residuos plásticos: Una aproximación al análisis narrativo de política económica."

⁹ Acoplásticos. (2011a). *Directorio Colombiano de Reciclaje de Residuos Plásticos*. Bogotá: Acoplásticos.

materiales plásticos contenidos en los residuos sólidos industriales siendo mayoritariamente el polietileno (PE) y polipropileno (PP) (alrededor del 60%) y en menor proporción están el poliestireno (PS), cloruro de polivinilo (PVC), polietilentereftalato (PET), poliestireno-butadieno (PS-BD), poli(metacrilato de metilo) (PMMA), entre otros¹⁰.

La combustión generada por residuos de PP es una idea implementada por las nuevas generaciones para la recuperación de energía de los materiales plásticos, los cuales poseen un elevado poder calorífico (PE, 43 MJ/kg; PP, 44 MJ/kg; PS, 40 MJ/kg; PVC, 20 MJ/kg, etc.). Sin embargo, la combustión debe estar sujeta a controles medioambientales, para neutralizar los residuos sólidos y los afluentes gaseosos (como cloruro de hidrógeno)¹¹. Los plásticos, por su composición y su origen derivado del petróleo son una materia prima agotable, son un residuo de alto valor, relativamente fácil de recuperar y abundante en nuestra sociedad.

El plástico se ha convertido en un material ineludible en el mundo moderno: es barato, versátil y duradero.

En poco de más de un siglo, el plástico se ha hecho indispensable en la ingeniería moderna y en la producción de bienes de consumo de masas. En solo 50 años, la producción mundial de plásticos ha pasado de 1,5 millones de toneladas al año en 1950, a 245 millones de toneladas en 2008, una tendencia que se calcula que continuará. Los residuos, en muchos casos, terminan formando el 80 % de las enormes placas de residuos que hay en los océanos Atlántico y Pacífico causando graves daños a las especies marinas, que pueden enredarse con ellos o ingerirlos. La presencia de residuos plásticos, incluso en las zonas más remotas de mares y orillas del mundo, demuestra que la humanidad está pagando caro el exceso de

¹⁰Acoplásticos. (2011b). Los plásticos, el medio ambiente y la sociedad. *Plásticos en Colombia 2011-2012 50 Años*. Bogotá: Acoplásticos.

¹¹ Balart, R., López, J., García, D. and Parres, F. (2009). "Técnicas experimentales de análisis térmico de polímeros", Ed. U.P.V., Valencia.

residuos plásticos. Además el plástico convencional contiene un gran número, y a veces una gran proporción, de aditivos químicos que pueden ser carcinógenos, provocar reacciones tóxicas.

Un ejemplo del peligro que representa para la fauna marítima ha sido el descubrimiento de un cachalote de 4,5 toneladas de peso que ha aparecido varado en la costa de Granada, los científicos han descubierto que murió tras haber ingerido grandes cantidades de plástico, más de 17 kilos, procedente de los invernaderos que protegen los cultivos intensivos de la región.

Dinamarca y Bélgica incineran el 54% y el 42% de sus residuos municipales respectivamente y sólo el 1% termina en vertederos. En España es el 58% y debe cambiar totalmente la gestión de su política de reciclaje. En 2008 había casi 3.000 basureros sin licencia, la mayoría supone un problema para el medio ambiente y un riesgo de incendio para las zonas forestales próximas. En enero la Comisión Europea, reconoció que España había hecho ciertos progresos, pero si en el plazo de dos meses el Gobierno no adopta las medidas exigidas, Bruselas podría llevar el caso ante el Tribunal de Justicia de la UE¹².

4.1. MARCO CONCEPTUAL.

La disposición final del plástico tiene un impacto ambiental según el proceso empleado en la eliminación del mismo. Para ello se crearon métodos de reciclaje, reutilizar y recuperación.

¹² Libro Verde de la Comisión Europea sobre residuos plásticos Encuesta de la UE sobre el reciclaje (2013)

- El reciclaje de envases plásticos: Se obtiene por tres métodos; el químico, el mecánico y el energético. La recolección de los envases es fundamental según el éxito de su agrupación.
- la recuperación de los restos plásticos: Cada día es más necesaria por dos razones principales: La contaminación que provocan y el valor económico que representan.
- La reutilización: Es aplicable a aquellos productos que tienen un valor en su forma y estado actual, tales como cajas de poliestireno expandido, recipientes de polipropileno entre otros.

El proceso de recuperación mecánica del plástico, basado en la transformación de granulas, será ejecutado en este macro proyecto para la fabricación de nuevos productos. Se describe de la siguiente manera: El material inicia la zona de reciclado en un proceso de lavado y secado para evitar que se mezclen impurezas. Una vez limpio, es transportado a una máquina de molienda donde se ejecuta la trituración y por último es llevado a una extrusora que proporciona calor y presión para que la masa de plástico se funda transformándose en materia prima. El proceso de recuperación energética en residuos plásticos se basa en la obtención de energía calorífica por medio de polipropileno quemado que puede ser utilizado en los hogares o industrias siendo acompañado de controles y medidas de seguridad que eviten efectos dañinos. El proceso de recuperación química se basa en separar los monómeros que conforman el plástico invirtiendo las etapas que se siguieron para crearlo conformando petroquímicos básicos¹³.

¹³.Salamanca, Carlos Alberto Garay. Sector Plásticos Principales procesos básicos de transformación de la industria plástica y Manejo, aprovechamiento y disposición de residuos plásticos post-consumo GUIAS AMBIENTALES. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Vice ministerio de Ambiente, Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible, (2004). ISBN 958 - 97393 - 4 - 2.

Las metodologías de reciclaje de residuos sólidos implementadas en el 2004 elaboraron una propuesta para la elección de alternativas en la localización de empresas de reciclaje de RAEE en España, para desarrollar un procedimiento que consiste en la identificación de los factores relevantes que deben tenerse en cuenta y en la posterior aplicación de una técnica de decisión discreta (promethee) a nivel provincial para ese país.¹⁴

En Colombia en el año 2009 la Unidad Ejecutiva de Servicios Públicos-UESP (actualmente Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos-UAESP) junto a la Universidad de los Andes adoptaron esta misma metodología realizando un estudio de caracterización y cuantificación de los materiales potencialmente reciclables presentes en los residuos sólidos de las compañías industriales. Dicho estudio halló que en el 2008 llegaban 5200 toneladas de residuos diariamente al RSDJ (cifra que ha aumentado aproximadamente un 11% en 4 años), de las cuales 3588 (69%) correspondían al sector industrial. Los resultados generados por el estudio estimaron que para ese año llegaron 950 toneladas de material reciclable. Lo anterior corresponde al 49% de residuos plásticos. Con estos tipos de materiales se fabrican productos de corta vida útil, como bolsas y botellas, por lo que se explicaría su mayor proporción encontrada¹⁵.

En Colombia sólo se utiliza el reciclaje primario y el secundario. El reciclaje terciario y el cuaternario no se han desarrollado por sus altos costos económicos. En una proporción no muy significativa se están dando experiencias del reciclaje químico y se está evaluando la incineración con recuperación de energía para el caso de los plásticos contaminados con agroquímicos (Acoplásticos & MAVDT 2008). Se debe considerar que, aunque el reciclaje cuaternario no necesita la separación, puede llegar a generar impactos ambientales mayores si se liberan a la atmósfera los

¹⁴ BISIO L. Attilio, XANTHOS Marino, How to Manage Plastic Waste, Hanser Publishers, Ohio, USA, (2007).

¹⁵ Acoplásticos & Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT. (2008). *Guías ambientales. Sector Plásticos*. Bogotá, Colombia: MAVDT.

químicos que los plásticos contienen, además de generar gases efecto invernadero¹⁶.

4.2. MARCO TEÓRICO.

4.2.1. El origen y desarrollo del plástico.

Los plásticos hacen parte de un grupo de compuestos orgánicos denominados polímeros. Están conformados por largas cadenas macromoleculares que contienen en su estructura carbono e hidrógeno. Principalmente, se obtienen mediante reacciones químicas entre diferentes materias primas de origen sintético o natural¹⁷. Dependiendo de la estructura que forma el carbono al asociarse con hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, cambian las propiedades físicas y su estructura molecular. Se dividen en termoplásticos, materiales que se ablandan al ser calentados y se endurecen al enfriarse, y termoestables, que adoptan una forma permanente al aplicarles calor y presión¹⁸.

La producción de plásticos data de 1869 cuando se creó el celuloide que en 1884 dio origen a la película fotográfica. Sin embargo, puede decirse que la industria de los plásticos es del siglo XX. Su crecimiento, desarrollos, aplicaciones e impactos en la sociedad y la economía han tenido lugar en los últimos cien años, lo que convierte a la industria del plástico en un invaluable aporte a la historia de la civilización y a la fabricación de productos esenciales¹⁹.

¹⁶ EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA SITUACIÓN ACTUAL. Prevención, minimización, aprovechamiento y valorización de residuos plásticos en Colombia y sus regiones. Informe final 20 de Noviembre de 2012.

¹⁷MICHAELI Walter, *PlasticsProcessingAnIntroduction*, HanserPublishers, Ohio, Usa, (2007).

¹⁸MICHAELI, GREIF,KAUFMANN,VOSSEBURGER, *Introducción a la tecnología de los plásticos*, HanserPublishers, Ohio, Usa, (2007).

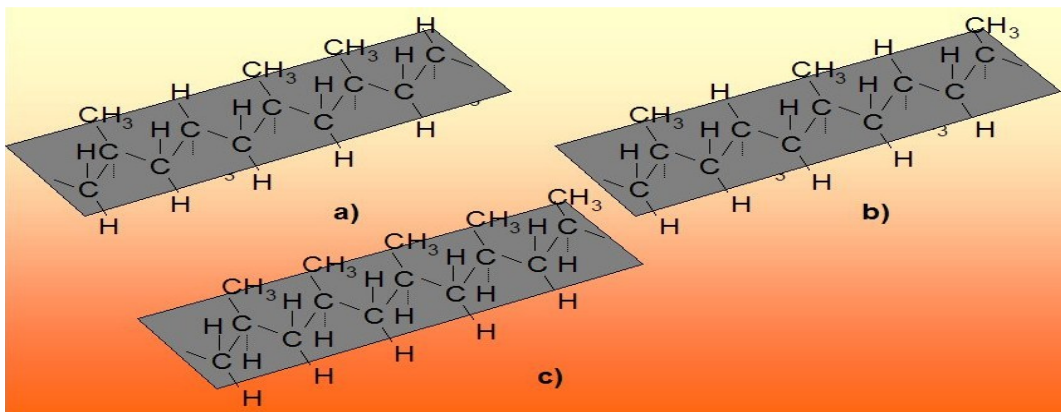
¹⁹Garcia, D., Balart, R., Sanchez, L. and Lopez, J. (2007). "Compatibility of recycled PVC/ABS blends. Effect of previous degradation." *Polymer Engineering and Science*, 47 (6), 789-796.

Desde el comienzo de la década de los 60 se produjo un marcado crecimiento en la industria de los plásticos. Actualmente, la producción mundial es diez veces mayor que en aquella época y alcanza aproximadamente 100 millones de toneladas anuales. La principal materia prima para la producción de plásticos, además del gas natural, es el petróleo. Cabe anotar que sólo el 5% del petróleo extraído se utiliza para la fabricación de plásticos, lo que representa una mínima cantidad de recursos no renovables, comparado con las ventajas y beneficios que se derivan de su transformación en incontables productos útiles. Adicionalmente, comparados con los materiales inorgánicos, los plásticos requieren un menor consumo energético durante su transformación porque se procesan a temperaturas de operación más bajas.

4.2.2. Polipropileno.

El polipropileno se produce desde hace más de veinte años, pero su aplicación data de los últimos diez, debido a la falta de producción directa pues siempre fue un subproducto de las refinerías o de la desintegración del etano o etileno.

Figura 2. Los tres tipos de estructura isómeras del polipropileno.



a. iso táctico, b. Sindi táctico, c. A táctico

Fuente. NICHOLSON, J.W. (2006). *The Chemistry of Polymers, 3rd ed.*. RSC Paperbacks

Como el polipropileno tiene un grupo metilo (CH₃) más que el etileno en su molécula, cuando se polimeriza, las cadenas formadas dependiendo de la posición del grupo metilo pueden tomar cualquiera de las tres estructuras siguientes:

- A) Iso táctico, cuando los grupos metilo unidos a la cadena están en un mismo lado del plano.
- B) Sindio táctico, cuando los metilos están distribuidos en forma alternada en la cadena.
- C) Atáctico, cuando los metilos se distribuyen al azar

El polipropileno es un hidrocarburo que pertenece a la familia de las poliolefinas y es producido a través de la polimerización del propileno (el cual es un gas resultante como subproducto de la industria petroquímica), utilizando catalizadores de tipo Ziegler Natta o Metallocenos para su reacción. Este derivado del plástico también puede ser copolimerizado con etileno para formar los copolímeros RANDOM (mejor transparencia y brillo) y los copolímeros de impacto (buena resistencia al impacto a temperatura ambiente y bajas temperaturas). Posee una alta cristalinidad, por lo que sus cadenas quedan bien empaquetadas y producen resinas de alta calidad.

El polipropileno se utiliza para elaborar bolsas de freezer, microondas y probetas de laboratorio porque tienen alta resistencia térmica y eléctrica además de baja absorción de humedad. Otras propiedades importantes son su dureza, resistencia a la abrasión e impacto, transparencia, y que no es tóxico²⁰.

²⁰ BISIO L. Attilio, XANTHOS Marino, How to Manage Plastic Waste, Hanser Publishers, Ohio, USA, (2007).

➤ Polipropileno Random.

La transparencia es una de las grandes ventajas que ofrece el polipropileno RANDOM para la inyección de piezas, que se destacan por sus propiedades ópticas y mecánicas. Las resinas clarificadas de inyección presentan un balance entre propiedades ópticas y propiedades mecánicas, que permiten su uso en una amplia gama de aplicaciones.

La resina de polipropileno es un factor primordial para lograr artículos con alto nivel de transparencia. Para lograr los mejores resultados, PROPILCO es una empresa 100% colombiana que se dedica a la producción y comercialización de resinas de polipropileno, que incluye dentro de sus procesos etileno como comonomero y agrega un aditivo que modifica la forma cómo el polipropileno cristaliza desde el estado fundido. Las ventajas que se obtienen con el uso de este nuevo aditivo, depende de los equipos y las condiciones de procesamiento²¹.

- Incremento en la productividad: Se ha demostrado en algunos ensayos que existe un potencial para reducir el tiempo de ciclo, dependiendo del equipo. La reducción se debe a una temperatura de cristalización más alta de las resinas clarificadas con NX8000 y a la posibilidad de reducir el perfil de temperatura, lo cual resulta en un menor tiempo de enfriamiento.
- Ahorro potencial de energía: La posibilidad de trabajar con menores temperaturas de proceso permite ahorros de energía²².

²¹ U.S. FDA Food and Drug Administration, Points to Consider for the Use of Recycled Plastics in Food Packaging: Chemistry Considerations, Washington DC, USA, (2012).

²²U.S. FDA Food and Drug Administration Recycled Plastics in Food Packaging, Washington, (2007).

4.2.3. La industria de los plásticos en Colombia.

En los últimos 10 años en Colombia, la industria de plástico creció por encima del promedio de la actividad manufacturera, que se ubicó en un 5% promedio anual. Colombia exporta productos de plástico nacionales a Estados Unidos, Ecuador, Perú y México, que representan más del 60% de las ventas de la industria. De las 312 empresas más destacadas del sector de plásticos a nivel nacional, el 54% realizan su actividad económica en Bogotá y su Región y reportan una participación en ventas en el mercado nacional igual del 54% según el Vademécum de mercados 2008. Dentro de este grupo de empresas, 39 desarrollan procesos de recuperación, reciclaje y comercialización de resinas plásticas post industria y post consumo. Estas 39 empresas representan una participación total en las ventas del sector de plásticos cercana al 6%. De este porcentaje, Bogotá y Soacha, representan uno de los nodos de desarrollo más importantes del reciclaje y comercialización de resinas plásticas, con una participación en ventas cercana al 86% para el año 2010²³.

Teniendo en cuenta la proyección de la población del DANE 2008-2013, la información de la producción per capita de residuos plásticos de los 32 departamentos y que la generación progresiva de residuos está relacionada con el crecimiento poblacional; se estima que la producción total de residuos sólidos generados por el sector domiciliario en Bogotá y su Región *“para el año 2008 fue de 8 915,1 Ton/día, para el año 2009 de 9 018 Ton/día, para el año 2010 de 9 116,6 Ton/día, para el año 2011 de 9 203,5 ton/día con un incremento anual del 3%, pero para el año 2012 y 2013 se presentó una disminución del 0.4% en generación de plástico”*²⁴.

²³Ambiental, Consejo Nacional. POLITICA NACIONAL DE PRODUCCION MÁS LIMPIA BOGOTA. Ministerio del Medio Ambiente, (2011).

²⁴ Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) de 32 departamentos: y la estimación de PPC en el estudio realizado por el ministerio de medio ambiente para el año 2013.

4.2.4. Situación ambiental del país y de sus ciudades.

La disposición final de los residuos plásticos tiene un impacto ambiental en la medida en que los residuos sólidos sean eliminados en las lagunas de oxidación a cielo abierto que existen en nuestro país; siendo ésta una práctica que predomina en la mayoría de los municipios de Colombia. Según la Política de Manejo Integral de Residuos Sólidos expedida por el Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, la práctica de este procedimiento se desarrolla de manera frecuente en nuestro país por la falta de aplicación de tecnologías alternativas para el tratamiento, aprovechamiento y disposición final de los residuos plásticos.

Desde 1997 el Estado Colombiano ha tomado medidas para reglamentar el procedimiento de aprovechamiento y valorización de los residuos sólidos. Como son: - La Política de Manejo Integral de Residuos Sólidos; - El Decreto 1713 de 2002; - La Resolución 1045 de 2003 y una serie de disposiciones a nivel legal que impulsan la separación en la fuente de los diferentes tipos de residuos domiciliarios, la recolección selectiva de los residuos, la existencia de centros de acopio y el fomento de las actividades propias de la recuperación de los residuos como el reciclaje y el compostaje. En consecuencia, empresas, instituciones y ACOPLASTICOS han promovido diferentes campañas de sensibilización, capacitación y manejo de los residuos plásticos reciclables, que se traducen en casos exitosos pero de carácter aislado²⁵.

4.2.5. Consumo y generación de residuos plásticos.

Las industrias que trabajan con plásticos, en Colombia y en el mundo, producen bienes de consumo y bienes intermedios. Dadas las múltiples aplicaciones, propiedades, características y durabilidad de las manufacturas, éstas tienen una vida útil variable, existiendo productos con una durabilidad de largo plazo (mayor a 6

²⁵ACOPLASTICOS. Plásticos en Colombia. XXXII edición, Bogotá, (2002).

años y en varios casos de 50 ó más años), otros de mediano plazo (1 a 6 años) y algunos de corto plazo (15 días a 1 año)²⁶.

Tabla 2. Vida útil de los plásticos en Colombia.

Polipropileno para herramientas	10 a 15 años
Polipropileno de alta densidad para bebidas	5 a 7 años, en promedio
Polipropileno de baja densidad	2 a 3 años

Fuente. Plásticos en Colombia 2001-2002, Acoplasticos, p151.

Considerando el concepto de vida útil, se puede afirmar que el volumen de residuos plásticos urbanos será siempre inferior al total del consumo de plásticos. En el caso colombiano, el consumo de plásticos en el periodo 2007 a 2010 está alrededor de las 15.000 toneladas anuales.²⁷

4.2.6. Aprovechamiento y valorización de los residuos plásticos.

El aprovechamiento y valorización de los residuos plásticos, mediante diferentes procesos de recuperación o tratamiento, es consecuencia de los desarrollos tecnológicos de reciclaje que se adelantan desde hace varios años, principalmente en los países industrializados. Son múltiples las razones que han motivado estas nuevas tecnologías para el tratamiento de los residuos plásticos; entre ellas se destacan:

²⁶Hannequart, Jean-Pierre. GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS PARA EL RECICLAJE DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS UNA GUÍA POR Y PARA LAS AUTORIDADES LOCALES Y REGIONALES. Bruselas Bélgica: s.n., (2004).

²⁷ Acoplásticos. (2011b). Los plásticos, el medio ambiente y la sociedad. *Plásticos en Colombia 2011-2012 50 Años*. Bogotá: Acoplásticos.

a) Los grandes volúmenes de residuos plásticos domiciliarios generados.

b) La legislación ambiental, y en general, la política y la normativa de las autoridades de los países desarrollados para controlar los volúmenes de residuos sólidos (de empaques y envases plásticos), así como para el manejo y tratamiento de los desperdicios.

c) El avance en el conocimiento tecnológico de los diferentes procesos y materiales plásticos.

Las tecnologías disponibles para el tratamiento y recuperación de los residuos plásticos incluyen: el reciclaje mecánico, el reciclaje químico y la incineración con recuperación energética²⁸.

4.2.7. El manejo de los residuos plásticos en Colombia.

En Colombia, la tecnología más utilizada para el aprovechamiento de los residuos plásticos es el reciclaje mecánico. En una proporción no muy significativa, se emplean experiencias de reciclaje químico y se está evaluando la incineración con recuperación de energía para el manejo de algunos empaques y envases plásticos contaminados con agroquímicos²⁹.

²⁸ De Rosa, G.; Fernández, M.R.; Fernández, G.; Isleño, M. Rosso, A.; Ruiz de Arechavaleta, M. Desarrollo y valorización en procesos de reciclaje de plástico, 2004.

²⁹ACODAL, Política para la Gestión Integral de Residuos Sólidos, Bogotá, (2009).

➤ Sistema de codificación de los envases plásticos.

Este sistema, utilizado internacionalmente, ayuda a identificar en los envases, botellas, contenedores y recipientes en general, el tipo de material plástico usado para su fabricación. Facilitando notablemente la selección, recuperación, y reciclaje de las diferentes resinas y compuestos plásticos, permite disminuir la cantidad de materiales que se incineran o se desechan en rellenos sanitarios y genera empleo a través de la industria de recuperación³⁰.

El símbolo universal del reciclaje se compone de tres líneas en secuencia que forman un triángulo con un número en el centro y letras en la base, donde el número y las letras indican la resina usada. El sistema de símbolos utilizado lleva a una fácil identificación de las diferentes resinas plásticas presentes en los envases. A través de este sistema, la industria de plásticos demuestra su compromiso con la protección del medio ambiente y establece una acción concreta para educar a los usuarios y contribuir a la solución del manejo de residuos sólidos³¹.

4.2.8. Aportes del plástico para el desarrollo sostenible.

A) Aporte del plástico en lo social. En Colombia, según la Encuesta Anual Manufacturera del DANE, 461 establecimientos se dedican a la actividad transformadora de materias plásticas, que corresponden al 6,3% del total de la industria manufacturera, con 31.349 personas empleadas directamente. De esta manera el sector manufacturero aporta el 5,9% de los puestos de trabajo en la industria³².

³⁰ APME ASSOCIATION OF PLASTICS MANUFACTURERS IN EUROPE, *Plastics and the Environment Sheet*, Brussels, Belgium, (2008).

³¹ Acoplásticos. (2011a). *Directorio Colombiano de Reciclaje de Residuos Plásticos*. Bogotá: Acoplásticos.

³² INSTITUTO COLOMBIANO DEL PLÁSTICO, *Enciclopedia del Plástico*, Tomo 4, México D.F., (2010).

Por el desempeño y el progreso, cada día se usan más plásticos y de características tan variadas, que sus aplicaciones están en casi todos los campos, contribuyendo de una forma significativa al mejoramiento de la calidad de vida (ídem).

b) Aportes del plástico en lo ambiental. Los plásticos contribuyen a la protección ambiental durante todo su ciclo de vida, desde la obtención de los recursos naturales que les sirven de materia prima básica y fuente de energía, hasta el manejo de los residuos, porque permiten:

- Máxima eficiencia con un consumo mínimo de recursos naturales. Sólo el 5% del petróleo que se consume mundialmente es usado para producir plásticos. El 95% se reparte entre producción de energía, transporte, climatización, productos químicos y otros³³.
- Menor consumo de energía para su producción y transformación que otros materiales porque se procesan a temperaturas menores. En Colombia, la industria de productos plásticos consume el 5,7% de energía del total industrial (ídem).
- Transportar mayor cantidad de productos empacados en plástico, reduciendo el consumo de combustible y la contaminación.
- Reducir el volumen y el peso de los residuos plásticos en la fuente y en la etapa de producción, posibilita la selección entre distintos materiales plásticos y usando cantidades menores para obtener productos de mejor desempeño. Hoy día los plásticos son hasta un 80% más livianos que 20 años atrás. Esto es posible gracias a una combinación de factores: mejores materias primas, tecnología de transformación cada vez más desarrollada y diseño de envases

³³ Salamanca, Carlos Alberto Garay. Sector Plásticos Principales procesos básicos de transformación de la industria plástica y Manejo, aprovechamiento y disposición de residuos plásticos post-consumo GUIAS AMBIENTALES. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Vice ministerio de Ambiente, Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible, (2004). ISBN 958 - 97393 -4 - 2.

teniendo en cuenta el medio ambiente. Un estudio llevado a cabo en Alemania demostró que sin los plásticos el consumo en peso de materia prima para envases aumentaría dramáticamente un 291%, la energía utilizada en la fabricación de envases se incrementaría un 108% y el volumen de los residuos al momento de su disposición aumentaría un 158% (ibídem).

- Reutilizar o usar más de una vez bajo determinadas condiciones, para prolongar la vida útil de los productos.
- Evitar la contaminación cuando son depositados en un relleno sanitario; son inertes, no se descomponen, no emiten gases, ni producen líquidos contaminantes.
- Para finalizar, es conveniente notar que los kilos anuales de plásticos en los rellenos sanitarios en los últimos años no se han incrementado a pesar de haber aumentado el consumo, ya que los espesores de los envases han venido disminuyendo constantemente; esto es consecuencia de la actitud que la industria ha asumido invirtiendo en investigación y diseño (ibídem).

c) Aportes del plástico en lo económico. El aporte económico de los plásticos se refleja en la mayoría de los utensilios domésticos que mueven el mercado son elaborados de este material. Por lo tanto los índices de crecimiento de este sector en el mundo superan prácticamente a todos los demás sectores industriales y sólo se encuentra por debajo del consumo del hierro y el acero, aunque esto se debe a que se cuenta la masa consumida, y éstos últimos tienen una densidad mayor³⁴.

³⁴Santiago, Miguel de. Valorización de los residuos de plásticos. Buenos Aires: Academia de la Ingeniería de la Provincia de Buenos Aires, (2010).

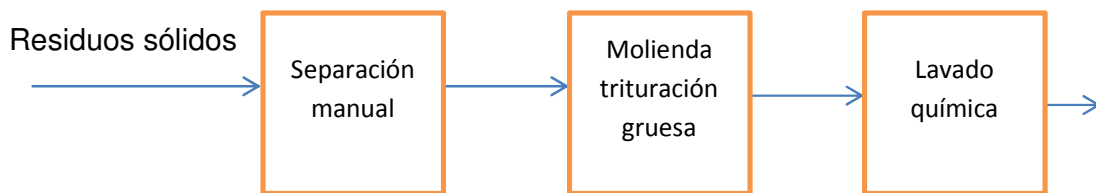
5. MÉTODO DE RECICLAJE MECANICO.

El reciclaje mecánico es el sistema de valorización más habitual para el plástico. Consiste en una serie de etapas o procesos a los que el material es sometido, para su limpieza y procesado, sin que exista un cambio químico en la estructura.

Cuando se trata de reciclado mecánico de Polipropileno es importante tener en cuenta cual es el origen del residuo (residuo del proceso industrial o residuo post-consumo), cuál va a ser la aplicación a la que va destinada (fibra, lámina, botella, bidón, fleje entre otros) y si es para contacto con alimento o no.

La calidad del producto resultante, depende en gran medida de la separación previa de los distintos materiales plásticos, de la ausencia de impurezas y en resumen de la limpieza de los mismos, por estos motivos es muy importante seleccionar el proceso y los subprocesos adecuados (trititación, lavado en frío, lavado en caliente, secado...) en cada caso. Cabe la posibilidad de distinguir dos tipos de proceso: reciclado mecánico convencional y procesos de súper-limpieza; siendo el segundo complementario al primero.

Figura 3. Método de reciclaje mecánico.



Fuente. AIMPLAS Idoneidad del Polipropileno reciclado en contacto con aceites, y situación de su uso industrial en Europa y otros países.2008.

5.1. PROCESO DE SEPARACION MANUAL.

La separación tiene por finalidad liberar al plástico de interés de diferentes tipos de materiales especialmente de los otros tipos de polímeros que estén acompañando al material y también de metales, algunas veces vidrio o papel.

La fabricación de manufacturado con polímeros reciclados (estructura base de los plásticos) no requiere adiciones significativas en la fabricación, mientras elimina todo el ciclo de extracción, refinado y producción de los mismos polímeros que es la parte ecológicamente más “gravosa” para el medio ambiente sobre todo desde el punto de vista del consumo de energía (APREPET, 2010).

El reciclado plástico es la mejor alternativa para este propósito si se pone en consideración que la mayoría de los plásticos vienen del petróleo, un recurso claramente no renovable el cual es cada día más costoso, y por otro lado, el reciclado químico es bastante caro y no siempre estará al alcance de la economía de varios países.

No obstante, el problema básico es que los plásticos son muy distintos entre sí y mezclarlos da lugar a una debilitación estructural, debido principalmente a la diferencia entre estructuras y familias de polímeros existentes hasta ahora, y al problema de usar o no agentes compatibilizantes los cuales ayudan a mejorar la miscibilidad de las diferentes clases de polímeros, pero que por otro lado, contaminan más el reciclado, por lo tanto se requiere perfeccionar la selección preliminar y la fase que sigue a la recogida debe proporcionar material lo menos mezclado posible (Ibidem).

La importancia de la separación radica en que si existiesen otros materiales presentes, estos podrían perjudicar el proceso de reciclaje o directamente empeorar la calidad del producto final. Es decir, por ejemplo, si existiesen partículas metálicas u otros materiales afectan directamente la calidad del producto, o si es que

existiesen familias de polímeros inmiscibles juntas, las unas crearan fases dentro de las otras o finalmente durante el procesado puede existir una degradación o quemado de alguna de las especies (ARPET, 2010).³⁵

5.2. PROCESOS DE TRITURACIÓN.

Este proceso está constituido por una máquina trituradora con características de apuntan a la disposición del material de la mejor manera para la etapa final de reciclaje.

La acción de corte de la trituradora se produce mediante una serie de cuchillas equidistantes. Los elementos principales del sistema son unos discos de cantos agudos provistos de garfios, cuya función consiste en agarrar el producto y llevarlo hasta las cuchillas montadas sobre ejes motrices contra giratorios, que realizan un corte neto del material. Luego el material pasa a un tamiz, donde solo continúan a la unidad de recolección las partículas suficientemente pequeñas, las grandes son reinsertadas al proceso de molienda hasta obtener la dimensión exigida.

Las máquinas de molienda son seleccionadas dentro de dos grupos que dependen del órgano picador y la posición de sus cuchillas como lo son las maquinas picadoras radicales y axiales. De las anteriores se seleccionó una de ellas para realizar las labores de molienda.³⁶

³⁵ http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mepi/argueta_a_a/capitulo5.pdf.

³⁶ Askeland, Donald R. Ciencia e ingeniería de los materiales 4a. ed. México: Thomson, 2004.

5.2.1. MOLINO TRITURADOR DE CUCHILLAS RADICALES.

Son molinos estacionarios utilizados en la industria del plástico. Su mayor rendimiento se encuentra cuando trabaja a 1200 rpm, el ingreso de la materia prima es de forma axial y están constituidas de los siguientes mecanismos: eje de transmisión, volantes inerciales, poleas, cuchillas, eje de cuchillas, tolva, bancada y chumaceras. El principio de funcionamiento es el mismo de una sierra, lo que hace más eficiente y de mayor capacidad al momento de efectuar el corte sobre el plástico.

5.2.2. MOLINO BICÓNICO DE TRITURACIÓN.

Los molinos bicónicos, también conocidos como molinos a bolas, permiten la molienda, bien sea por vía seca o húmeda, de materias duras: polipropileno, pelet entre otros plásticos duros. Son especialmente indicados para la molienda de materias extremadamente duros.

Son molinos equipados con bolas de acero o guijarros de sílex que tienen cuchillas axiales alrededor de las bolas y se mueven libremente dentro de un tambor bicónico dotado de un movimiento giratorio. La reducción de tamaño se consigue por impacto de la caída de las bolas o guijarros desde cerca de la parte superior de la carcasa. El material molido que se puede obtener es de 0,5.³⁷

5.2.3. MOLINO VERTICAL DE RODILLOS.

Estos molinos constan de unos rodillos con cuchillas en su superficie dispuestos horizontalmente sobre una pista situada en la parte inferior del molino y contra la

³⁷ Crawford R. J., *Plastics Engineering*, 3ª. Edición, Editorial Butterworth-Heinemann, ISBN: 07506 3764 1.

cual producen el corte del material, por el propio giro de los rodillos, que va siendo suministrado por un alimentador que se encuentra por encima de ellos.

También aptos tanto para molienda por vía seca como por vía húmeda, estos molinos están ideados para la trituración de plástico pero también se pueden utilizar para la molienda de otros tipos de materiales. Las producciones que se pueden obtener con ellos son elevadas, hasta las 4 Tn/h; y las finuras son también más que aceptables, con valores de residuo que pueden llegar a ser del orden de tan sólo un 1% del material molido.³⁸

5.3. PROCESOS DE LAVADO.

5.3.1. Proceso de lavado por agitación.

El Proceso de lavado por agitación garantiza una separación continua a una concentración constante, facilita el manejo de los polímeros secos a partir de una sustancia adherida a su superficie, en este caso aceites y genera una mayor eficiencia. La dosificación del polímero es el 50% del caudal de dilución gracias a la instrumentación manejada por la lógica de control. Estos sistemas automatizados tienen la opción de ser controlados manualmente en caso de ser requerido.

³⁸ Groover P. M., Fundamentos de Manufactura Moderna: materiales, procesos y sistemas, 1ª Edición, ISBN: 968-880-846-6.

Figura 4. Sistema de lavado por agitación.



Fuente: www.directindustry.es

Tabla 3. Ventajas y desventajas del proceso de lavado por agitación.

Ventajas	Desventajas
La máquina no tiene que ser desarmada en su totalidad para realizar su mantenimiento.	Mayor tiempo para el lavado de las probetas.
La entrada del material al proceso de lavado es fácil de ejecutar.	La cantidad de material lavado es menor frente a los otros dos procesos.
Se puede automatizar para trabajar en producciones en línea.	
La salida del material lavado es automática.	
Su fabricación es de bajo costo.	
Fácil manipulación para ejecutar su funcionamiento.	
Bajos costos en consumo energético.	

Fuente. Los autores.

5.3.2. Proceso de lavado por ciclón.

Las aplicaciones de los sistemas de lavado por ciclones incluyen cualquier ámbito de separación para productos de alto valor, condiciones de trabajo críticas, y donde el uso de filtros de mangas debe ser evitado por razones económicas o técnicas.

Estos sistemas han demostrado su efectividad en los siguientes campos: secadores farmacéuticos, química fina, procesamiento de minerales, nano partículas, procesos de calcinación, recuperación catalítica y procesos de separación a alta temperatura.

Para la recuperación de productos sensibles, los ciclones son equipos insustituibles porque pueden capturar el aceite directamente, evitando la captación de polvo en los filtros y evitando la contaminación provocada por las bolsas de los filtros de mangas, la contaminación cruzada de productos y la degradación del producto con la temperatura. Los ciclones y sistemas de separación permiten prescindir de filtros de mangas en los procesos más exigentes para evitar emisiones a la atmósfera y al mismo tiempo evitan las pérdidas de producto³⁹.

³⁹[www.codols.com/tecnologias/ciclones-y-sistemas-de-separacion de aceites y otros producto](http://www.codols.com/tecnologias/ciclones-y-sistemas-de-separacion-de-aceites-y-otros-producto).(23/04/2013;12:01pm).

Figura 5. Sistema de lavado por ciclón.



Fuente: www.lavado por ciclón y source.com

Tabla 4. Ventajas y desventajas del proceso de lavado por ciclón.

Ventajas	Desventajas
La cantidad de material que puede ser lavado es mayor frente a los otros dos procesos en mención.	No se puede automatizar para trabajar en producciones en línea.
El tiempo de lavado es menor a los 5 minutos.	La salida del material después de ser lavado es manual.
Bajos costos en consumo energético.	Necesita de un elemento externo para realizar su proceso de lavado.
La máquina no tiene que ser desarmada en su totalidad para realizar su mantenimiento.	Su fabricación es de mayor costo frente a los otros dos procesos mencionados.
Fácil de manipular.	

Fuente. Los autores

5.3.3. Proceso de lavado por centrifugación.

Durante los últimos 10 años el proceso de elaboración de aceites ha sufrido importantes cambios en los equipos utilizados para la separación del aceite del resto de componentes. El más reciente ha sido la introducción del decanter o centrífuga horizontal de dos fases para la separación del aceite de la mezcla constituida por una fracción y agua. Por tanto, el sistema de elaboración por centrifugación en dos fases genera tres residuos diferentes: 1) aguas de lavado; 2) aguas de lavado de aceite obtenidas en la centrífuga vertical y 3) residuos sólidos con un elevado contenido en humedad procedente del decanter. Entre otras ventajas, el proceso de dos fases también reduce considerablemente el consumo de agua de proceso. Esta tecnología se ha introducido en el 30 % de las almazaras españolas. Por tanto, los nuevos efluentes líquidos resultantes del proceso en dos fases están constituidos por la mezcla de los efluentes (1) y (2), generándose cantidades del orden de 0.25 l/kg de aceites procesados. De manera adicional, se genera un nuevo residuo sólido (orujo húmedo) con una elevada concentración de materia orgánica, lo que le confiere un alto poder contaminante, dificultando su manipulación y aprovechamiento mediante los métodos tradicionales aplicados al orujo convencional de tres fases⁴⁰.

⁴⁰Francisco Raposo, Bárbara Rincón, Rafael Borja. Grasas y aceites, ISSN 0017-3495, Vol. 57, Nº 1, 2006 (Ejemplar dedicado a: Tendencias en el procesado de aceitunas de mesa y aceite de oliva) , págs.38-52

Figura 6. Sistema de lavado por centrifugación.



Fuente: www.perureq.com

Tabla 5. Ventajas y desventajas del proceso de lavado por centrifugación.

Ventajas	Desventajas
La cantidad de material que puede ser lavado es mayor frente a los otros dos procesos presentes.	No se puede automatizar para trabajar en producciones en línea
El tiempo de lavado es de 5 minutos.	La salida del material después de ser lavado se da de forma manual.
Su fabricación es de bajo costo	
La máquina no tiene que ser desarmada en su totalidad para realizar su mantenimiento	
Bajos costos en consumo energético	
Fácil manipulación para ejecutar su funcionamiento	
La entrada del material al proceso de lavado es de fácil acceso.	

Fuente. Los autores.

5.4 PROCESOS DE SECADO.

5.4.1. Secador por combustible.

El secador de combustible se compone de cuatro elementos principales: sistema de calentamiento del aire, ventilador, cámara de distribución del aire y cámara de secado.

En nuestro caso el sistema de calentamiento es producto de la combustión que aumenta la temperatura del aire que fluye por el intercambiador hasta los límites recomendados para el producto a secar. El ventilador, generalmente, es del tipo centrífugo, por la presión estática que se necesita en este sistema. La cámara de distribución de aire sirve para transformar la presión dinámica del aire en presión estática, uniformando la distribución del aire dentro del secador. La cámara de secado es un recipiente con fondo de plancha de metal perforado, capaz de soportar el peso del producto húmedo. El producto permanece estático en la cámara de secado, mientras que el aire calentado, impulsado mecánicamente por el ventilador, pasa a través de la capa de producto y reduce su contenido de humedad⁴¹.

⁴¹ Santana, G. G. (2012). Evaluación del potencial de las energías pasivas para el secado.

Figura 7. Sistema de secado por combustible.



Fuente. www.Novaenergia.bligoo.com

5.4.2. Secador rotatorio.

Este es el tipo de secador por excelencia, consiste básicamente en un tambor rotatorio en el que se introduce tanto el material a secar como el fluido térmico de secado a una temperatura de (300 a 800°C). El producto se mezcla constantemente, el espesor de la película se regula mediante un cuchillo repartidor, al ir girando el tambor, el líquido o solución se calienta inicialmente hasta su punto de ebullición, este se evapora en el aire mediante el calor transferido a través del metal en el tambor. El material seco se desprende continuamente de su superficie mediante un cuchillo, finalmente, el sólido seco se calienta, a una temperatura próxima a la temperatura de la superficie del tambor⁴².

⁴² Oliveros C.; Ramírez, C. Sanz, J.; Peñuela A. (2010). Secador rotativo de Túnel.

Figura 8. Sistema de secado rotatorio.



Fuente. www.novoa.ltd.com

5.4.3. Secador solar

Está constituido por una estructura de perfiles metálicos en forma de paralelos, posee doble cubierta de vidrio transparente en la parte superior y laterales flanco este y oeste los vidrios se fijan con juntas y separadores que garantizan la impermeabilización.

El secador se ubica con su dimensión mayor en la dirección norte sur. Para el acceso a la cámara de secado el secador tiene en su interior un túnel metálico negro ennegrecido con pintura negra mate, el cual capta la radiación solar incidente y la transfiere a la cámara interior de secado. Dentro del equipo hay unas zarandas de malla metálica donde se coloca el material a secar.

Dentro del secador se efectúa el movimiento del aire forzado por tres ventiladores de tiro axial, situados entre el espacio comprendido de la cubierta superior de vidrio y el techo de túnel metálico. Estos ventiladores garantizan el flujo de aire en una dirección transversal, necesaria para lograr el secado uniforme del plástico. El

equipo dispone de pequeñas ventanas para la salida del aire húmedo y reposición del aire fresco del medio en los laterales norte y sur⁴³.

Figura 9. Sistema de secado solar.



Fuente. www.cubasolar.cu

5.4.4. Secador por resistencias eléctricas

Este tipo de secado utiliza fuentes de energía eléctrica. De igual manera emplea una serie de dispositivos para la ejecución del secado, un ventilador de tiro forzado que impulsa al aire caliente a través del plástico. El plástico debe estar en una estructura con uno o más compartimentos.

Para que el aire cumpla con la función de secar el plástico, es necesario aumentar su temperatura por medio de resistencias eléctricas.

⁴³ TAQUIRI, O. M. (2011). Secadores solares.

El aire eleva la temperatura del agua presente en el interior del plástico, convirtiéndolo en vapor de agua; posterior a ello este vapor es expulsado a la atmósfera. A diferencia con el secado tradicional, el secado eléctrico requiere de menos tiempo, pero con un costo superior ya que deben ser empleados resistencias para tal acción⁴⁴.

Figura 10. Sistema de secado por resistencias eléctricas.



Fuente. www.directindustry.es

⁴⁴ Restrepo A. & Burbano J., 2005, Scientia et Technica XI, DISPONIBILIDAD TÉRMICA Y SU APLICACIÓN EN EL SECADO

6. SOLVENTES UTILIZADOS EN EL PROCESO DE LAVADO

Este proceso se compone de elementos mecánicos predispuestos para lograr un lavado impecable del plástico.

Se tiene en cuenta que el volumen del solvente empleado dentro del recipiente de almacenamiento es directamente proporcional al peso de cada probeta depositada dentro del mismo. La máquina de lavado se compone de un motor contra giratorio que mueve una malla metálica encargada de lavar todo el material depositado en ella. Debido a su sistema de giro constante, debe estar apoyada en cuatro soportes resistentes empotrados en la superficie para brindarle estabilidad. La entrada de material a la maquina está dada por medio de una banda trasportadora que lleva el material triturado hasta la máquina de lavado y la salida del material se realiza de forma manual a través de una base neumática ubicada en la parte superior cuando el material se encuentra en proceso de lavado y en la parte inferior cuando el material está listo para pasar al proceso de secado.

6.1. PRIMERA ALTERNATIVA THINNER

El thinner, también conocido como diluyente o adelgazador de pinturas, es una mezcla de solventes de naturaleza orgánica derivados del petróleo que ha sido diseñado para disolver, diluir o adelgazar sustancias insolubles en agua, como la pintura, los aceites y las grasas. Está compuesto por un solvente activo, un cosolvente y un diluyente, sustancias que efectúan una función en particular. El solvente activo es el que tendrá un efecto directo sobre lo que se está disolviendo, el cosolvente potenciará el efecto del solvente activo y el diluyente dará volumen al compuesto. El thinner tiene como solvente principal al tolueno, como cosolvente al

benceno y como diluyente a una serie de solventes, sustancias todas ellas tóxicas para el ser humano⁴⁵.

6.1.1. Riesgos y precauciones.

Líquido combustible. Puede acumular cargas estáticas. El vapor es más pesado que el aire y puede dispersarse largas distancias y acumularse en zonas bajas. El vapor puede causar dolor de cabeza, náuseas, vértigo, somnolencia, inconsciencia y muerte. Irrita la piel. Manténgalo en sitio ventilado, lejos de fuentes de ignición, no fume, evite la acumulación de cargas electrostáticas. No respire los vapores.

6.1.2. Propiedades fisicoquímicas del thinner.

Estas propiedades deben mantenerse exactamente como están descritas en la parte inferior de este escrito. El no cumplimiento altera el proceso.

Rango de ebullición: Inicial: 98°C; final: 105 °C

Densidad de vapor: 4.8 (aire=1).

Gravedad específica: 0,79 a 15, 5°C (agua=1).

Temperatura de auto ignición: 229°C.

Velocidad de evaporación: 0,1 (Acetato de butilo=1)

Viscosidad: 1,14 cST a 25 °C

Presión de vapor: < 0,3 kPa a 20 °C

Límites de explosividad: Inferior: 1 % Superior: 13,3 %

Temperatura de inflamación: Mínimo 43°C

Umbral de olor: < 1ppm (5 mg/m³).

Solubilidad: Insoluble en agua

⁴⁵Elaborado por la Gerencia de Seguridad Industrial y Responsabilidad Integral / Monómeros Colombo Venezolanos S.A. (2011).

6.2. SEGUNDA ALTERNATIVA ACIDO NITRICO.

El ácido nítrico es un solvente comercial que tiene composición química dentro porcentajes como se describe a continuación.

6.2.1. Composición del producto.

Componente	Contenido	Peligro
Ácido Nítrico	50 – 70%	Sí
Agua	30 – 50%	No

6.2.2. Identificación de los peligros.

La sustancia se descompone por sobrecalentamiento y bajo la influencia de la luz, formando humos tóxicos (DIOXIDO DE NITROGENO). La sustancia es un ácido fuerte y reacciona violentamente con materiales combustibles y reductores. La sustancia es un ácido fuerte y reacciona con bases y es un producto corrosivo. Reacciona fuertemente con metales y compuestos orgánicos. La sustancia es nociva a los ojos, la piel y el sistema respiratorio. La inhalación del vapor o humos puede causar dificultad respiratoria⁴⁶.

6.2.3. Potenciales efectos sobre la salud.

Causa dolor y quemaduras severas. La solución concentrada produce úlceras profundas, manchas amarillas o marrones. OJOS enrojecimiento, dolor, visión borrosa. Los vapores causan irritación y daños a los ojos. La solución concentrada produce quemaduras y daño permanente en los ojos INGESTION ardor de garganta, dolor de estómago. Causa dolor y quemaduras en la boca, garganta,

⁴⁶Elaborado por la gerencia de seguridad de soluciones químicas para el campo de la industria S. A. de C. V. (2011).

esófago y vías respiratorias. Los vapores causan dificultad al respirar, conduce a neumonía, puede ser fatal. Produce tos, ahogo, irritación de la garganta, nariz, y vías respiratorias.

6.2.4. Manejo y almacenamiento.

Área fresca, ventilada, seca con pisos resistentes y buen drenaje. Proteger del daño físico. Mantener fuera del contacto directo de rayos de luz, calor, agua y materiales incompatibles. No lavar sus contenedores por fuera, ni usar para otros propósitos. Cuando se esté diluyendo, el ácido debe ser añadido lentamente al agua y en cantidades pequeñas, nunca use agua caliente ni añada agua al ácido. Agua añadida al ácido puede causar un descontrol de ebullición y salpicar. Contenedores de este material puede ser peligrosos cuando están vacíos, puesto que, retienen residuos de productos peligrosos (vapores, líquidos). Separar de sustancias combustibles y agentes reductores, separar de bases fuertes y en lugar oscuro, ventilación a lo largo del piso.

6.2.5. Propiedades físicas y químicas.

PRESION VAPOR (mbar A 20°C): 9.4

DENSIDAD DEL VAPOR (AIRE = 1 2.2)

PUNTO DE EBULLICION (°C): 122.0

DENSIDAD RELATIVA (AGUA = 1): 1.42

7. RESULTADOS DEL PROCESO DEL LAVADO QUIMICO.

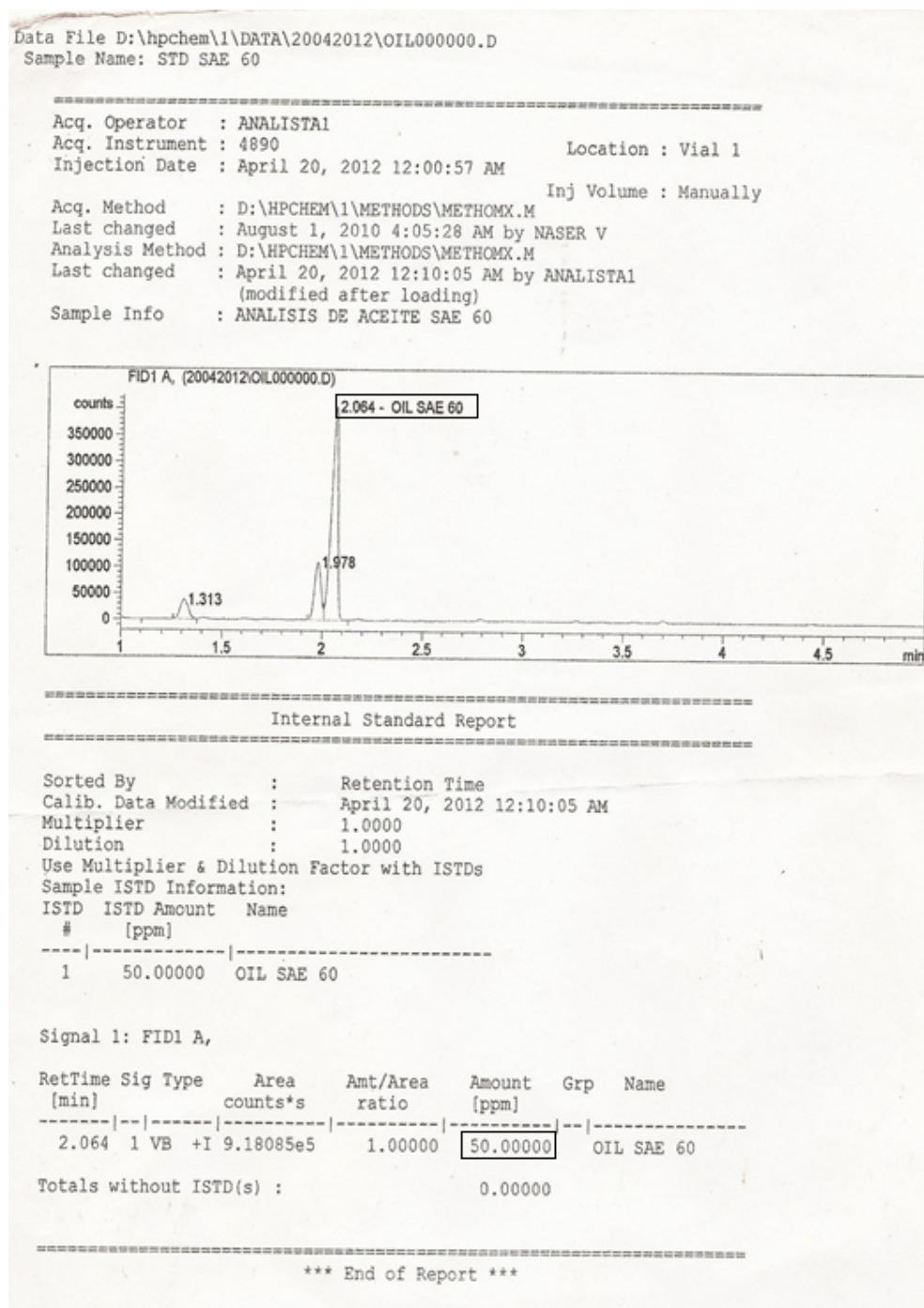
7.1. NORMAS FDA (Foot and drug administration - *administración de alimentos y medicamentos*) EMPLEADAS EN EL PROCESO ESPECTROSCÓPICO.

- G93, Métodos y niveles de limpieza en residuos sólidos.
- G127, Guía para la selección de los agentes de limpieza para Sistemas de lavado químico.
- G131, Práctica para la limpieza de polipropileno y componentes por técnicas ultrasónicas.

La pureza de un material después de ser lavado se describe por medio de las partículas por millón presentes del soluto que fue retirado sobre el cuerpo del objeto purificado. Por tal motivo para este proceso de lavado químico se requiere realizar una espectroscopia después de haber sido efectuado el proceso ya que por medio de este estudio se puede determinar cuál es el grado de pureza que tiene el recipiente al ser despojado del residuo contaminante que estaba presente en su superficie.

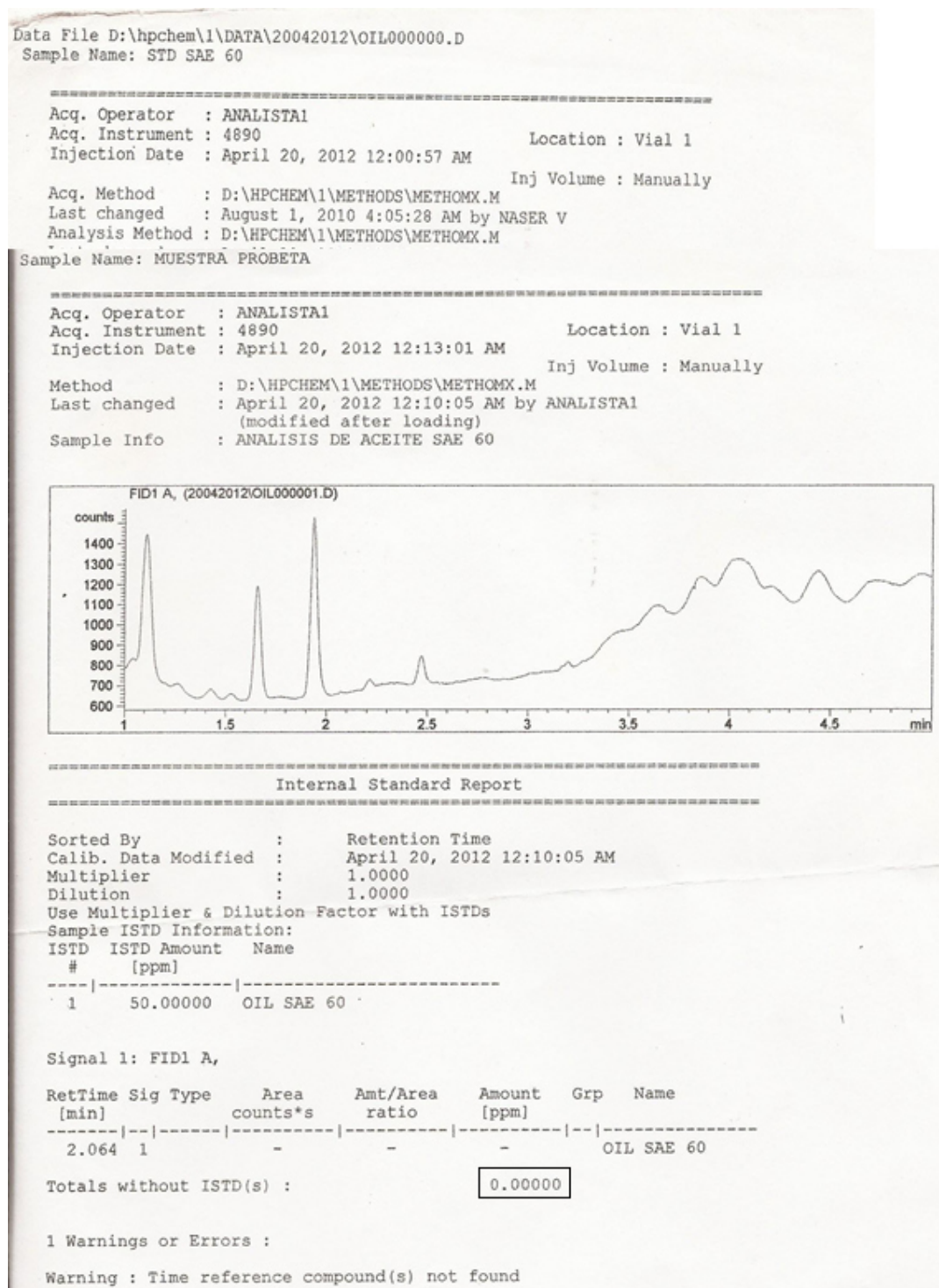
Para este proyecto, basado en el lavado de recipientes de polipropileno que tienen adherido a sus paredes aceite de motor, la prueba espectroscópica es importante por lo evidenciado en las figuras 7,8,9 y 10. Estas graficas describen el número más alto de pureza concentrado en las paredes del recipiente antes de ser lavados y en la parte inferior se encuentra el número de partículas por millón ratiadas en toda el área analizada. Se realiza el mismo proceso de cromatografía para determinar cuántas partículas por millon de impurezas hay sobre el área lavada del recipiente como se observa en la parte inferior (Amount [ppm]) de las figuras 8 y 10. Este proceso se realizó con aceites SAE 60 Y SAE 30, utilizando como solvente el thinner que proporciona una limpieza del 99.9 %.

Figura 11. Comparación de partículas por millón del aceite SAE 60.



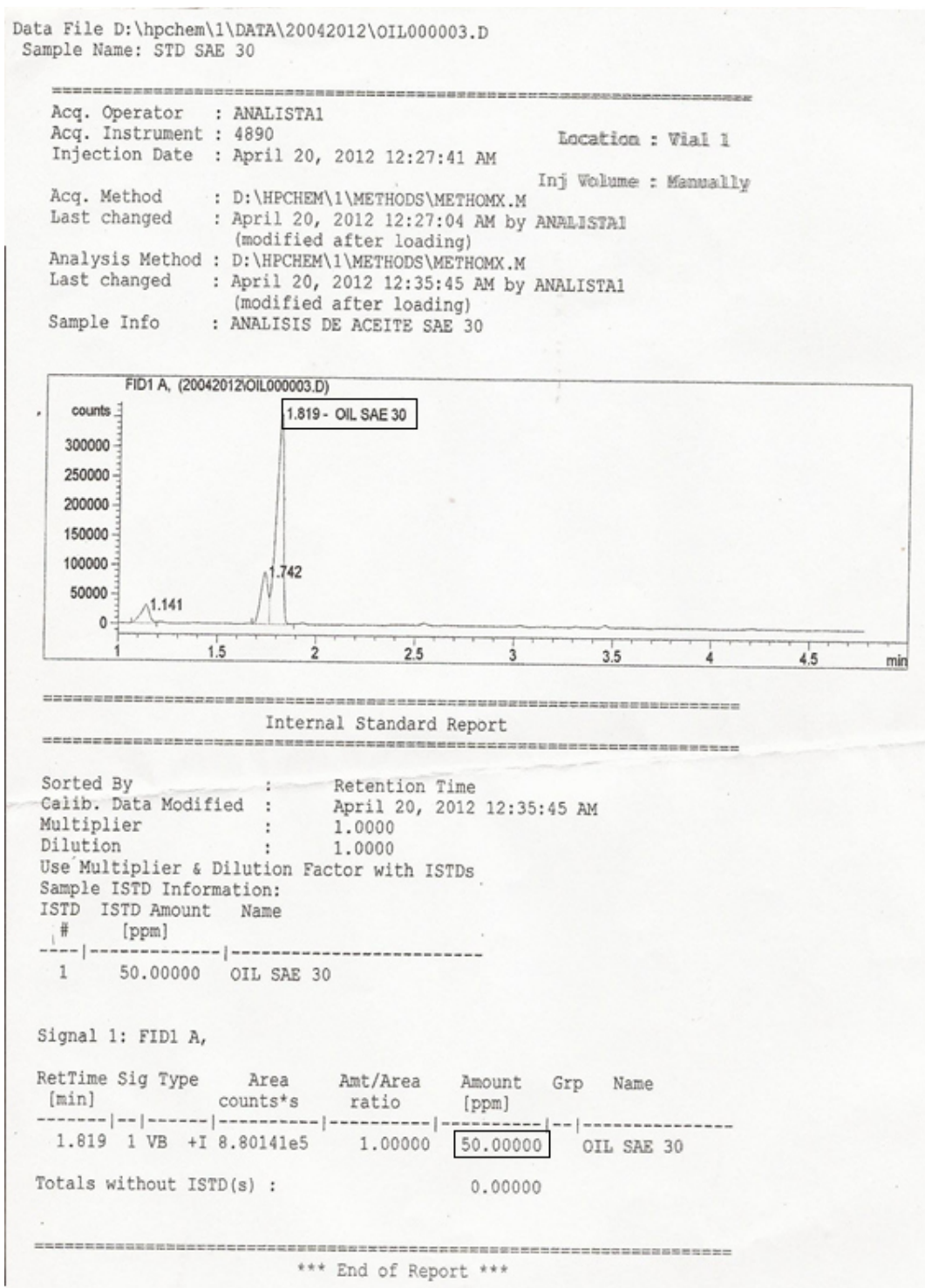
Fuente. RESULTADOS EN PROFICOL. HP HEWLETT PACKARD 48900.

Figura 12. Partículas por millón de aceite adheridas a la probeta lavada.



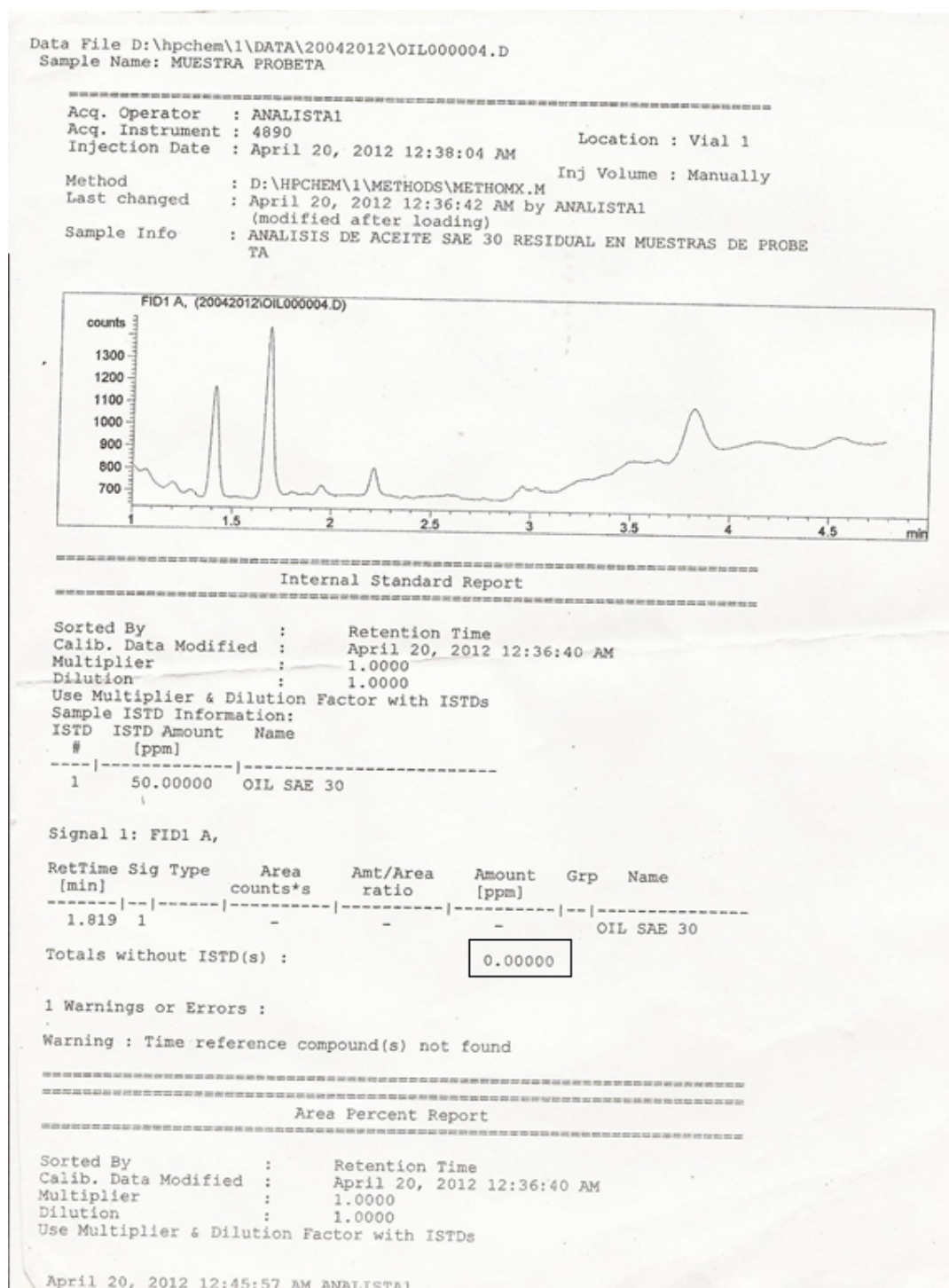
Fuente. RESULTADOS EN PROFICOL. HP HEWLETT PACKARD 48900.

Figura 13. Comparación de partículas por millón del aceite SAE 30.



Fuente. RESULTADOS EN PROFICOL. HP HEWLETT PACKARD 48900.

Figura 14. Partículas por millón de aceite adheridas a la probeta lavada.

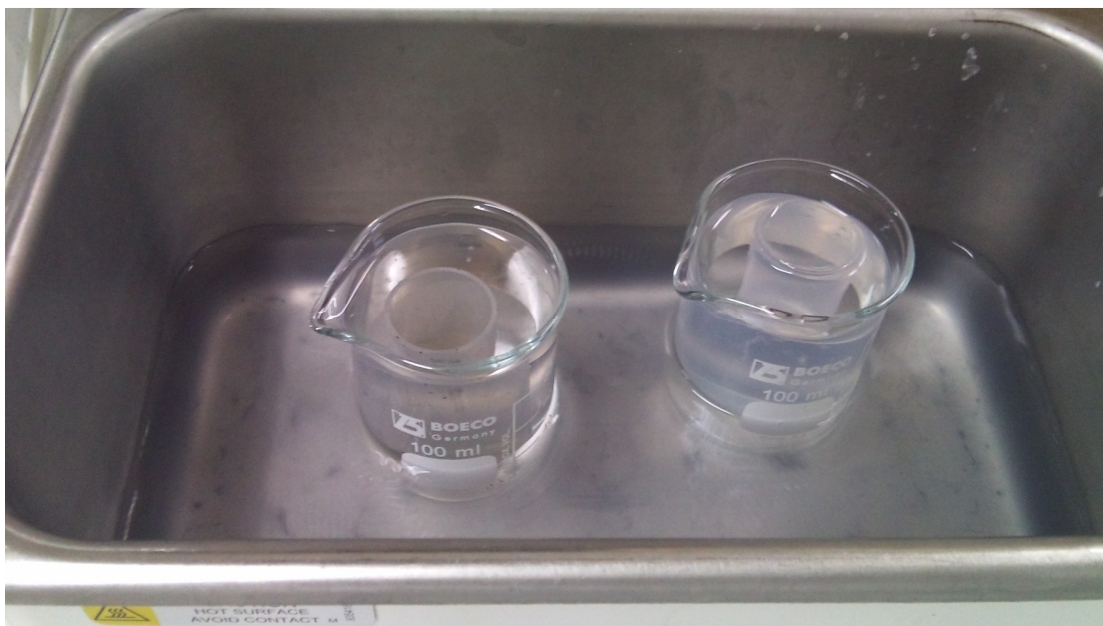


Fuente. RESULTADOS EN PROFICOL. HP HEWLETT PACKARD 48900.

7.2. Probeta lavada con thinner

A continuación se presentan pruebas experimentales de lavado químico utilizando un equipo de ultrasonido con diferentes solventes como thinner y ácido nítrico.

Figura 15. Probetas en proceso de lavado.



Fuente. Los autores.

Figura 16. Probetas lavadas.



Fuente. Los autores.

8. MARCO LEGAL

Entidades nacionales y distritales han legislado respecto a temas relacionados con los residuos: La presidencia, el Congreso, el Ministerio de Salud, de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) y de Desarrollo económico, la CRA. En el Distrito, la Alcaldía por medio de la sociedad de acueducto, alcantarillado y aseo, que hace parte de la Secretaría del Hábitat, se encarga del tema. En temas específicos la Secretaría de Desarrollo Económico y la Secretaría de ambiente se involucran.

La coordinación evaluación de programas de investigación social (CEPIS) está a cargo de diseñar las estrategias, planes, programas y proyectos para el manejo integral de los residuos sólidos y dirigir y coordinar la prestación del servicio público de aseo. Formular, ejecutar y evaluar las estrategias dirigidas a lograr la integración y articulación regional del Distrito Capital para garantizar el servicio de aseo. La OPS regula a los consorcios y es la encargada de preparar las licitaciones relacionadas con el tema y entregar los contratos. El Programa Distrital de Bogotá de Reciclaje (PDBR). Tiene como objetivos lograr que en la ciudad se separe, clasifique y comercialice los residuos aprovechables que se generen, mediante la inclusión social de la población recicladora vulnerable, con el fin de reducir los impactos ambientales de los residuos y aumentar la vida útil del relleno. Los componentes del PDR son la educación ciudadana en separación en la fuente, las rutas de recolección selectiva (RRS). La sociedad de acueducto, alcantarillado y aseo debería poder articular su relación entre recicladores, consorcios y consumidores. Pero esta articulación no la ha logrado, parece que avanza por caminos diferentes. Por un lado, responde a las sentencias de corte sobre la inclusión de la población recicladora dentro del servicio de aseo, mediante capacitación y certificación de competencias de algunos recicladores; ofrece unos pocos empleos formales, entregándole su operación a organizaciones de recicladores; y en los pliegos de la última licitación se plantea que los consorcios otorguen un porcentaje de las

ganancias. Pero no han logrado tener una política que los haga parte del servicio de aseo y garantice la continuidad de su actividad.⁴⁷

8.1 NORMAS Y LEYES VIGENTES.

- Resolución 1511 de 2010 *Por la cual se establecen los sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de residuos de bombillas y se adoptan otras disposiciones.* Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Resolución 1512 de 2010 *Por la cual se establecen los Sistemas de Recolección selectiva y Gestión Ambiental de Residuos de Computadores y/o Periféricos y se adoptan otras disposiciones.* Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Resolución 1297 de 2010. *Por la cual se establecen los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Residuos de Pilas y/o Acumuladores y se adoptan otras disposiciones.* Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Decreto 838 de 2005 (Marzo 23) *Por el cual se modifica el decreto 1713 de 2002 sobre la disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones.* Presidencia de la República. Diario Oficial 45.862 de marzo 28 de 2005.
- Resolución 1045 de 2003 (Septiembre 26) *Por la cual se adopta la metodología para la elaboración de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos, PGIRS, y se toman otras determinaciones.* Ministerio de

⁴⁷.PMRIS. Estudio de Plan Maestro para el Manejo Integral de Residuos Sólidos, Cydep 2000.

Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. Diario Oficial 45329 de octubre 3 de 2003.

- Decreto 1505 de 2003 (Junio 4) Se modifica parcialmente el Decreto 1713 de 2002, en relación con los planes de gestión integral de residuos sólidos Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial.

9. METODOLOGÍA

El tipo de investigación que se lidera es de tipo cuantitativo que busca, en primer término, describir sus datos y posteriormente efectuar análisis estadísticos para relacionar sus variables.

El primer paso a seguir cuando se percibió el problema que se estaba presentando en la empresa fue recuperar los recipientes en su totalidad sin afectar su estructura física pero como se mencionó anterior mente no fue posible por diversos factores pero se logró determinar que el solvente empleado en todas las pueblas de lavado era el ideal para el proceso de reciclaje que se determinó en base a las tomas de las muestras mencionadas a continuación.

Para la toma de muestras se utiliza un kit de instrumentos tales como; la etiqueta (para identificar la muestra), envase (para contener el fluido), probeta flexible (para la extracción de la muestra). Todos con excepción de la etiqueta son de plástico PP #5, Polipropileno RANDOM.

El instrumento es una tabla de comparación entre el set point, que son los parámetros de entrada (el tipo de solvente, el tipo de aceite, la temperatura y la densidad del aceite) y el punto consigna que son los datos arrojados por el simulador en partículas por millón.

Los datos se recolectaron por medio de un simulador el cual tiene como funcionamiento comparar las concentraciones en la solubilidad del soluto solvente y generar una gráfica que muestra las partículas por millón que hay en esa concentración, la gráfica que genera es la información de salida. La herramienta utilizada para analizar los datos es la máquina (HP HEWLETT PACKARD 48900) que como dato de salida genera dos gráficas. A través de ellas se determina cuántas partículas de aceite están adheridas a las probetas antes y después de ser lavadas

9.1. DETERMINACIÓN DEL SISTEMA DE LAVADO.

En la segunda etapa del proyecto, se tiene como objetivo determinar el sistema de lavado y el modelo de la maquina a implementar teniendo presente, para la selección de dicho sistema, las condiciones ambientales del recinto y los factores determinantes dentro del proceso de lavado son la densidad del aceite y su viscosidad. Se toma como referencia 3 procesos diferentes de lavado analizados por sus ventajas- desventajas, costos- beneficios y por la capacidad que tenían de ser modificados en un futuro, dependiendo de la producción de plásticos lavados por día que se fuese a manejar. Estos tres procesos son:

- Proceso de lavado por agitación
- Proceso de lavado por ciclón con ayudado de un elemento externo
- Proceso de lavado por centrifugación

Las tecnologías y los procesos de lavado modernos han aumentado la productividad e higiene del sector industrial y a su vez garantizan un nivel uniforme y un desarrollo sostenible de las empresas.

La tecnología de limpieza simplificada permite que las cintas transportadoras sean sometidas al vapor seco en un solo proceso sin necesidad de parar con el propósito de cambiar los equipos o las herramientas, lo cual reduce el riesgo de contaminación al final de la línea de producción porque las superficies reciben continuamente una limpieza profunda.

Hoy en día el lavado puede hacerse en todos los intervalos del día, por lo cual las plantas de producción no tienen que hacer pausas de funcionamiento para limpiar ni los espacios ni los equipos.

Los sistemas automáticos permiten el funcionamiento de las tareas de limpieza mientras la producción está en marcha, generando una menor interferencia con las

metas de productividad, reduciendo los tiempos de inactividad y disminuyendo el riesgo de contaminación.

Los procesos, la tecnología y las máquinas de lavado modernas permiten recortar los costos porque no solamente eliminan el uso de mano de obra en algunos procesos, sino que también reducen el consumo de agua y energía⁴⁸.

Mediante estos lavados se eliminan contaminantes orgánicos (residuos de cola), tierra, aceite y arena presentes en la superficie de las paredes plásticas de las probetas de POLIPROPILENO RANDOM. Y todo el conjunto de lavados separan otras impurezas como aceites y residuos por diferencia de densidad y flotación⁴⁹.

Para poder ponderar los beneficios de este proyecto se consideran posibles clientes que comprarían polipropileno transparente ya lavado y triturado sin importar su geometría.

Beiplas S. A. -MEDELLIN ANTIOQUIA – precio de compra 1800 Kg

COMPRO EXCENDES INDUSTRIALES – CALI -precio de compra 2200 Kg

Universal Pack- Medellín Antioquia – precio de compra 1500 kg

⁴⁸canainca.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=212%3A-metodos-de-limpieza-industrial-evolucionan-y-reducen-costes-un-70&catid=1%3Arecientes&lang=es. [18 de MARZO de 2013]

⁴⁹AIMPLAS Idoneidad del PET reciclado en contacto con alimentos, y situación de su uso en Europa y otros países.2008.

9.1.1. Proceso de lavado por agitación.

Tabla 6. Costos de fabricación.

cant	Especificaciones	Costo unitario	Valor total
33 Kg	Lamina de Acero 33Kg	1.500	49.500
1 Gal	Anti Corrosivo 513	65.000	65.000
2 Uni	Válvulas de Bola de Acero 1/2 In	6.900	13.800
10 m	Manguera Plástica Transparente 1/2 In	1.000	10.000
1 Tam	Tambor de Thiner 53 Galones	11.000	583.000
1 Uni	Varilla de ½	4.500	4.500
1 Uni	arreglo de diodos	100.000	100.000
1 Uni	canastilla 3 Kg	2.000	4.000
1 Uni	Tubo de Eje de 1 In (7 Kg)	900	6.300
1 Uni	Motor Trifásico de 2 HP	300.000	300.000
4 Uni	Rodamiento (Balinera)	12.000	12.000
1 Uni	Brazo Amigo 5 Kg	1.300	6.500
4 Uni	Parales de la Maquina	12.000	48.000
1 Uni	Base Neumática del Tanque	120.000	120.000
1 Uni	Kid de seguridad	300.000	300.000
1 Uni	Equipo de Destilación	400.000	400.000
	Mano de Obra		720.000
	Transportes		250.000
		Total costo	\$ 2.992.600

Fuente. Los autores.

FLUJO DE CAJA TÍPICO

	Período 0	Período 1	Período 2	Período 3	Período 4	Período 5
Ventas(toneladas)		3	3	3	3	3
Precio		\$ 1.500.000	\$ 1.650.000	\$ 1.815.000	\$ 1.996.500	\$ 2.196.150
Venta activo						
Valor Residual						
Ingresos del Período		\$ 4.500.000	\$ 4.950.000	\$ 5.445.000	\$ 5.989.500	\$ 6.588.450
Costos variables		\$ 2.142.400	\$ 2.356.640	\$ 2.592.304	\$ 2.851.534	\$ 3.136.688
Costos fijos		\$ 500.000	\$ 550.000	\$ 605.000	\$ 665.500	\$ 732.050
Depreciación		\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 30.000
Amortización de Diferidos		\$ 10.000	\$ 10.000	\$ 10.000	\$ 10.000	\$ 10.000
Flujo de Caja antes de Impuestos		\$ 1.817.600	\$ 2.003.360	\$ 2.207.696	\$ 2.432.466	\$ 2.679.712
Impuestos		\$ 617.984	\$ 681.142	\$ 750.617	\$ 827.038	\$ 911.102
Flujo de Caja después de Impuestos		\$ 1.199.616	\$ 1.322.218	\$ 1.457.079	\$ 1.605.427	\$ 1.768.610
Depreciación		\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 30.000
Amortización de Diferidos		\$ 10.000	\$ 10.000	\$ 10.000	\$ 10.000	\$ 10.000
Inversión en Activos Fijos	\$ 2.992.600					
Inversión en Activos Diferidos	\$ 100.000					
Inversión en Capital de Trabajo	\$ 1.272.400					
Flujo de Caja Totalmente Neto	\$ 4.365.000	\$ 1.239.616	\$ 1.362.218	\$ 1.497.079	\$ 1.645.427	\$ 1.808.610

Tasa de Descuento 15%

Indicadores Propuestos

Valor Presente Neto	\$ 567.290
Tasa Interna de retorno Modificada	18%
Relación Beneficio/Costo	1,13

Indicador

Tasa Interna de retorno	20%
--------------------------------	------------

Fuente: Los autores.

9.1.2. Proceso de lavado por ciclón.

Tabla 7. Costos de fabricación.

Cant	Especificaciones	Valor unitario	Valor total
33 Kg	Lamina de Acero 33Kg	1.500	49.500
1 Gal	Anti Corrosivo 513	65.000	65.000
2 Uni	Válvulas de Bola de Acero 1/2 In	6.900	13.800
10 m	Manguera Plástica Transparente 1/2 In	1.000	10.000
1 Tam	Tambor de Thiner 53 Galones	11.000	583.000
1 Uni	Varilla de 1/2	4.500	4.500
1 Uni	Tubo 1,8 Mtrs de Acero (hueco) 25Kg	900	22.500
1 Uni	Disco de Acero (Torta de Soporte) 15 Kg	1.300	19.500
2 Uni	Tubo de Eje de 1 In (7 Kg)	900	6.300
5 Kg	Motor Trifásico de 1/2 HP	300.000	300.000
33 Kg	Rodamiento (Balinera)	10.000	20.000
1 Gal	Brazo Amigo 5 Kg	1.300	6.500
100 Uni	Pinzas de Agarres de Probetas	800	80.000
4 Uni	Parales de la Maquina	12.000	48.000
1 Uni	Base Neumática del Tanque	120.000	120.000
1 Uni	Kid de seguridad	300.000	300.000
1 Uni	Equipo de Destilación	400.000	400.000
	Mano de Obra		785.500
	Transportes		250.000
		Total costo	\$ 3.183.600

Fuente. Los autores

FLUJO DE CAJA TÍPICO

	Período 0	Período 1	Período 2	Período 3	Período 4	Período 5
Ventas(toneladas)		3	3	3	3	3
Precio		\$ 1.500.000	\$ 1.650.000	\$ 1.815.000	\$ 1.996.500	\$ 2.196.150
Venta activo						
Valor Residual						
Ingresos del Período		\$ 4.500.000	\$ 4.950.000	\$ 5.445.000	\$ 5.989.500	\$ 6.588.450
Costos variables		\$ 2.142.400	\$ 2.356.640	\$ 2.592.304	\$ 2.851.534	\$ 3.136.688
Costos fijos		\$ 500.000	\$ 550.000	\$ 605.000	\$ 665.500	\$ 732.050
Depreciación		\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 30.000
Amortización de Diferidos		\$ 10.000	\$ 10.000	\$ 10.000	\$ 10.000	\$ 10.000
Flujo de Caja antes de Impuestos		\$ 1.817.600	\$ 2.003.360	\$ 2.207.696	\$ 2.432.466	\$ 2.679.712
Impuestos		\$ 617.984	\$ 681.142	\$ 750.617	\$ 827.038	\$ 911.102
Flujo de Caja despues de Impuestos		\$ 1.199.616	\$ 1.322.218	\$ 1.457.079	\$ 1.605.427	\$ 1.768.610
Depreciación		\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 30.000
Amortización de Diferidos		\$ 10.000	\$ 10.000	\$ 10.000	\$ 10.000	\$ 10.000
Inversion en Activos Fijos	\$ 3.183.600					
Inversión en Activos Diferidos	\$ 100.000					
Inversión en Capital de Trabajo	\$ 1.272.400					
Flujo de Caja Totalmente Neto	\$ 4.556.000	\$ 1.239.616	\$ 1.362.218	\$ 1.497.079	\$ 1.645.427	\$ 1.808.610

Tasa de Descuento 15%

Indicadores Propuestos

Valor Presente Neto	\$ 376.290
Tasa Interna de retorno Modificada	17%
Relación Beneficio/Costo	1,08

Indicador

Tasa Interna de retorno	18%
--------------------------------	------------

Fuente: Los autores.

9.1.3. Proceso de lavado por centrifugación.

Tabla 8. Costos de fabricación.

Cant	Especificaciones	Valor unitario	Valor total
33 Kg	Lamina de Acero	1.500	49.500
1 Gal	Anti Corrosivo 513	65.000	65.000
2 Uni	Válvulas de Bola de Acero 1/2 In	6.900	13.800
10 m	Manguera Plástica Transparente 1/2 In	1.000	10.000
1 Tam	Tambor de Thiner 53 Galones	11.000	583.000
1 Uni	Varilla de 1/2	4.500	4.500
1 Uni	recolector metálico	6.300	6.300
1 Uni	Motor Trifásico de 1/2 HP	300.000	300.000
2 Uni	Rodamiento (Balinera)	10.000	20.000
5 Kg	Brazo Amigo	1.300	6.500
4 Uni	Parales de la Maquina	12.000	48.000
1 Uni	Base Neumática del Tanque	120.000	120.000
1 Uni	Kid de seguridad	300.000	300.000
1 Uni	Equipo de Destilación	400.000	400.000
	Mano de Obra		885.500
	Transportes		250.000
		Total costos	\$ 3.062.100

Fuente: Los autores.

FLUJO DE CAJA TÍPICO

	Período 0	Período 1	Período 2	Período 3	Período 4	Período 5
Ventas(toneladas)		3	3	3	3	3
Precio		\$ 1.500.000	\$ 1.650.000	\$ 1.815.000	\$ 1.996.500	\$ 2.196.150
Venta activo						
Valor Residual						
Ingresos del Período		\$ 4.500.000	\$ 4.950.000	\$ 5.445.000	\$ 5.989.500	\$ 6.588.450
Costos variables		\$ 2.142.400	\$ 2.356.640	\$ 2.592.304	\$ 2.851.534	\$ 3.136.688
Costos fijos		\$ 500.000	\$ 550.000	\$ 605.000	\$ 665.500	\$ 732.050
Depreciación		\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 30.000
Amortización de Diferidos		\$ 10.000	\$ 10.000	\$ 10.000	\$ 10.000	\$ 10.000
Flujo de Caja antes de Impuestos		\$ 1.817.600	\$ 2.003.360	\$ 2.207.696	\$ 2.432.466	\$ 2.679.712
Impuestos		\$ 617.984	\$ 681.142	\$ 750.617	\$ 827.038	\$ 911.102
Flujo de Caja despues de Impuestos		\$ 1.199.616	\$ 1.322.218	\$ 1.457.079	\$ 1.605.427	\$ 1.768.610
Depreciación		\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 30.000
Amortización de Diferidos		\$ 10.000	\$ 10.000	\$ 10.000	\$ 10.000	\$ 10.000
Inversion en Activos Fijos	\$ 3.062.100					
Inversión en Activos Diferidos	\$ 100.000					
Inversión en Capital de Trabajo	\$ 1.272.400					
Flujo de Caja Totalmente Neto	\$ 4.434.500	\$ 1.239.616	\$ 1.362.218	\$ 1.497.079	\$ 1.645.427	\$ 1.808.610

Tasa de Descuento 15%

Indicadores Propuestos

Valor Presente Neto	\$ 497.790
Tasa Interna de retorno Modificada	17%
Relación Beneficio/Costo	1,11

Indicador

Tasa Interna de retorno	19%
-------------------------	-----

Fuente: Los autores.

Tabla 9. Criterios de evaluación de los procesos de lavado.

	P.a.	P.c.	P.ce.
Peso de la máquina	4	3	3
Número de piezas de la máquina	5	3	4
Cantidad de material q puede ser lavado	4	4	5
Tiempo de lavado	5	3	3
Proceso de mantenimiento	4	2	3
Facilidad para ser transportar	5	5	5
Consumo de energía	4	3	3
Generación de ruido	4	4	4
Costos de inversión	4	4	3
Operación de la máquina	5	5	5
total	44	32	38

Nota: valores de calificación 1 bajo-3 medio-5alto.

P.A. Proceso por agitación, P.C. Proceso por ciclón, P.CE. Proceso por centrifugación

Fuente: Los autores.

9.1.4. La determinación del sistema adecuado para el proyecto. Después de analizar los tres procesos escogidos como prototipos para este proyecto es evidente que la estructura financiera y la gama de ventajas brindan grandes beneficios al momento de ingresar en una línea de producción en el mercado. Por lo tanto se llegó a la determinación que el sistema más adecuado para este proyecto es el de agitación porque representa una utilidad de 18.17% y proporciona un alto margen del 5% mensual dentro de la tasa interna de retorno con un incremento anual 2709599.5 pesos frente a los otros dos procesos y recuperando la inversión en menos tiempo. Sin limitar características higiénicas y funcionales del proceso.

9.2. METODOLOGÍA DE DISEÑO PARA EVALUAR LA VIABILIDAD DEL PROCESO DE LAVADO.

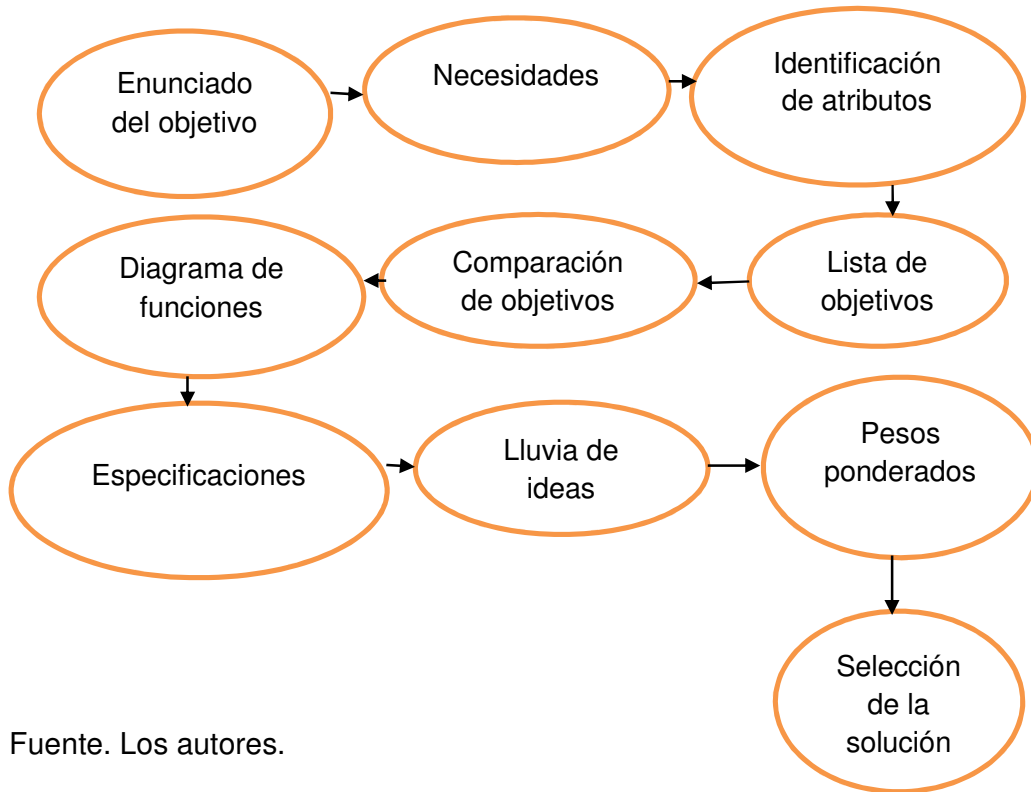
En la tercera etapa del proyecto, se tiene como objetivo realizar la implementación de la metodología de diseño por medio de cálculos donde se pueden comparar los precios ponderados de cada máquina según las necesidades del cliente y posteriormente determinar el sistema que mejor aplica para nuestro proceso de lavado en frío.

9.2.1. Metodología de diseño empleada para determinar el sistema de lavado.

- Esquema de la metodología aplicada.

El esquema mental en este proceso es empleado para determinar los pasos que llevan a una selección viable y económica en la etapa de lavado químico.

Figura 17. Diagrama de flujo.



Fuente. Los autores.

- Objetivo general de la metodología empleada.

Determinar el proceso de lavado mediante el cual se puedan separar todas las partículas de aceites presentes en las superficies de probetas de polipropileno RANDOM.

- Necesidades del cliente.

En la siguiente tabla se muestran todas las necesidades que tiene una empresa industrial por suplir con la implementación de la máquina de lavado y consigo los objetivos que se van a lograr con la puesta en marcha y el desarrollo de la misma.

Tabla 10. Necesidades.

Necesidades del objetivo	Necesidades de ingeniería
Que sea fácil de transportar	Resistente a la corrosión de los materiales que están en contacto con el solvente
Que no se degrade el material lavado	Resistente del brazo que va a soportar la cantidad de material lavado
Que el material lavado no pierda sus propiedades de dureza durante el proceso	Que tenga bajos costos de consumo energético y que se fácil de operar
Que cumpla con la demanda del mercado	Que tenga bajos costos de inversión
Que no genere un impacto negativo para el medio ambiente	Que sea fácil la realización de su mantenimiento
Que no genere ruido	Que el desgaste de sus piezas en el sistema mecánico implementado sea casi nulo
Que sus piezas de construcción sean económicas y fácil de conseguir	Determinación del kit de seguridad a implementar
Que su ensamble y puesta en marcha sea de bajo costo	Sistema de ventilación y de extracción de gases por tratarse de un solvente inflamable

Fuente. Los Autores.

➤ Identificación de atributos.

En esta fase se enmarcan todos los objetivos que se traza el diseñador partiendo de las necesidades del cliente y las posibles restricciones que puede tener con la puesta en marcha de la máquina y la función en el desarrollo del proceso de lavado.

Tabla 11. Identificación de atributos.

Objetivos	Restricciones
<ul style="list-style-type: none"> -Que sea fácil de transportar. -Que no se degrade el material lavado. -Que el material lavado no pierda sus propiedades mecánicas durante el proceso. -Que cumpla con la demanda del mercado. -Que no genere un impacto negativo para el medio ambiente. -Que no genere ruido. -Que sus piezas de construcción sean económicas y fácil de conseguir. -Que su ensamble y puesta en marcha sea de bajo costo. -Resistente a la corrosión de los materiales que están en contacto con el solvente. -Resistente del brazo que va a soportar la cantidad de material lavado. -Que tenga bajos costos de consumo energético y que se fácil de operar. -Que tenga bajos costos de inversión. -Que sea fácil la realización de su mantenimiento. -Que el desgaste de sus piezas en el sistema mecánico implementado sea casi nulo. -Sistema de ventilación y de extracción de gases por tratarse de un solvente inflamable. 	<ul style="list-style-type: none"> -Que cumpla con la demanda del mercado. -Que cumpla con todo los pasos para el procesamiento del polipropileno ambientales de las leyes nacionales que rigen nuestra sociedad. -Que el solvente utilizado en el proceso de lavado no sea un peligro para los afluentes de agua potable ni tampoco para la integridad del operario en ninguno de sus tres estados físicos.
Funciones	
<ul style="list-style-type: none"> -Lograr separar el aceite en su totalidad de las paredes en las probetas de PP RANDOM. -La velocidad de lavado entre la cantidad que puede ser lavada por minuto. 	

Fuente. Los autores.

- Listado de objetivos según su jerarquía. Los objetivos enunciados posteriormente cumplen con las necesidades previstas, son clasificados según su jerarquía y están identificados según la orientación de la actividad que cumplirán durante el proceso.

Tabla 12. Listado de objetivos según su jerarquía.

1.Costos	2.Diseño	3.Logística	4.Medio Ambiente
1.1 Que tenga bajos costos de inversión	2.1 Resistente a la corrosión de los materiales a utilizar	3.1 Que sea fácil de operar	4.1 Que no genere un impacto negativo en el medio ambiente
1.2 Que tenga bajos costos de consumo energético	2.2 Resistente del brazo que va a soportar la cantidad del material lavado	3.2 Sistema de ventilación y de extracción de gases por tratarse de un solvente inflamable	4.2 Que genere bajo nivel de ruido
1.3 Determinación del kit de seguridad a utilizar	2.3 Que sea fácil su mantenimiento	3.3 Que sea fácil de transportar	
1.4 Que las piezas utilizadas en su construcción sean económicas	2.4 Que el desgaste de sus piezas en el sistema mecánico implementado sea casi nulo	3.4 Que no se degrade el material lavado	
1.5 Que su ensamble y puesta en marcha sea de bajo costo	2.5 Que el material lavado no pierda sus propiedades mecánicas durante el proceso	3.5 Que cumpla con la demanda del mercado	

Fuente. Los autores.

- El impacto de los objetivos sobre el diseño de la máquina es valorado de acuerdo al criterio del director de tesis y los autores. Los aspectos que enmarcan esta evaluación son: costos, diseño, logística y medio ambiente, promediando valores comprendidos en una escala de uno al cinco.
El valor numérico según el grado de importancia para cada objetivo se valoró de la siguiente manera. Cada autor de tesis según sus criterios de ingeniería dio un valor

dentro de la escala descrita anteriormente en compañía del director de tesis, luego se sacó la media dentro de estos tres valores y se designó la línea diagonal que es igual al grado de importancia total que tiene cada objetivo de primer nivel frente a los demás objetivos que conforman el grupo de primer nivel. Realizando esta misma operación para los objetivos de segundo nivel. Y de esta misma forma luego fueron llevados a la matriz de ponderación.

Ejemplo de cómo se realizó la valoración para determinar el valor de los objetivos de primer nivel.

Valoración para el objetivo de primer nivel de costo frente a diseño.

Ingeniero. Wilmer Velilla Diaz: 4

Estudiante Yeison Rodriguez Maza: 3

Estudiante. Hamer Chica Larios: 5

La media de este objetivo es de: $4+3+5= 12/3 = 4$

Este proceso de valoración se realizó para todos los objetivos de primer nivel y segundo nivel teniendo siempre presente las características que debe guardar cada objetivo frente a las necesidades del cliente.

NOTA: Para las tablas 8-12 los valores de las calificaciones son los siguientes:
1.Bajo, 3.Medio y 5.Alto.

Tabla 13. Objetivos de primer nivel.

Factores	1.Costos	2.Diseño	3.Logística	4.Medios Ambiente	Total (fila)	Peso
1.Costo	3.5	4	3	4	14.5	0.38
2.Diseño	0.25	3.5	4	4	11.75	0.30
3.Logística	0.33	0.25	3.5	4	8.08	0.21
4.Medio Ambiente	0.25	0.25	0.25	3.5	4.25	0.11
				TOTAL	38.58	1.00

Fuente. Los autores.

Tabla 14. Objetivos de segundo nivel para los costos.

Costos							0.38		
critérios	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	Total F	Peso R	Peso A	
1.1	4	4	3	4	4	19	0.34	0.1292	
1.2	0.25	4	2	3	4	13.25	0.24	0.0912	
1.3	0.33	0.5	4	3	2	9.83	0.18	0.0684	
1.4	0.25	0.33	0.33	4	3	7.91	0.14	0.0532	
1.5	0.25	0.25	0.5	0.33	4	5.33	0.1	0.038	
					Total	55.32	1.00	0.38	

Fuente. Los autores.

Tabla 15. Objetivos de segundo nivel para el diseño.

Diseño						0.30		
critérios	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	Total F	Peso R	Peso A
2.1	3	3	3	3	4	16	0.33	0.11
2.2	0.33	3	3	3	3	12.33	0.25	0.075
2.3	0.33	0.33	3	3	2	8.66	0.18	0.054
2.4	0.33	0.33	0.33	3	3	6.99	0.14	0.042
2.5	0.25	0.33	0.5	0.33	3	4.41	0.09	0.027
					Total	48.39	1.00	0.31

Fuente: Los autores.

Tabla 16. Objetivos de segundo nivel para la logística.

Logística							0.21	
critérios	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	Total F	Peso R	Peso A
3.1	4	4	3	3	3	17	0.31	0.0651
3.2	0.25	4	3	3	3	13.25	0.244	0.05124
3.3	0.33	0.33	4	3	3	10.66	0.198	0.04158
3.4	0.33	0.33	0.33	4	3	7.99	0.15	0.0315
3.5	0.33	0.33	0.33	0.33	4	5.32	0.098	0.02058
					Total	54.22	1.00	0.21

Fuente. Los autores.

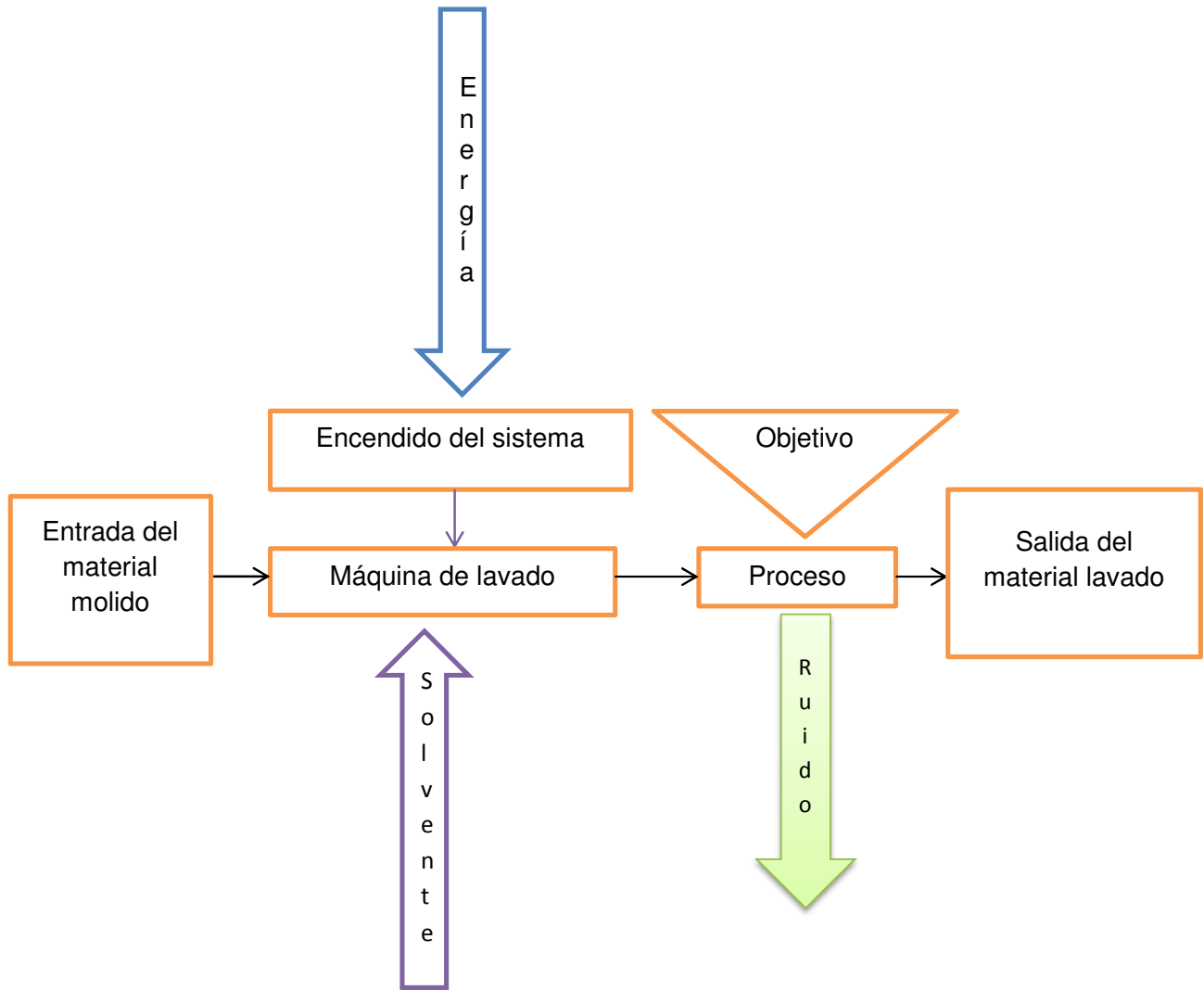
Tabla 17. Objetivos de segundo nivel para el medio ambiente.

Medio Ambiente				0.11	
critérios	4.1	4.2	Total Fila	Peso R	Peso A
4.1	4	4	8	0.65	0.0715
4.2	0.25	4	4.25	0.35	0.0385
		Total	12.25	1.00	0.11

Fuente. Los autores.

- Diagrama de funciones. El diagrama de funciones es donde se puede apreciar cómo están involucrados cada factor que conforman el proceso de lavado químico por medio de un diagrama de flujo que tiene una ruta de proceso para describir cómo es el desarrollo que se debe llevar a cabo para que la interacción de todos los elementos que intervienen desde el ingreso del material triturado hasta la salida del material lavado sea un éxito.

Figura 18. Funciones del proceso.



Fuente. Los autores.

- Especificaciones. A continuación se presenta una tabla donde cada necesidad tiene un valor para apreciar de forma más clara su significado dentro del proceso.

Tabla 18. Nivel de importancia según las especificaciones del cliente.

Cantidad	Necesidades	Importancia
1	Que tenga bajos costos de inversión	13.3%
2	Que no se degrade el material lavado	12.8%
3	Que el material lavado no pierda sus propiedades mecánicas durante el proceso	8.1%
4	Sistema de ventilación y de extracción de gases por tratarse de un solvente inflamable	6%
5	Que no genere un impacto negativo en el medio ambiente	5%
6	Que tenga bajos costos de consumo energético	6%
7	Que las piezas utilizadas en su construcción sean económicas	6%
8	Que su ensamble y puesta en marcha sea de bajo costo	5.2%
9	Que el desgaste de sus piezas en el sistema mecánico implementado sea casi nulo	6.3%
10	Resistente a la corrosión de los materiales a utilizar	4.1%
11	Resistente del brazo que va a soportar la cantidad del material lavado	5.5%
12	Que cumpla con la demanda del mercado	5%
13	Que sea fácil su mantenimiento	4.5%
14	Que sea fácil de operar	4%
15	Que sea fácil de transportar	3.2%
16	Que genere bajo nivel de ruido	3%
17	Determinación del kit de seguridad a utilizar	2%

Fuente: Los autores.

- Lluvia de ideas. Se presentan las posibles alternativas con el fin de seleccionar la que cumpla con el mayor grado de las funciones requeridas por el cliente.

Tabla 19. Alternativas desarrolladas en el proyecto.

Listado de alternativas			
Alternativa		Imagen	Características
Cant			
1	Sistema de lavado por agitación		Tiene la capacidad de separar una gran cantidad de aceite de las probetas durante su proceso de lavado.
2	Sistema de lavado por ciclón		Puede lavar una cantidad de probetas considerables pero necesita de un equipo externo para la extracción del producto lavado.
3	Sistema de lavado por centrifugación		Puede lavar grandes cantidades de probetas en poco tiempo pero necesita de un equipo externo para la extracción del material lavado.

Fuente. Los autores.

- Pesos ponderados. En esta etapa se evalúa y se selecciona la alternativa que presente mayor rendimiento frente a las funciones requeridas por los criterios mencionados en el desglose metodológico del proceso, evaluando cada perspectiva de proyección que pueda ser desarrollada sobre la maquina en la automatización de la misma en un futuro.

Tabla 20. Ponderación de los objetivos.

Características de evaluación			Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
Categoría	Objetivo	Ponderación	Apreciación	Ponderado	Apreciación	Ponderado	Apreciación	Ponderado
	1.1	0,1292	4	0,5168	4	0,56	3	0,42
	1.2	0,0912	4	0,3648	3	0,2736	3	0,2736
Costo	1.3	0,0684	4	0,2736	3	0,1824	2	0,1216
	1.4	0,0532	4	0,2128	2	0,0988	4	0,1976
	1.5	0,038	4	0,152	4	0,152	4	0,152
	2.1	0,11	3	0,33	3	0,279	3	0,279
	2.2	0,075	3	0,225	3	0,2325	3	0,2325
Diseño	2.3	0,054	3	0,162	3	0,1674	3	0,1674
	2.4	0,042	3	0,126	3	0,1302	3	0,1302
	2.5	0,027	3	0,081	3	0,1209	2	0,0806
	3.1	0,0651	4	0,2604	4	0,228	3	0,171
	3.2	0,05124	4	0,20496	3	0,1539	3	0,1539
Logística	3.3	0,04158	4	0,16632	3	0,1026	3	0,1026
	3.4	0,0315	4	0,126	3	0,0969	3	0,0969
	3.5	0,02058	4	0,08232	3	0,0456	3	0,0456
Medio ambiente	4.1	0,0715	4	0,286	4	0,312	2	0,156
	4.2	0,0385	4	0,154	2	0,084	2	0,084
Totales				3,9844		3,22		2,8645

Fuente. Los autores.

- Selección de la solución prometedora. Al evaluar las alternativas es evidente que la solución más prometedora es la numero 1 “sistema de lavado por agitación” porque durante el lavado de probetas puede separar grandes cantidades de aceite situadas en las superficie de las mismas⁵⁰.

9.2.2 Alternativa utilizada en la etapa final del proceso.

- Micro bacterias. El investigador John Kessler, de la Universidad de Rochester, dijo que las bacterias se alimentan de hidrocarburos, quitando la mayor parte del aceite y del gas atrapado en capas submarinas de más de un kilómetro bajo la superficie. Pero el apetito de las bacterias se apaga cinco meses después de la que empiezan a consumir aceites.

"No está claro si esto indica que esta gran cantidad de microorganismos eran los que se consumían el metano. Eso es debido a que estos microbios utilizan el oxígeno para "respirar". "Cuando las bacterias consumen petróleo y gas, que utilizan el oxígeno y liberan dióxido de carbono, al igual que lo hacen los humanos cuando respiramos", asistente de investigación de posgrado Mengran Du en A & M University de Texas, dijo en un comunicado. "Cuando las bacterias mueren y se descomponen, que utiliza hasta aún más oxígeno. Ambos procesos eliminan el oxígeno del agua." El equipo utiliza estos números de oxígeno para calcular la cantidad de petróleo y gas eliminado por los microbios y el ritmo al que se consume.

Los resultados fueron publicados en el año 2011 en la revista Environmental Science and Technology. El trabajo fue financiado por la Fundación Nacional de Ciencias, junto con la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica, la Fundación Sloan,

⁵⁰VELILLA, Wilmer, et al. 2010.Universidad Autonoma del Caribe. *Metodología de diseño conceptual para la selección de un sistema manipulador de tambores para camiones de carga*. [En línea] 10 de Junio de 2010. [Citado el: 7 de ABRIL de http://www.uac.edu.co/images/stories/publicaciones/revistas_cientificas/prospectiva/volumen-8-no-1/articulo7-v8n1.pdf.

BP / el Golfo de Iniciativa de Investigación de México y el Consejo de Becas de China⁵¹.

De acuerdo a la entrevista realizada al ingeniero químico DANIEL TRESPALACIOS RODRÍGUEZ egresado de la universidad del atlántico el método de vertimiento más adecuado es el siguiente: se debe tener dos tanques con diferencia de 5cm de diámetro y capacidad para 500 litros de aceite, sensores de nivel en su parte superior e inferior del tanque y tapa en la parte inferior del tanque para retirar las bacterias después de ser neutralizadas.

El tanque que está en la parte interior debe de tener una rejilla de 10 cm de altura por cada orificio por donde ingresaran las bacterias para consumir el aceite que se encuentra depositado. Pasado un tiempo el aceite alcanza su nivel mínimo y activa el sensor de nivel inferior y se debe esperar una hora para separar las bacterias del tanque y depositarlas en una bolsa plástica.

Para 500 litros de aceite se debe de utilizar 6.3kg de bacterias. El intervalo de espera después de activado el sensor asegura que, al momento de retirar las bacterias del tanque se encuentren totalmente neutralizadas.

⁵¹livescience.com/23126-bacteria-sucked-up-200-000-tons-of-oil-after-bp-spill.html. [06 de MAYO de /2013]

9.3. DISEÑO DE DETALLE Y DESARROLLO DE LOS PLANOS DE FABRICACIÓN, MONTAJE Y MANUALES DE FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA.

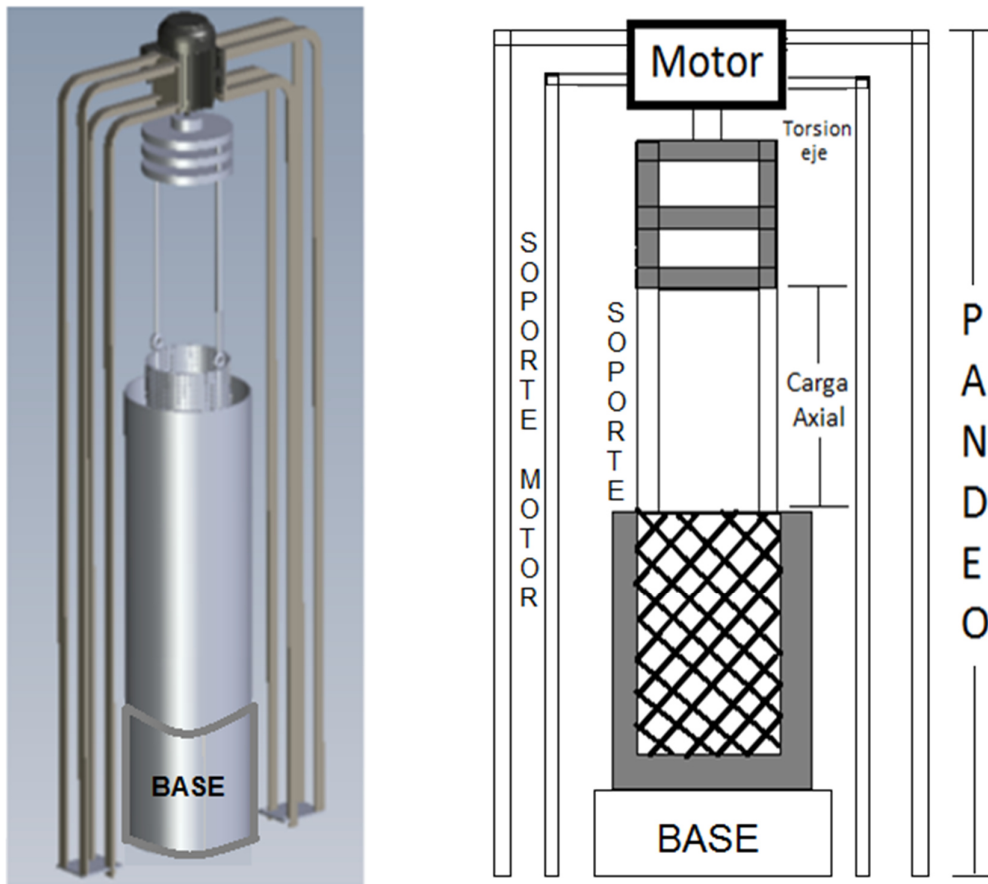
En la cuarta etapa del proyecto, se tiene como objetivo el diseño de detalle de las cargas que puede soportar la máquina de lavado.

- Materiales de fabricación: se seleccionarán los materiales más adecuados para el diseño de cada componente de la máquina.
- Determinación de las cargas estáticas: se estudiarán y determinarán las diferentes cargas presentes en el proceso.
- Determinación de esfuerzos y deflexiones: se determinarán los diferentes esfuerzos que generan las fuerzas externas presentes en el proceso y también las deflexiones existentes en los elementos que lo ameriten.
- Aplicación de las teorías de falla estática y por fatiga: según la función que cumpla el elemento. Dentro de la máquina se utilizará una determinada teoría para determinar su integridad durante su vida útil. También se tendrá en cuenta el tipo de material que se utilice para el diseño, ya sean materiales dúctiles o frágiles.
- Selección de motor: es muy importante ya que el consumo energético del proceso es directamente proporcional del mismo.
- Planos de fabricación y montaje de la máquina de lavado: son la guía para los técnicos que van a realizar la fabricación y el montaje de la máquina.
- Manuales de funcionamiento y mantenimiento de la máquina de lavado: es la carta que brinda fidelidad al buen funcionamiento de la máquina y a tener una vida útil duradera realizando todo sus mantenimientos descritos como están en el manual.

9.3.1. Diseño de detalle de la máquina de lavado y manual de la misma.

Teniendo una idea física de cómo será la estructura y funcionamiento de la máquina de lavado se procede al análisis ingenieril que permita definir medidas y dimensiones. La figura 21 muestra los posibles esfuerzos que exige el funcionamiento de la máquina.

Figura 19. Estructura y análisis de esfuerzos máquina de lavado.



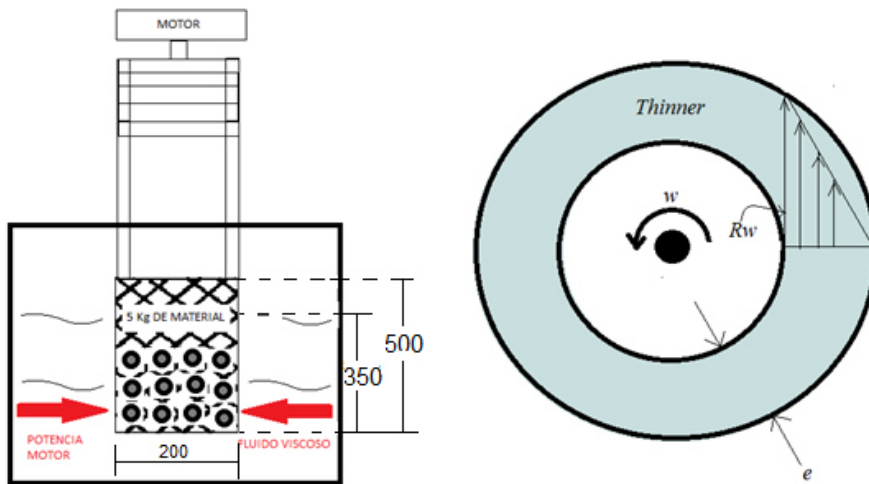
Fuente. Los autores.

Un diagrama de cuerpo libre es un dibujo que representa el cuerpo en estudio, en el que se señalan sus características geométricas y las fuerzas externas que actúan sobre él⁵².

Consideraciones para calcular la potencia de motor necesaria para rotar la malla metálica de lavado:

- La carga máxima exigida al motor se presenta teniendo la mayor cantidad de material y thinner. Es decir el motor será capaz de vencer la viscosidad del solvente y rotar el material 180° respecto a su eje. Una vez lo haga, realizara el movimiento en sentido contrario.

Figura 20. Potencia del motor vs Fluido viscoso.



Nota: Las unidades están en milímetros.

Fuente. Los autores.

⁵² Ocariz, Juan. Diagramas de cuerpo libre ¿Puede dibujarlos cualquiera?. México: Universidad Autónoma De México, (2005).

De acuerdo a esto las cargas a vencer son:

- Viscosidad del thinner.
- Hojuelas de Polipropileno (5 Kg Por lavado).

En un fluido, la fuerza de resistencia experimentada por una superficie viene dada por:

Ecuación 7. Fuerza cortante.

$$F_r = \mu A_p \frac{v}{h}$$

Donde

F_r , fuerza cortante (paralela a la velocidad).

A_p , área de la superficie del sólido en contacto con el fluido.

μ , coeficiente de viscosidad dinámica del thinner.

h , altura del nivel de fluido o distancia entre la placa y el fondo del recipiente que contiene al fluido.

v , velocidad de la superficie.⁵³

A esta fuerza se suma la equivalente al peso del material triturado (5Kg) más el correspondiente a la malla metálica y soportes (6Kg).

Ecuación 8. Potencia.

$$P = (F_r + 50 N) * v = \mu A_p \frac{v^2}{h}$$

Multiplicando ambos lados de la ecuación por la velocidad se encuentra la potencia del motor. Para este caso (Figura 27):

$$v = 1500 \frac{rev}{min} * \frac{0,2m}{60seg} = 5 m/s$$

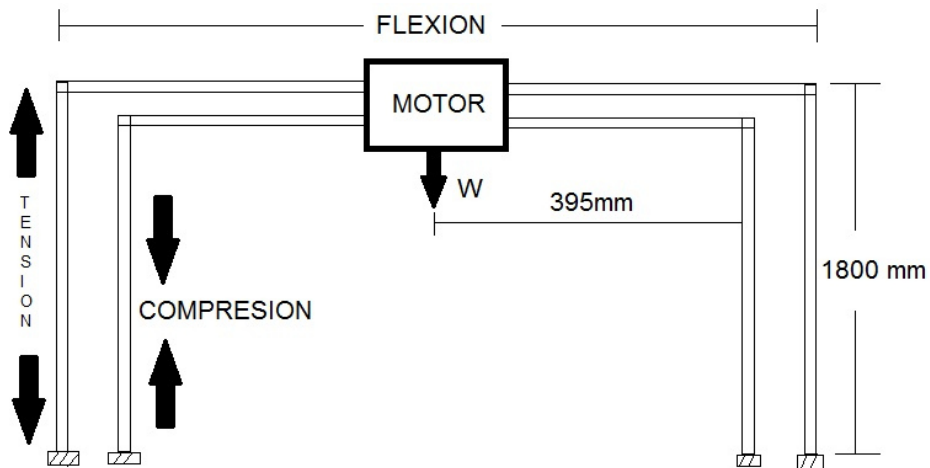
⁵³ <http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/3623/1/tema2RUA.pdf>

$$P = (2,94 * 10^{-1} \text{KN} * \text{s/m}) * (0,35\text{m} * 0,2\text{m}) \left(\frac{5^2 \text{m/s}}{0,35\text{m}} \right)$$

P= 1,47 KN m / s. Aproximadamente 2 HP. Otras especificaciones en el anexo 9.

- Análisis de pandeo en el soporte del motor.

Figura 21. Diagrama cuerpo libre.



Nota: Las unidades están en milímetros.

Fuente. Los autores.

El peso promedio de un motor de 2HP es de $W=15,5\text{Kg}$ que serían aproximadamente 155 N.

El elemento crítico de la maquina es la barra que soporta el motor debido a que es la más larga y esbelta de toda la estructura y soporta el peso del material lavado, como tiene el mismo grosor en su longitud se procede a realizar el estudio de pandeo sobre la misma.

$$R_g = 1in = 2.54cm = 0.0254m$$

$$L_{ef} = 1.8 * k$$

De donde k es el factor de recomendado en columnas largas.

Ecuación 9. Columna larga.

$$R_e = 1.8 * 2.1 / 0.0254m = 148.8$$

Se realiza el siguiente análisis cuando existen columnas largas en el diseño y se tiene la incertidumbre de falla por inestabilidad elástica.

Ecuación 10. Columna de Euler.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I}{L_{ef}^2}$$

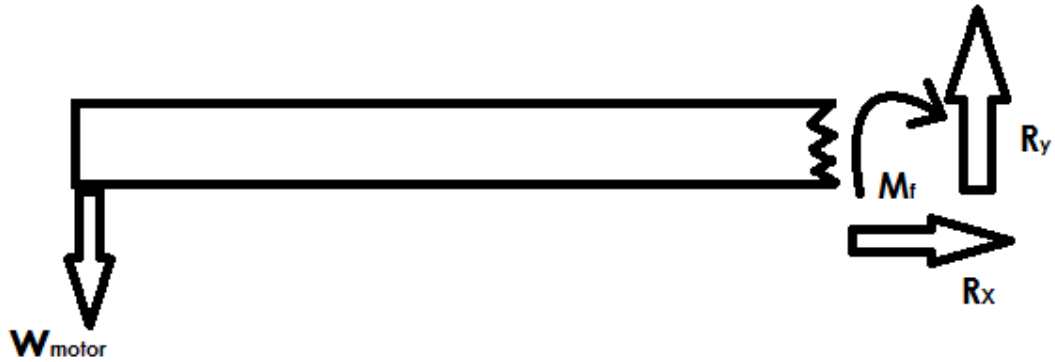
$$A = \frac{\pi^2 * E * I}{L_{ef}^2}$$

$$\frac{P_{cr}}{A} = \pi * \frac{E}{R_e}$$

$$P_{cr} = \pi * \frac{\left(\frac{190000}{1000000}\right)}{148.8} = \frac{\pi}{4(0.025m)^2}$$

En el caso que el soporte del motor llegara a recibir un motor de 2HP no fallaría por inestabilidad elástica porque el Pcr sería de 4 KN, menor que el peso del motor.

Figura 22. Análisis Flexión para los soportes horizontales del motor.



Fuente. Los autores.

Ecuación 11. Análisis Flexión para los soportes horizontales del motor.

$$A = 0.22\text{cm}^2 = 0.0000227\text{m}^2$$

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 7.6\text{N} = R_y$$

$$\sigma = \frac{7.6\text{N}}{0.0000227\text{m}^2} = 334871.8\text{Pa}$$

$$F.S = \frac{S_Y}{\sigma_m} = \frac{6900000\text{ Pa}}{334871.8} \cong 2.0$$

El factor de seguridad evidencia que el sistema se encuentra sobredimensionado a la hora de analizar el esfuerzo por flexión del soporte. La principal razón por la que se un material estructural y 4 soportes radica en prevenir el ataque de vibraciones para la estructura en general.

➤ Análisis de vibraciones para la estructura

El motor eléctrico de 15.5 Kg esta soportado mediante dos ángulos de acero estructural cuya rigidez es de 780 N/m y suponiendo que el rotor R esta desbalanceado de manera que su efecto es equivalente a una masa de máximo 4Kg ubicada a 50 mm del eje de rotación. Teniendo en cuenta que el eje gira a 1720 rpm, equivalente a 180.2 rad/seg se procede a hallar el factor de amortiguamiento.

La rigidez de todo el sistema de cuatro soportes es $K = 4 \left(\frac{780N}{m} \right) = 3125N/m$. Por tanto, la frecuencia natural de vibración es:

Ecuación 12. Frecuencia natural de vibración.

$$W_n = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{3125N/m}{15,5Kg}} = 14.2 \text{ rad/seg}$$

Si la máquina tiene un grado de libertad con una frecuencia natural cerca de las RPM del motor, su nivel de vibraciones puede ser muy alto⁵⁴. Para este caso la frecuencia natural de 14,2 rad/seg es considerablemente inferior a los 157.1 rad/seg de salida correspondiente al motor seleccionado. Teniendo en cuenta que se realiza el análisis con la máxima revolución o salida del motor y que la frecuencia natural de

⁵⁴ Guion White. 2009. Introducción al análisis de vibraciones. Azima DLI.

vibración es inferior a la que genera el desbalanceo podemos concluir que el sistema se encuentra estable y sin riesgos de vibraciones considerables.

➤ Diseño del tanque de lavado

El tanque se diseñó considerando aspectos como

- Alimentación del sistema
- Seguridad
- Descarga de material procesado

De acuerdo a estas consideraciones se decide que el tanque tenga la geometría mostrada en la Figura.

Medidas: Para dimensionar el tanque de lavado se tiene en cuenta parámetros técnicos (Alimentación sistema, descarga material y circulación de fluido) y humanos (Seguridad), que están relacionados con el espacio físico donde va a ser instalado. Por lo tanto se establecen las medidas que se muestran en la figura.

Figura 23. Dimensiones del tanque de lavado.



Nota: Las unidades están en milímetros.

Fuente. Los autores.

El material de fabricación del tanque de lavado es Acero A-36 o Acero inoxidable AISI 304. El primero es descartado por su baja resistencia a la corrosión.

- Análisis del tanque de lavado.

Densidad del acero inoxidable AISI 304: 7,93 gr / cm³

Ecuación 13. Densidad

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$m = \rho * v$$

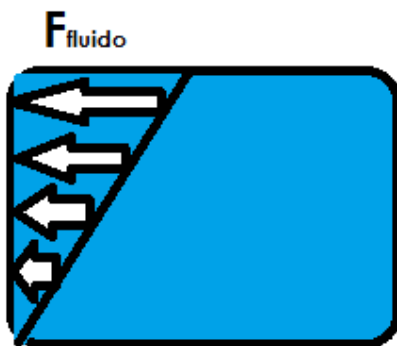
$$m = \frac{7,93gr}{cm^3} * (0,3 * 0,7 * t)m^3$$

$$m = \frac{7,93gr}{cm^3} * (0,3 * 0,7 * t)m^3 * \frac{100cm^3}{1m^3}$$

$$m = 166,54t \text{ gr}$$

$$w = m * g = (1633,66t)N$$

Figura 24. Presión estática ejercida sobre el tanque.



Fuente. Los autores.

Ecuación 14. Esfuerzo sobre las paredes del tanque

$$P_{hidrostatica} = \rho gh$$

$$P_{hidrostatica} = \frac{800Kg}{m^3} * \frac{9.81m}{s^2} * 0.35m$$

$$P_{hidrostatica} = 2746N/m^2$$

$$P_{hidrostatica} = \frac{F}{A}$$

$$F_{hidrostatica} = \frac{2746N}{m^2} * \frac{(0.3 * 0.35)m^2}{2}$$

$$F_{hidrostatica} = 144.165N$$

Sobre el espesor del tanque actuaría esta fuerza de la siguiente manera:

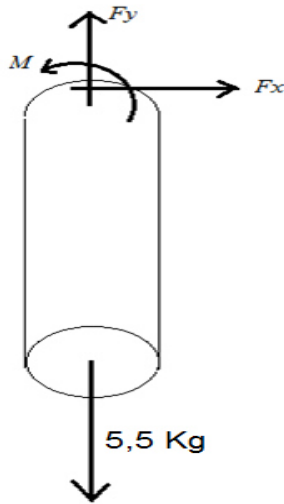
$$\sigma_{acero AISI304} = \frac{F_{hidrostatica}}{A_{espesor}}$$

$$\sigma_{acero AISI304} = \frac{144.165N}{0.35 * t}$$

Teniendo en cuenta la resistencia a la tracción del acero AISI 304 equivalente a 460 Mpa se itera para la selección del espesor adecuado para el tanque. Las paredes deberán tener 4,5mm de espesor. Medidas menores fueron descartadas debido a que, si bien resisten el esfuerzo de tracción, limitarían el proceso de soldadura necesario en la fabricación del tanque.

Análisis de carga axial para los soportes

Figura 25. Diagrama de cuerpo libre.



Fuente. Los autores.

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 55N = F_y$$

$$\sum M = 0$$

Ecuación 15. Esfuerzo normal en la barra.

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{55N}{(\pi * 0,025^2m)/4} = 112,224KPa$$

El material utilizado es acero inoxidable AISI 304 con un módulo de elasticidad de $E=210GPa$. Es decir, el sistema no fallara por carga axial.

- Para el diseño de la barra constituida de acero inoxidable AISI 304 se tiene en cuenta un factor de seguridad equivalente a:

Ecuación 16. Factor de seguridad.

$$FS = \frac{S_y}{\sigma_m}$$

De Donde

FS= Factor de seguridad

σ_m = Esfuerzo permisible

S_y = Resistencia última a la tracción, para los soportes se utiliza Acero inoxidable AISI 304, entonces se tiene.

$$S_y = 460 \text{ KPa}$$

$$FS = \frac{460 \text{ KPa}}{112,224 \text{ KPa} * 2} = 2,04$$

9.3.2. GUÍA DE FUNCIONAMIENTO

La limpieza regular de los equipos industriales hace que le puedas prolongar su vida útil. Siguiendo un procedimiento paso a paso, los riesgos de que falle un equipo pueden ser evitados. La familiaridad con las medidas de seguridad de equipos y la adhesión estricta a los procedimientos de aislamiento de energía también son factores importantes en la realización de tareas de limpieza y mantenimiento de equipos industriales.

➤ Componentes principales.

- 1) Barras de soporte.
- 2) Parales que soportan el motor.
- 3) Malla metálica de lavado.
- 4) Dos tornillos pasantes de una pulgada.
- 5) Tanque de lavado.
- 6) Motor siemens de 2 HP.
- 7) Base neumática del tanque de lavado.
- 8) Polea.
- 9) Ruedas de la base neumática.

➤ Instrucciones de seguridad.

- No realizar ajustes a la maquina estando en funcionamiento porque puede poner en riesgo la seguridad del operario.
- No fumar cerca de la zona de lavado.
- Tener siempre las llaves del solvente cerradas mientras la máquina está lavando.
- Lea cuidadosamente las instrucciones de uso antes de poner la máquina en funcionamiento.
- La máquina debe ser operada solamente por personal calificado ya que el solvente con el que se está trabajando es muy volátil.
- Antes de conectar la máquina a la red eléctrica compruebe que las características coincidan con las de la placa del motor.
- Compruebe siempre el buen estado del cable de conexión a la red eléctrica.

- Use siempre calzado con suela antideslizante, gafas de protección, y ropa de seguridad.
- No haga funcionar la maquina en recintos cerrados.
- Compruebe que hay suficiente circulación de aire en la zona de lavado.
- No desconecte la maquina tirando del cable y asegúrese de que tenga siempre las manos secas cuando esté realizando el proceso de desconexión de la red eléctrica.
- El fabricante no se hará responsable de daños a persona, animales o cosas si manipulan la máquina de forma inadecuada.

➤ Conexión eléctrica de la máquina.

- La tensión de la red eléctrica debe ser igual a la tensión eléctrica del motor.
- Introducir la clavija en un toma corriente instalado de acuerdo a la normativa vigente.
- Las conexiones eléctricas deben estar mínimo a tres metro retiradas de la máquina.

➤ Puesta en funcionamiento de la máquina.

- Haga funcionar a máquina de lavado siempre en posición vertical.
- Active el motor luego de estar seguro que la maquina está bien ajustada.
- No sobrepasar el peso estimado de lavado.
- Verificar que la malla de lavado este totalmente limpia.
- Verificar que el solvente no tenga particular que puedan perturbar el proceso de lavado.

➤ Parada de la máquina.

- Apagar el motor.
- Retirar el recipiente de lavado.
- Despojar el material lavado de la malla metálica.
- Limpiar cuidadosamente la malla metálica después del proceso de lavado.

➤ Mantenimiento.

-Revisar mensualmente que una de las líneas del motor no se allá desconectado esto provocaría que el motor tomara el doble de amperaje, en el que estaba tomando, y se quemar las 2 bobinas que se encontraban trabajando.

-Abrir el motor cada tres meses y revisar que los valeros del eje estén bien engrasados (en caso de que no ponerles más grasa) y en buen estado (que no estén desgastados).

-Abrir el motor cada seis meses y revisar que el aislamiento de las bobinas y en su caso si está dañado o ya no tiene suficientemente barniz darle un retoque a las bobinas y dejarlas secar por un aproximado de 3 horas al aire libre.

-La parte ultima del eje motriz presenta desgaste con el tiempo y debe ser reemplazado periódicamente.

-Revisar todo los días los tornillos que unen las barras soportes con la malla metálica.

-Ajustar todo los días los soporte que van roscados en la polea.

-Lavar con potasa el tanque de lavado todas las semanas.

-Verifique el desgaste en los tornillos que la malla metálica de los soportes para evitar desbalanceo.

-Todo el equipo de lavado debe ser bien limpiado después de cada día de trabajo.

-Cualquier práctica de trabajo que ponga en riesgo la seguridad está prohibida. Otras actividades ajenas a las descritas en esta sección sólo pueden ejecutarse por los establecimientos del fabricante.

-Después de 600 horas de operación, la máquina de lavado debe estar limpia e inspeccionada en su totalidad. Este trabajo sólo puede ejecutarse por los establecimientos del fabricante.

-Cables y enchufes, deben estar inspeccionados y calificados cada seis meses; los resultados de la inspección debe quedar documentada.

-Desconecte antes de llevar acabo cualquier trabajo de mantenimiento y/o reparación de la máquina de lavado.

➤ Guía de solución de problemas.

Problema	Motivo	Solución
-El motor suena con un zumbido al accionar el interruptor y falla al arrancar.	-Tensión de red eléctrica demasiado baja. -Sobre peso en la malla de lavado.	-Compruebe la red eléctrica. -Verifique la cantidad de material que se va a lavar.
-El motor no arranca.	-Tensión eléctrica incorrecta.	-Compruebe el cable y el interruptor.
-El motor se para.	-Corte de corriente por sobrecarga.	-Compruebe que coincida la red eléctrica con la del motor. -Desconectar esperar tres minutos y volver a conectar.
-El aceite no se desprende de las paredes del material molido.	-Poco para la cantidad de material que se va a lavar.	Agregar más solvente y verificar las que el motor este trabajando correctamente.

9.4. METODOLOGÍA DE DISEÑO PARA EVALUAR LA VIABILIDAD DEL PROCESO DE SECADO.

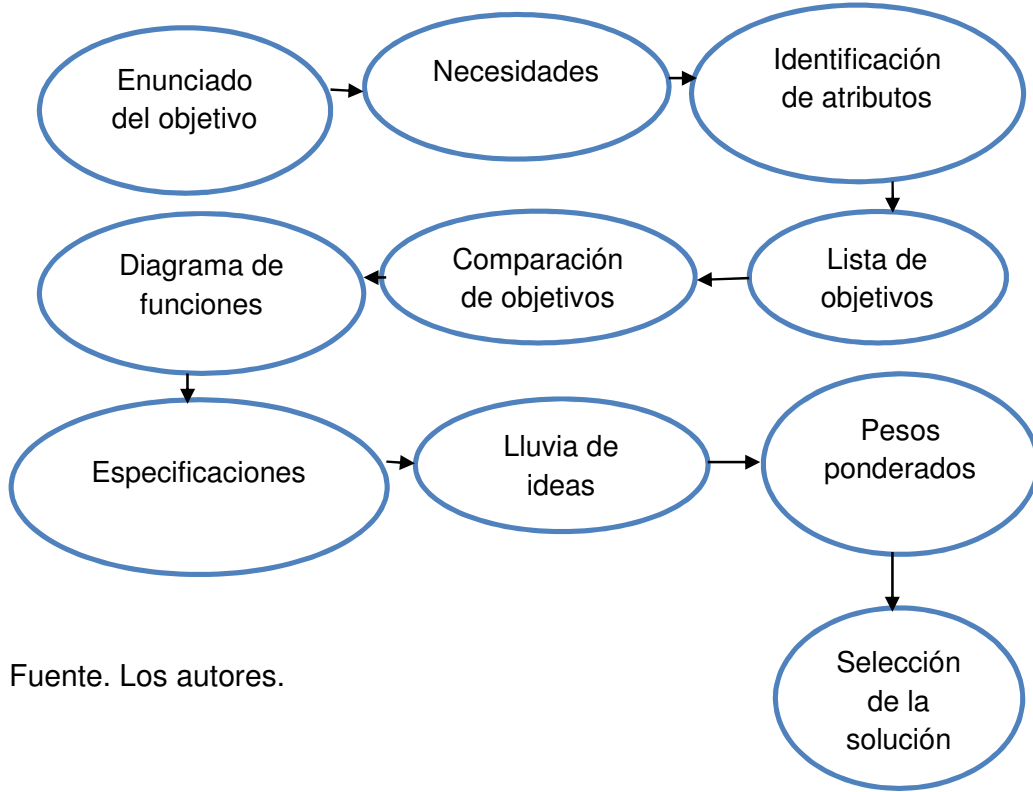
Se tiene como objetivo realizar la implementación de la metodología de diseño por medio de cálculos donde se pueden comparar los precios ponderados de cada máquina según las necesidades y posteriormente determinar el sistema que mejor aplica para nuestro proceso de secado.

9.4.1. Metodología de diseño empleada para determinar el sistema de secado.

- Esquema de la metodología aplicada.

El esquema mental en este proceso es empleado para mostrar la consecuencia del objetivo general, que es el diseño de una máquina de secado, basado en el análisis del costo del ciclo de vida que permita seleccionar la mejor opción.

Figura 26. Diagrama de flujo.



Fuente. Los autores.

- Objetivo general de la metodología empleada.

Determinar el proceso de secado mediante el cual se puedan separar el solvente sumergido sobre el material molido.

- Necesidades.

En la siguiente tabla se muestran las necesidades que tiene una empresa industrial por suplir con la implementación de la máquina de secado y consigo los objetivos que se van a lograr con la puesta en marcha y el desarrollo de la misma.

Tabla 21. Necesidades.

Necesidades del objetivo	Necesidades de ingeniería
Que sea fácil de transportar	Resistente a la corrosión de los materiales que están en contacto con el solvente
Que no se degrade el material en el proceso de secado	Que sea resistente estructuralmente
Que el material secado no pierda sus propiedades mecánicas durante el proceso	Que tenga bajos costos de consumo energético y que sea fácil de operar
Que cumpla con la demanda del mercado	Que tenga bajos costos de inversión
Que no genere un impacto negativo para el medio ambiente	Que sea fácil la realización de su mantenimiento
Que no genere ruido	Que el desgaste de sus piezas en el sistema mecánico implementado sea casi nulo
Que sus piezas de construcción sean económicas y fácil de conseguir	Que tenga un modelo de ventilación
Que su ensamble y puesta en marcha sea de bajo costo	Que las temperaturas empleadas en el proceso no degraden el material

Fuente. Los Autores.

➤ Identificación de atributos.

En esta fase se enmarcan todos los objetivos que se traza el diseñador partiendo de las necesidades y las posibles restricciones que puede tener con la puesta en marcha de la máquina y la función en el desarrollo del proceso de secado.

Tabla 22. Identificación de atributos.

Objetivos	Restricciones
<ul style="list-style-type: none"> -Que sea fácil de transportar. -Que no se degrade el material en el proceso de secado. -Que el material secado no pierda sus propiedades mecánicas durante el proceso. -Que cumpla con la demanda del mercado. -Que no genere un impacto negativo para el medio ambiente. -Que no genere ruido. -Que sus piezas de construcción sean - económicas y fácil de conseguir. -Que su ensamble y puesta en marcha sea de bajo costo. -Resistente a la corrosión de los materiales que están en contacto con el solvente. - Que sea resistente estructuralmente -Que tenga bajos costos de consumo energético y que se fácil de operar. -Que tenga bajos costos de inversión. -Que sea fácil la realización de su mantenimiento. -Que el desgaste de sus piezas en el sistema mecánico implementado sea casi nulo. -Que tenga un modelo de ventilación. 	<ul style="list-style-type: none"> -Que cumpla con la demanda del mercado. -Que cumpla con todo los pasos para el procesamiento del polipropileno ambientales de las leyes nacionales que rigen nuestra sociedad. -Que el solvente evaporado en el proceso de secado no sea un peligro para el ecosistema.
Funciones	
<ul style="list-style-type: none"> -Lograr separar el solvente en su totalidad de las paredes del material molido -La temperatura emitida entre la cantidad que puede ser secada por minuto. 	

Fuente. Los autores.

➤ Listado de objetivos según su jerarquía.

Los objetivos enunciados posteriormente cumplen con las necesidades previstas, son clasificados según su jerarquía y están identificados según la orientación de la actividad que cumplirán durante el proceso.

Tabla 23. Listado de objetivos según su jerarquía.

1.Costos	2.Diseño	3.Logística	4.Medio Ambiente
1.1 Que tenga bajos costos de inversión	2.1 Resistente a la corrosión de los materiales a utilizar	3.1 Que sea fácil de operar	4.1 Que no genere un impacto negativo en el medio ambiente
1.2 Que tenga bajos costos de consumo energético	2.2 Que sea resistente estructuralmente	3.2 Que tenga un modelo de ventilación	4.2 Que genere bajo nivel de ruido
1.3 Que las temperaturas empleadas en el proceso no degraden el material	2.3 Que sea fácil su mantenimiento	3.3 Que sea fácil de transportar	
1.4 Que las piezas utilizadas en su construcción sean económicas	2.4 Que el desgaste de sus piezas en el sistema mecánico implementado sea casi nulo	3.4 Que no se degrade el material en el proceso de secado	
1.5 Que su ensamble y puesta en marcha sea de bajo costo	2.5 Que el material secado no pierda sus propiedades mecánicas durante el proceso	3.5 Que cumpla con la demanda del mercado	

Fuente. Los autores.

- El impacto de los objetivos sobre el diseño de la máquina es valorado de acuerdo al criterio del director de tesis y los autores. Los aspectos que enmarcan esta evaluación son: costos, diseño, logística y medio ambiente, promediando valores comprendidos en una escala de uno al cinco.

El valor numérico según el grado de importancia para cada objetivo se valoró de la siguiente manera. Cada autor de tesis según sus criterios de ingeniería dio un valor dentro de la escala descrita anteriormente en compañía del director de tesis, luego se sacó la media dentro de estos tres valores y se designó la línea diagonal que es igual al grado de importancia total que tiene cada objetivo de primer nivel frente a los demás objetivos que conforman el grupo de primer nivel. Realizando esta misma operación para los objetivos de segundo nivel. Y de esta misma forma luego fueron llevados a la matriz de ponderación.

Ejemplo de cómo se realizó la valoración para determinar el valor de los objetivos de primer nivel.

Valoración para el objetivo de segundo nivel de diseño frente a diseño.

Ingeniero. Wilmer Velilla Diaz: 3

Estudiante Yeison Rodriguez Maza: 3

Estudiante. Hamer Chica Larios: 3

La media de este objetivo es de: $3+3+3= 9/3 = 3$

Este proceso de valoración se realizó para todos los objetivos de primer nivel y segundo nivel teniendo siempre presente las características que debe guardar cada objetivo frente a las necesidades del cliente.

NOTA: los valores de las calificaciones son los siguientes: 1.Bajo, 3.Medio y 5.Alto.

Tabla 24. Objetivos de primer nivel.

Factores	1.Costos	2.Diseño	3.Logística	4.Medios Ambiente	Total (fila)	Peso
1.Costo	3.5	4	3	4	14.5	0.38
2.Diseño	0.25	3.5	4	4	11.75	0.30
3.Logística	0.33	0.25	3.5	4	8.08	0.21
4.Medio Ambiente	0.25	0.25	0.25	3.5	4.25	0.11
				TOTAL	38.58	1.00

Fuente. Los autores.

Tabla 25. Objetivos de segundo nivel para los costos.

Costos							0.38		
critérios	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	Total F	Peso R	Peso A	
1.1	4	4	3	4	4	19	0.34	0.1292	
1.2	0.25	4	2	3	4	13.25	0.24	0.0912	
1.3	0.33	0.5	4	3	2	9.83	0.18	0.0684	
1.4	0.25	0.33	0.33	4	3	7.91	0.14	0.0532	
1.5	0.25	0.25	0.5	0.33	4	5.33	0.1	0.038	
					Total	55.32	1.00	0.38	

Fuente. Los autores.

Tabla 26. Objetivos de segundo nivel para el diseño.

Diseño						0.30		
critérios	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	Total F	Peso R	Peso A
2.1	3	3	3	3	4	16	0.33	0.11
2.2	0.33	3	3	3	3	12.33	0.25	0.075
2.3	0.33	0.33	3	3	2	8.66	0.18	0.054
2.4	0.33	0.33	0.33	3	3	6.99	0.14	0.042
2.5	0.25	0.33	0.5	0.33	3	4.41	0.09	0.027
					Total	48.39	1.00	0.31

Fuente: Los autores.

Tabla 27. Objetivos de segundo nivel para la logística.

Logística							0.21		
critérios	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	Total F	Peso R	Peso A	
3.1	4	4	3	3	3	17	0.31	0.0651	
3.2	0.25	4	3	3	3	13.25	0.244	0.05124	
3.3	0.33	0.33	4	3	3	10.66	0.198	0.04158	
3.4	0.33	0.33	0.33	4	3	7.99	0.15	0.0315	
3.5	0.33	0.33	0.33	0.33	4	5.32	0.098	0.02058	
					Total	54.22	1.00	0.21	

Fuente. Los autores.

Tabla 28. Objetivos de segundo nivel para el medio ambiente.

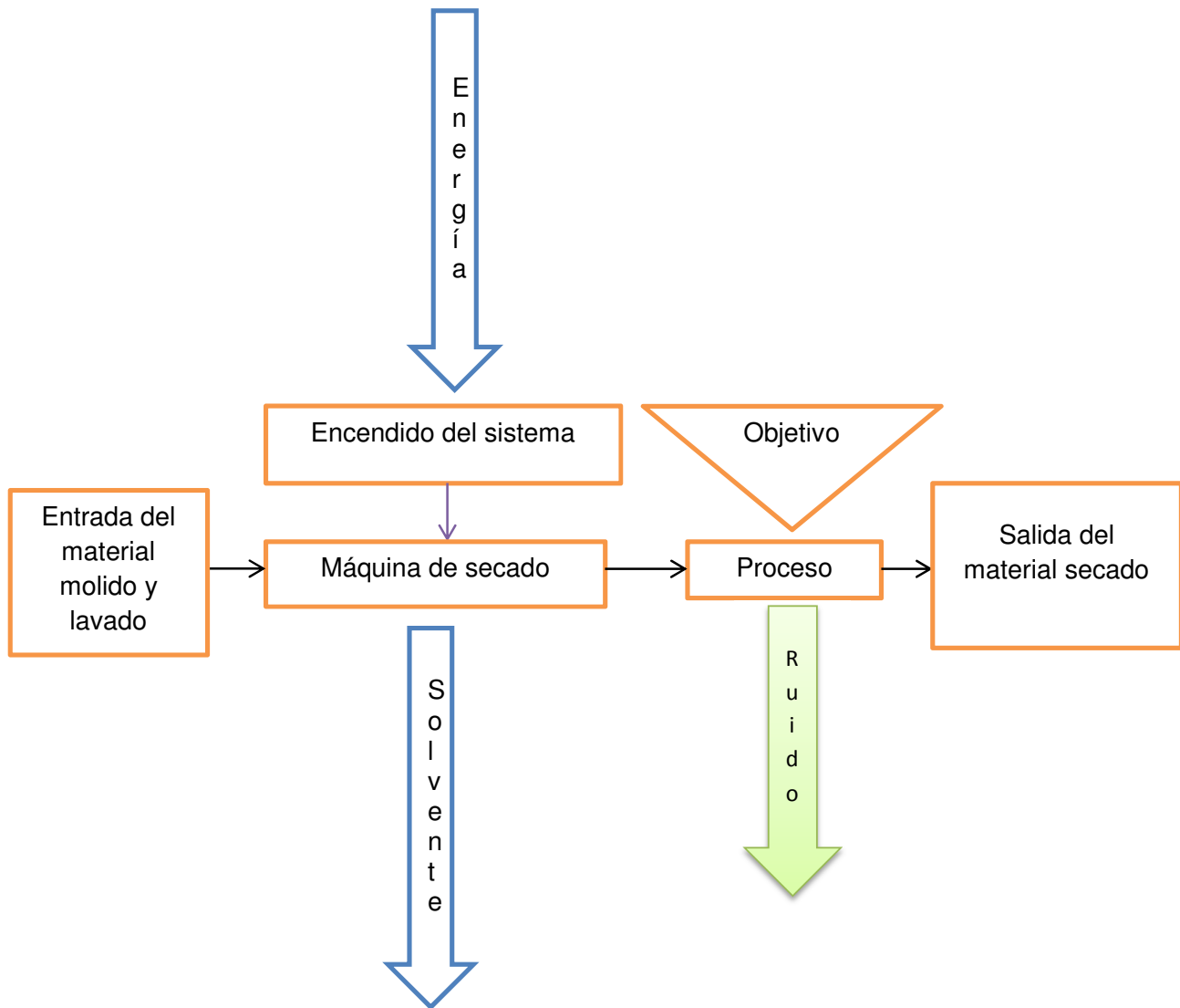
Medio Ambiente				0.11	
critérios	4.1	4.2	Total Fila	Peso R	Peso A
4.1	4	4	8	0.65	0.0715
4.2	0.25	4	4.25	0.35	0.0385
		Total	12.25	1.00	0.11

Fuente. Los autores.

➤ Diagrama de funciones.

El diagrama de funciones es donde se puede apreciar cómo están involucrados cada factor que conforman el proceso de secado por medio de un diagrama de flujo, que tiene una ruta de proceso para describir cómo es el desarrollo que se debe llevar a cabo para que la interacción de todos los elementos que intervienen desde el ingreso del material húmedo hasta la salida del material secado sea un éxito.

Figura 27. Funciones del proceso.



Fuente. Los autores.

➤ Especificaciones.

A continuación se presenta una tabla donde cada necesidad tiene un valor para apreciar de forma más clara su significado dentro del proceso.

Tabla 29. Nivel de importancia según las especificaciones del cliente.

Cantidad	Necesidades	Importancia
1	Que tenga bajos costos de inversión	12.3%
2	Que no se degrade el material en el proceso de secado	11.8%
3	Que el material secado no pierda sus propiedades mecánicas durante el proceso	9.1%
4	Que tenga un modelo de ventilación	6%
5	Que no genere un impacto negativo en el medio ambiente	6%
6	Que tenga bajos costos de consumo energético	6%
7	Que las piezas utilizadas en su construcción sean económicas	6%
8	Que su ensamble y puesta en marcha sea de bajo costo	5.2%
9	Que el desgaste de sus piezas en el sistema mecánico implementado sea casi nulo	5.3%
10	Resistente a la corrosión de los materiales a utilizar	5.1%
11	Que sea resistente estructuralmente	5.0%
12	Que cumpla con la demanda del mercado	5.0%
13	Que sea fácil su mantenimiento	4.9%
14	Que sea fácil de operar	4.5%
15	Que sea fácil de transportar	4.0%
16	Que genere bajo nivel de ruido	3.5%
17	Que las temperaturas empleadas en el proceso no degraden el material	2.7%

Fuente: Los autores.

➤ Lluvia de ideas. Se presentan las posibles alternativas con el fin de seleccionar la que cumpla con el mayor grado de las funciones requeridas por el cliente.

Tabla 30. Alternativas desarrolladas en el proyecto.

Listado de alternativas			
Alternativa		Imagen	Características
Cant			
1	Sistema de secado por combustión		Tiene la capacidad de evaporar una gran cantidad de humedad del material lavado pero es un riesgo por el tipo de solvente utilizado en el proceso de lavado.
2	Sistema de rotativo		Puede secar una cantidad de material lavado considerable pero su consumo energético es bastante elevado.
3	Sistema de secado solar		Puede secar grandes cantidades de material lavado pero su costo de fabricación es elevado y el tiempo de secado es mayor frente a los otros dos sistemas.

4	Sistema de secado por energía eléctrica		Puede lavar grandes cantidades de material lavado en poco tiempo y con un consumo eléctrico considerable.
---	---	--	---

Fuente. Los autores.

➤ Pesos ponderados.

En esta etapa se evalúa y se selecciona la alternativa que presente mayor rendimiento frente a las funciones requeridas por los criterios mencionados en el desglose metodológico del proceso, evaluando cada perspectiva de proyección que pueda ser desarrollada sobre la maquina en la automatización de la misma en un futuro.

Tabla 31. Ponderación de los objetivos.

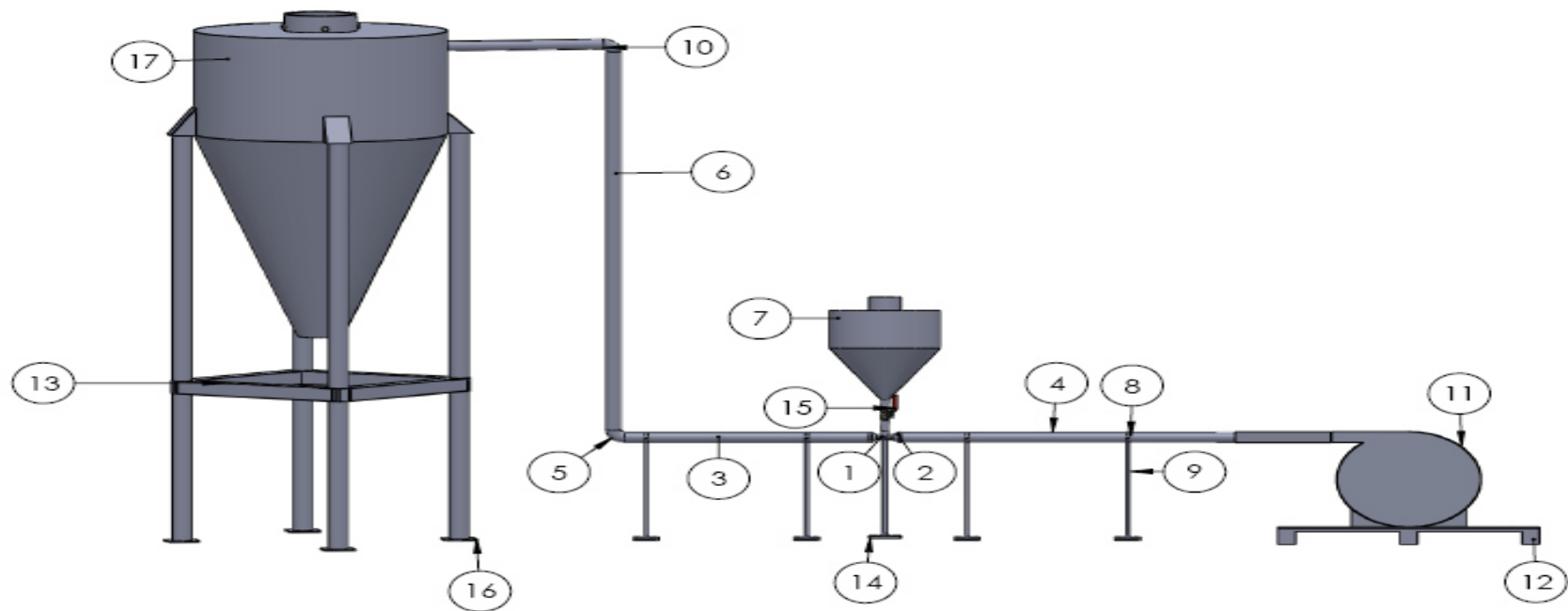
Características de evaluación			Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3		Alternativa 4	
Categoría	Objetivo	Ponderación	Apreciación	Ponderado	Apreciación	Ponderado	Apreciación	Ponderado	Apreciación	Ponderado
	1.1	0,1292	4	0,5168	4	0,5168	1	0,1292	4	0,3876
	1.2	0,0912	4	0,3648	3	0,2736	1	0,0912	4	0,3648
Costo	1.3	0,0684	4	0,2736	3	0,2052	2	0,1368	4	0,2736
	1.4	0,0532	4	0,2128	2	0,1064	2	0,1064	4	0,1596
	1.5	0,038	4	0,152	4	0,152	1	0,038	4	0,152
	2.1	0,11	3	0,33	3	0,33	3	0,33	3	0,44
	2.2	0,075	3	0,225	3	0,225	3	0,225	3	0,3
Diseño	2.3	0,054	3	0,162	3	0,162	3	0,162	3	0,216
	2.4	0,042	3	0,126	3	0,126	3	0,126	3	0,126
	2.5	0,027	3	0,081	3	0,081	2	0,054	3	0,081
	3.1	0,0651	4	0,2604	4	0,2604	3	0,1953	4	0,2604
	3.2	0,05124	4	0,20496	3	0,15372	3	0,15372	4	0,20496
Logística	3.3	0,04158	4	0,16632	3	0,12474	3	0,12474	4	0,16632
	3.4	0,0315	4	0,126	3	0,0945	3	0,0945	4	0,0945
	3.5	0,02058	4	0,08232	3	0,06174	3	0,06174	4	0,06174
Medio ambiente	4.1	0,0715	4	0,286	4	0,286	5	0,3575	4	0,3575
	4.2	0,0385	4	0,154	3	0,1155	5	0,1925	4	0,1925
totales				3,724		3,2746		2,8645		3,83852

Fuente. Los autores.

Al evaluar las alternativas la solución más prometedora es la numero 4 “sistema de secado por energía eléctrica” porque durante el secado de material molido puede evaporar grandes cantidades del solvente situado en las superficie de las mismas y el estudio costo/beneficio ratifica esta afirmación.

9.4.2. Diseño conceptual y detalle de la máquina de secado.

Figura 28. Máquina de secado.



Fuente. Los autores

Tabla 32. Piezas de la máquina de secado.

N.º DE ELEMENTO	PIEZAS	MATERIAL	CANTIDAD
1	Te	AISI 304	1
2	Reduccion	AISI 304	2
3	Tuberia horizontal	AISI 304	1
4	Tuberia inclinada	AISI 304	1
5	Codo 90	AISI 304 (Comercial)	2
6	Tuberia vertical	AISI 304	1
7	tolva	AISI 304	1
8	vinchas de soportes	ACERO 1020 (Comercial)	4
9	Soporte tubería abajo	ACERO 1020	4
10	Tuberia horizontal	AISI 304	1
11	ventilador	N.A	1
12	Base ventilador	ACERO 1020	1
13	Pie amigo	ACERO 1020	1
14	soporte tee	ACERO 1020	1
15	Vavula de globo	COMERCIAL	1
16	Base soporte ciclon	ACERO 1020	4
17	Ciclon	AISI 304	1

Fuente. Los autores.

Teniendo una idea física de cómo será la estructura de la máquina de secado se procede al análisis ingenieril que permita definir medidas y dimensiones. La figura 28 muestra el número de partes que la conforman y en la tabla 32 se ilustra el nombre de cada una de las piezas y el material por el que se recomienda construir cada una de estas.

➤ Cálculos de la máquina de secado.

- Datos del diseño.

Cantidad de material a transportar = 39 lbs/min

Densidad del material a transportar = 88lbs/pie³

Numero de codos = 2

Longitud del ducto vertical = 7,3 pies

Longitud del ducto horizontal = 9 pies

Temperatura promedio de barranquilla = 29°C = 84°F

Altura sobre el nivel del mar de barranquilla = 7,5 Km = 24606 pies

- Densidad.

Densidad estándar del aire = 0.075 lbs/pies³

Temperatura estándar = 70°F

Presión estándar = 14,7 Psi

- Temperatura absoluta.

$$\text{Temp abs} = \text{Temp Rankine} = (\text{Temp Fahrenheit} + 460)$$

Ecuación 17. Densidad corregida por temperatura.

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{T_1}{T_2}$$

Donde:

ρ_2 = densidad corregida por temperatura

ρ_1 = densidad estandar del aire

T_1 = temperatura estandar del aire (70 + 460)

T_2 = temperatura ambiente (84 + 460)

Remplazando entonces:

$$\rho_2 = (70 + 460) * \frac{0.075}{84 + 460}$$

$$\rho_2 = 0.07306 \text{ lbs/pie}^3$$

- Presión absoluta.

Presión absoluta = presión barométrica + PSIG

Ecuación 18. Densidad absoluta.

$$\frac{\rho_A}{\rho_1} = \frac{P_2}{P_1}$$

Dónde:

ρ_A = densidad absoluta del aire, corregida por temperatura y presión

ρ_1 = densidad corregida por temperatura

p_1 = presión sobre el nivel del mar = 14,7 psi

p_2 = presión para la ciudad de Barranquilla sobre el nivel del mar = 13,42 psi

Remplazando tenemos:

$$\rho_A = 13,42 * \frac{0.07306}{14,7}$$

$$\rho_A = 0.0667 \text{ lbs/pe}^3$$

La temperatura mínima de secado durante el funcionamiento de la máquina es de 60°C ya que el solvente último de lavado es el thinner y tiene una temperatura de ebullición de 60 °C. Tendremos en cuenta esta temperatura para determinar la densidad del aire en operación.

$$\text{Temperatura de trabajo} = T_t = 60^\circ\text{C} = 140^\circ\text{F}$$

Entonces:

$$\rho_t = (84 + 460) * 0.0667 / (140 + 460)$$

$$\rho_t = 0.0605 \text{ lbs/pe}^3$$

Figura 28. Presión según la altitud.

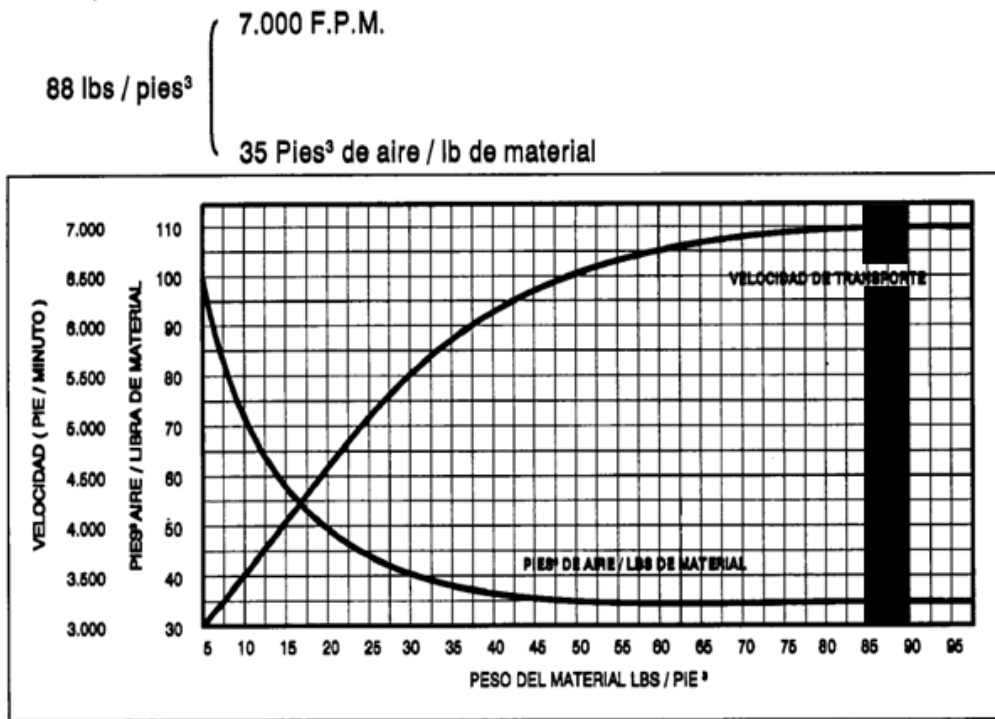
ELEVACION FT	BAROMETRO		ELEVACION FT	BAROMETRO		ELEVACION FT	BAROMETRO	
	" H ₂ O	P.S.I.		" H ₂ O	P.S.I.		" H ₂ O	P.S.I.
0	29,92	14,70	4.000	25,84	12,70	8.000	22,22	10,92
100	29,81	14,65	4.100	25,74	12,65	8.100	22,14	10,88
200	29,71	14,60	4.200	25,65	12,60	8.200	22,05	10,83
300	29,60	14,54	4.300	25,55	12,55	8.300	21,97	10,79
400	29,49	14,49	4.400	25,46	12,51	8.400	21,89	10,75
500	29,38	14,43	4.500	25,38	12,46	8.500	21,80	10,71
600	29,28	14,39	4.600	25,27	12,42	8.600	21,72	10,67
700	29,17	14,33	4.700	25,17	12,37	8.700	21,64	10,63
800	29,07	14,28	4.800	25,08	12,32	8.800	21,55	10,59
900	28,96	14,23	4.900	24,99	12,28	8.900	21,47	10,55
1.000	28,86	14,18	5.000	24,89	12,23	9.000	21,38	10,50
1.100	28,75	14,12	5.100	24,80	12,18	9.100	21,30	10,46
1.200	28,65	14,08	5.200	24,71	12,14	9.200	21,22	10,43
1.300	28,54	14,02	5.300	24,61	12,09	9.300	21,14	10,39
1.400	28,44	13,97	5.400	24,52	12,05	9.400	21,06	10,35
1.500	28,33	13,92	5.500	24,43	12,00	9.500	20,98	10,31
1.600	28,23	13,87	5.600	24,34	11,96	9.600	20,90	10,27
1.700	28,13	13,82	5.700	24,25	11,91	9.700	20,82	10,23
1.800	28,02	13,77	5.800	24,16	11,87	9.800	20,74	10,19
1.900	27,92	13,72	5.900	24,07	11,83	9.900	20,66	10,15
2.000	27,82	13,67	6.000	23,98	11,78	10.000	20,58	10,11
2.100	27,72	13,62	6.100	23,89	11,74	10.100	20,50	10,07
2.200	27,62	13,57	6.200	23,80	11,69	10.200	20,42	10,03
2.300	27,52	13,52	6.300	23,71	11,65	10.300	20,34	9,99
2.400	27,41	13,47	6.400	23,62	11,60	10.400	20,26	9,95
2.500	27,31	13,42	6.500	23,53	11,56	10.500	20,18	9,91
2.600	27,21	13,37	6.600	23,44	11,52	10.600	20,10	9,88
2.700	27,11	13,32	6.700	23,35	11,47	10.700	20,02	9,84
2.800	27,01	13,27	6.800	23,26	11,43	10.800	19,95	9,80
2.900	26,91	13,22	6.900	23,17	11,38	10.900	19,87	9,76
3.000	26,81	13,17	7.000	23,09	11,34	11.000	19,79	9,72
3.100	26,72	13,13	7.100	23,00	11,30	11.100	19,71	9,68
3.200	26,62	13,08	7.200	22,91	11,26	11.200	19,64	9,65
3.300	26,52	13,03	7.300	22,82	11,21	11.300	19,56	9,61
3.400	26,42	12,98	7.400	22,74	11,17	11.400	19,48	9,57
3.500	26,32	12,93	7.500	22,65	11,13	11.500	19,40	9,53
3.600	26,23	12,89	7.600	22,56	11,08	11.600	19,33	9,50
3.700	26,13	12,84	7.700	22,48	11,04	11.700	19,25	9,46
3.800	26,03	12,79	7.800	22,39	11,00	11.800	19,18	9,42
3.900	25,94	12,74	7.900	22,31	10,96	11.900	19,10	9,38

Fuente. Hartzell. 1975. Fan engineering. 3^{ra} edición. Mc Graw Hill.

- Parámetros de diseño

De la figura 29 tomada del libro ingeniería de ventiladores, y con la densidad de la partícula o peso del material se encuentra la velocidad promedio de transporte y la cantidad de aire por libra de material.

Figura 29. Velocidad de transporte.



Fuente. Hartzell. 1975. Fan engineering. 3^{ra} edición. Mc Graw Hill.

- Calculo de los CFM.

CFM = flujo de material * pies³ de aire/ lb material

CFM = 39 lbs/min * 35 pies³ de aire/ lb material

CFM = 1365

Ecuación 19. Diámetro de la tubería.

$$V_a = \text{CFM} / A$$

Dónde:

V_a = velocidad promedio del aire en el ducto

CFM = cálculo de aire

A = área de la tubería

Se despeja el área y se reemplaza en la siguiente ecuación.

$$A = 1365/7000 = \pi * D^2 / 4 = 0.195 \text{ pie}^2$$

Entonces:

$$D = \sqrt{(4 * 0.195 / \pi)}$$

$$D = 0.498 \text{ pies} = 5.98 \text{ pulgadas}$$

$$\text{Normalizando: } D = 6 \text{ pulgadas} = 0.5 \text{ pies}$$

$$A = \pi * 0.5^2 / 4$$

$$A = 0.1963 \text{ pie}^2$$

Ecuación 20. Velocidad corregida del aire.

$$V_a = \text{CFM} / A$$

$$V_a = 1365 / 0.1963$$

$$V_a = 6954 \text{ CFM}$$

Ecuación 21. Velocidad de flotación.

$$VF = \sqrt{2g * \rho_p * V_p / (F_d * \rho_t * A_p)}$$

Dónde:

VF = velocidad de flotación en pies/Sg

G = aceleración debida a la gravedad 32.2 pies/Sg²

ρ_p = densidad de la partícula 88 lb/pie³

V_p = volumen de la partícula 0.000002774 pies³

F_d = coeficiente de arrastre dimensional 1 para cilindros

ρ_t = densidad de temperatura de trabajo 0.0605 lbs/pie³

A_p = área de la particular 0.000211 pie²

Remplazando se tiene:

$$VF = \sqrt{2 * 32.2 * 88 * 0.000002774} / 0.0605 * 0.000211$$

$$VF = 34.709 \text{ pie/Sg} = 2.08254 \text{ F.P.M.}$$

Ecuación 22. Velocidad relativa.

$$VR = VF (0.18 + 0.000065 * VA)$$

Dónde:

VF = velocidad de flotación

VA = velocidad del aire

Remplazando se tiene:

$$VR = 2082.54 (0.18 + 0.000065 * 6.954)$$

$$VR = 1.460 \text{ F.P.M.}$$

Ecuación 23. Velocidad del material.

Para productos verticales

$$VM = VA - VF$$

Para productos horizontales

$$VM = VA - VR$$

Remplazando las ecuaciones:

Ducto vertical:

$$VM = 6.954 - 2.08254 = 4.8714 \text{ F.P.M.}$$

Ducto horizontal:

$$VM = 6.954 - 1.460 = 5.494 \text{ F.P.M.}$$

Ecuación 24. Aire requerido de transporte.

$$WA = VA * A * \rho t$$

Dónde:

VA = velocidad del aire de acuerdo al material

A = área transversal del ducto

ρt = densidad de la temperatura de trabajo

Remplazando:

$$WA = 6.954 * 0.1963 * 0.0605$$

$$WA = 82.58 \text{ lbs/min}$$

Ecuación 25. Material de carga.

$$R = WM / WA$$

Remplazando.

$$R = 39 / 82.58 = 0.4723$$

Ecuación 26. Pies cúbicos de aire por libra de material.

$$PE = VA * A / WM$$

Remplazando:

$$PE = 6,954 * 0.1963 * 39$$

$$PE = 35 \text{ pie}^3/\text{lbs}$$

Ecuación 27. Altura de presión equivalente del aire para una pulgada de agua.

$$h = p / \gamma$$

Si tenemos el peso específico del agua a condiciones estándar 62.4 lbs/pie³. Peso de un pie o una pulgada de profundidad.

$$62.4 / 12 = 5.2 \text{ lbs}$$

Altura equivalente del aire para una pulgada de agua.

$$5.2 / 0.0605 = 86 \text{ pies}$$

Una pulgada de agua es igual a 86 pies de aire

Ecuación 28. Perdidas en tramos verticales.

$$SP1 = R * L$$

Reemplazando:

$$SP1 = 0.4723 * 7.3 = 3.45 \text{ pies}$$

Con base a la presión equivalente del aire para una pulgada de agua

$$SP1 = 3.45 * 1 \text{ pulgada de agua} / 86$$

$$SP1 = 0.040 \text{ Pulgada de agua}$$

Ecuación 29. Perdidas en tramos horizontales.

$$SP2 = R * L * Fr$$

Dónde:

R = relación del material de carga

L = tramo horizontal

Fr = coeficiente de fricción

Reemplazando:

$$SP2 = 0.4723 * 9 * 0.7$$

$$SP2 = 2.9754 \text{ pies}$$

Con base a la presión equivalente del aire para una pulgada de agua

$$SP2 = 2.9754 * 1 \text{ pulgada de agua} / 86$$

$$SP2 = 0.0346 \text{ Pulgada de agua}$$

Figura 30. Coeficiente de fricción.

MATERIALES	f	ρ libra/pie ³	MATERIALES	f	ρ libra/pie ³
Algodon	0,4	40	Hierba	0,6	11
Almidon (polvo)	1,0	35	Leche en polvo	1,0	40
Arena muy fina	0,6	100	Madera seca	0,4	23
Arroz	0,4	50	Maíz silvestre	0,4	45
Avena	0,4	26	Malta seca	0,4	32
Azufre pulverizado	1,0	50	Mica granulada	0,7	13
Bagazo húmedo	1,0	4	Piedra caliza		
Cacao (grano)	0,5	37	pulverizada	0,9	85
Café (granos verdes)	0,5	42	Pigmentos de oxidos		
Cáscara de Maíz	0,4	45	de hierro	0,8	25
Caucho granulado	0,7	23	Sal granulada	0,6	81
Cemento	0,8	95	Salvado	0,7	21
Cenizas	0,7	42	Soya molida	0,7	34
Coque pulverizado	0,7	25	Tabaco	0,4	16
Gérmén de maíz	0,5	25	Trigo	0,5	34
Gérmén de trigo	0,6	32	Yeso	1,0	142
Harina cereales	0,6	44			

Fuente. Hartzell. 1975. Fan engineering. 3^{ra} edición. Mc Graw Hill.

Ecuación 30. Perdidas por aceleración.

$$VP = (VM / 4.005)^2$$

En esta ecuación, para determinar la presión de velocidad; la constante es 4.005 es para condiciones de aire estándar, ósea 0.075 lbs/pie³, esta constante varia con la temperatura, altitud y densidad del aire caliente; en algunos casos si la masa especifica del aire tiene un valor diferente, podemos utilizar el valor de 4.000.

Cita el documento de ingeniería de ventilación para un codo de 90° dejando la velocidad q se asume es de 0.8 pies/min la velocidad de entrada, entonces después del primer codo para un radio largo con tubo pulido⁵⁵.

$$VM = 0.8 * 5.494 = 4.395 \text{ F.P.M.}$$

El material comienza en descanso y alcanza una velocidad de 5.494 F.P.M. en la corrida horizontal. Después del primer codo su velocidad caerá a 4.395 F.P.M. y su vertical de 7,3 pies alcanza una velocidad de 4.8714 F.P.M. al final del segundo codo su velocidad caerá.

$$VM = 0.8 * 4.8714 = 3.8971 \text{ F.P.M.}$$

Remplazando tenemos:

$$VP \text{ para } VM = (5.494 / 4.005)^2 = 1.8818 \text{ pulgadas de agua}$$

$$VP \text{ para } VM = (4.395 / 4.005)^2 = 1.2042 \text{ pulgadas de agua}$$

$$VP \text{ para } VM = (4.814 / 4.005)^2 = 1.4794 \text{ pulgadas de agua}$$

$$VP \text{ para } VM = (3.8871 / 4.005)^2 = 0.9421 \text{ pulgadas de agua}$$

⁵⁵ Hartzell. 1975. Fan engineering. 3^{ra} edición. Mc Graw Hill.

Se encontra que:

$$\text{VP salida de la tolva} = 1.8818 - 0.0 = 1.8818 \text{ pulgadas de agua}$$

$$\text{VP vertical} = 1.4794 - 1.2042 = 0.2752 \text{ pulgadas de agua}$$

$$\begin{aligned} \text{VP horizontal} &= 1.8818 - 0.9421 = 0.9397 \text{ pulgada de agua} \\ &= 3,0967 \text{ pulgadas de agua} \end{aligned}$$

La perdida por aceleración viene dada por la formula

$$\text{SP3} = \text{VP} * \text{R}$$

Remplazando:

$$\text{SP3} = 3.0967 * 0.4723 = 1.4625 \text{ pulgadas de agua}$$

Ecuacion 31. Perdidas por codos.

$$\text{VPcodo} * \text{R} * \text{Fc} * \pi$$

Dónde:

Fc = promedios coeficiente fricción en codos

VP codos = presión de velocidad en codos

R = relación carga material

Velocidad promedio:

$$\text{Codo 1} = (5.494 + 4.395) / 2 = 4.9445 \text{ F.P.M.}$$

$$\text{Codo 2} = (4.814 + 3.887) / 2 = 4.3505 \text{ F.P.M.}$$

Entonces:

$$\text{VP codo1} = (4.9445 / 4.005)^2 = 1.5242 \text{ pulgadas de agua}$$

$$\begin{aligned} \text{VP codo2} &= (4.3505 / 4.005)^2 = 1.1799 \text{ pulgadas de agua} \\ &= 2.7042 \text{ pulgadas de agua} \end{aligned}$$

El promedio del coeficiente de fricción en aceros es 0.4.

Remplazando se tiene:

$$\text{SP4} = 2.7 * 0.4723 * 0.4 * \pi$$

$$\text{SP4} = 1.6049 \text{ pulgadas de agua}$$

Ecuación 32. Perdidas debido al flujo de aire.

$$\text{Longitud del tubo} = 16.3 \text{ pies}$$

$$\text{Longitud equivalente de los codos} = 2 * 7 = 14 \text{ pies}$$

$$\text{Longitud total equivalente} = 30.3 \text{ pies}$$

$$SP5 = [(Nd * D + 10 * nc) VPa] / (N * Fc)$$

Dónde:

Nd = longitud total equivalente

D = diámetro del tubo en pies

Nc = número de codos de 90° = 2

VPa = velocidad de la cabeza = 3.0164 pulgadas de agua

N = pérdidas de fricción por velocidad de cabeza = 49

Fc = factor de seguridad = 1.53 para un tubo de 6 pulgadas

Remplazando se tiene:

$$SP5 = [30.3 * 0.5 + 10 * 2 * 3.0164] / 49 * 1.53$$

$$SP5 = 2.0238 \text{ pulgadas de agua}$$

Ecuación 33. Pérdidas totales Venturi.

$$SP6 = SPC + SPA$$

Dónde:

SP6 = pérdidas total Venturi

SPC = pérdidas de presión por contracción

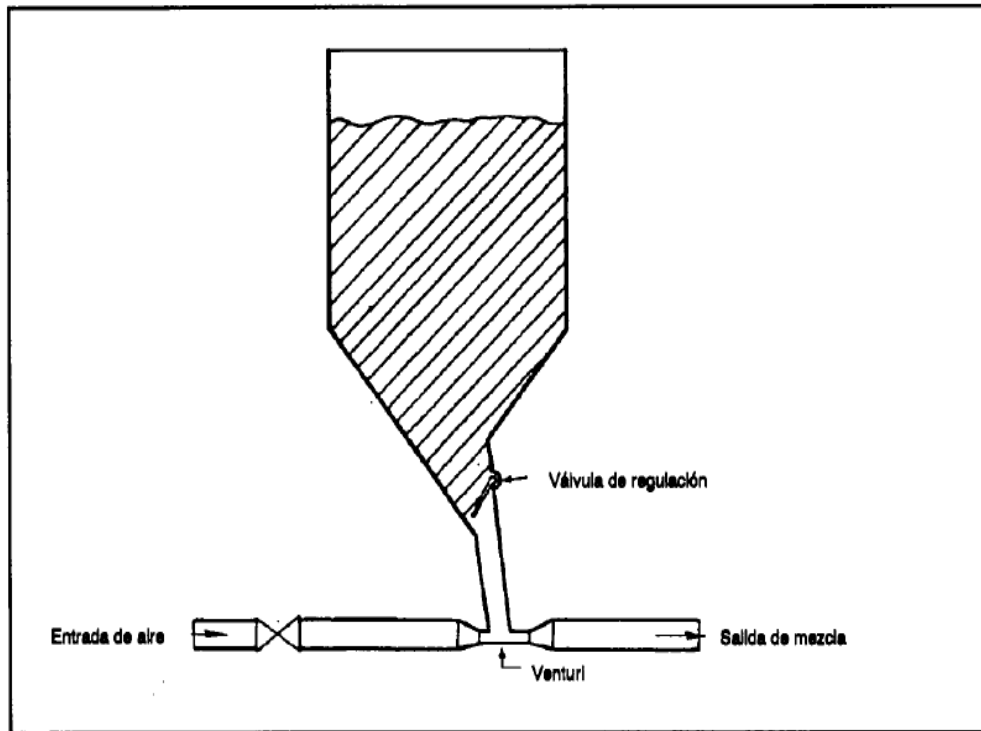
SPA = pérdidas de presión por ampliación

➤ Perdidas por contracción

Diámetro de entrada de contracción = 6 pulgadas

Diámetro de salida de contracción = 4 pulgadas

Figura 31. Deposito venturi.



Fuente. Jorge Rojas. 2004. Transporte neumático de partículas plásticas. Capítulo 6.

$$V_c = 6.954 * (6/4)^2 = 15.64 \text{ F.P.M.}$$

Reemplazando se tiene:

$$VP_c = (15.64 / 4.005)^2 = 15.26 \text{ pulgadas de agua}$$

$$VP = (6.954 / 4.005)^2 = 3.0148 \text{ pulgadas de agua}$$

Vemos que para este tipo de contracción a 60° las pérdidas para un ducto es de 0.30 veces la diferencia de la presión de la velocidad.

$$SP_c = 0.30 * (15.26 - 3.0148) = 3.6744 \text{ pulgadas de agua}$$

- Pérdidas por ampliación.

$$SPA = 1 * (15.26 - 3.0148) = 12.24 \text{ pulgadas de agua}$$

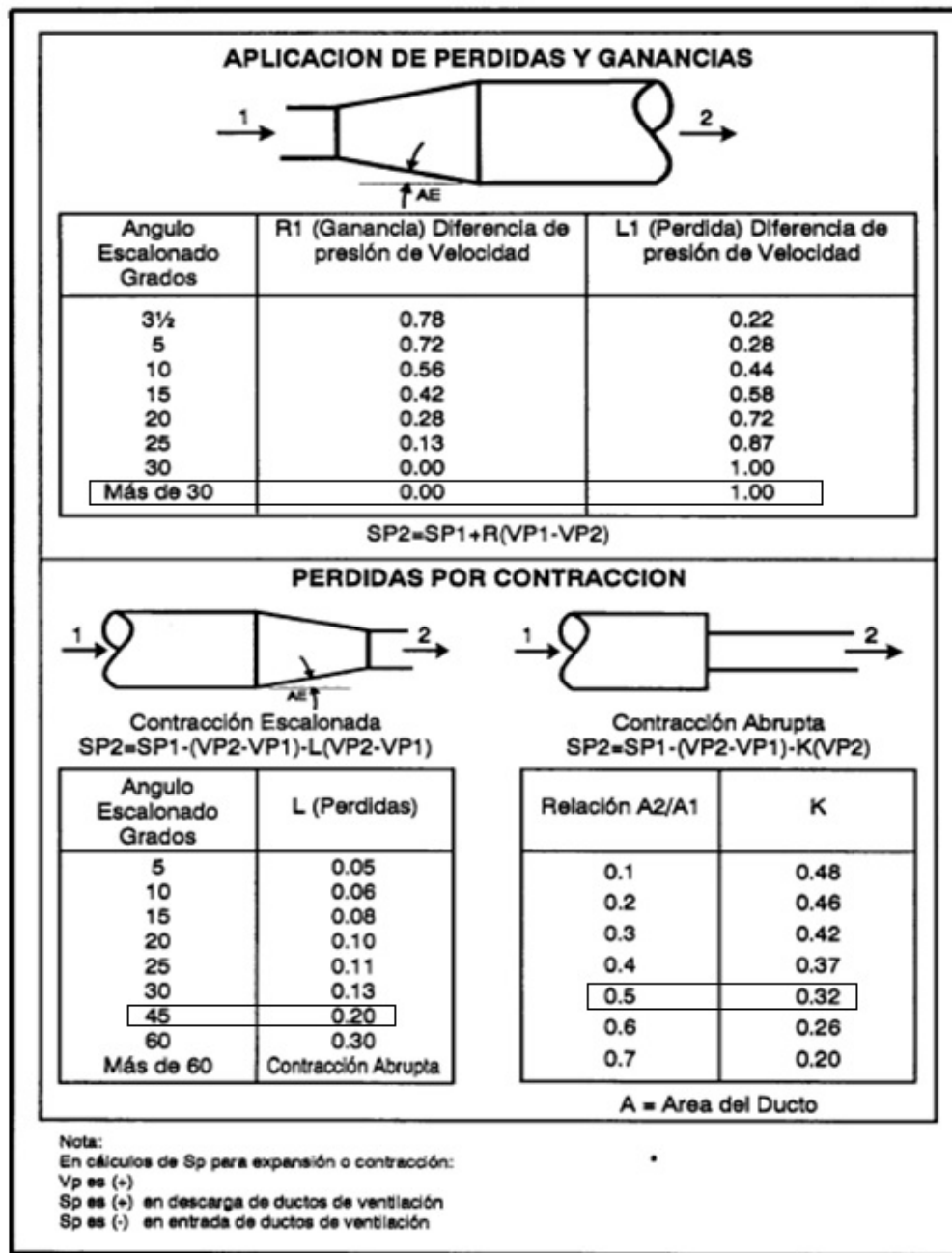
Reemplazando tenemos:

$$SP_6 = SP_c + SPA$$

$$SP_6 = 3.6744 + 12.24$$

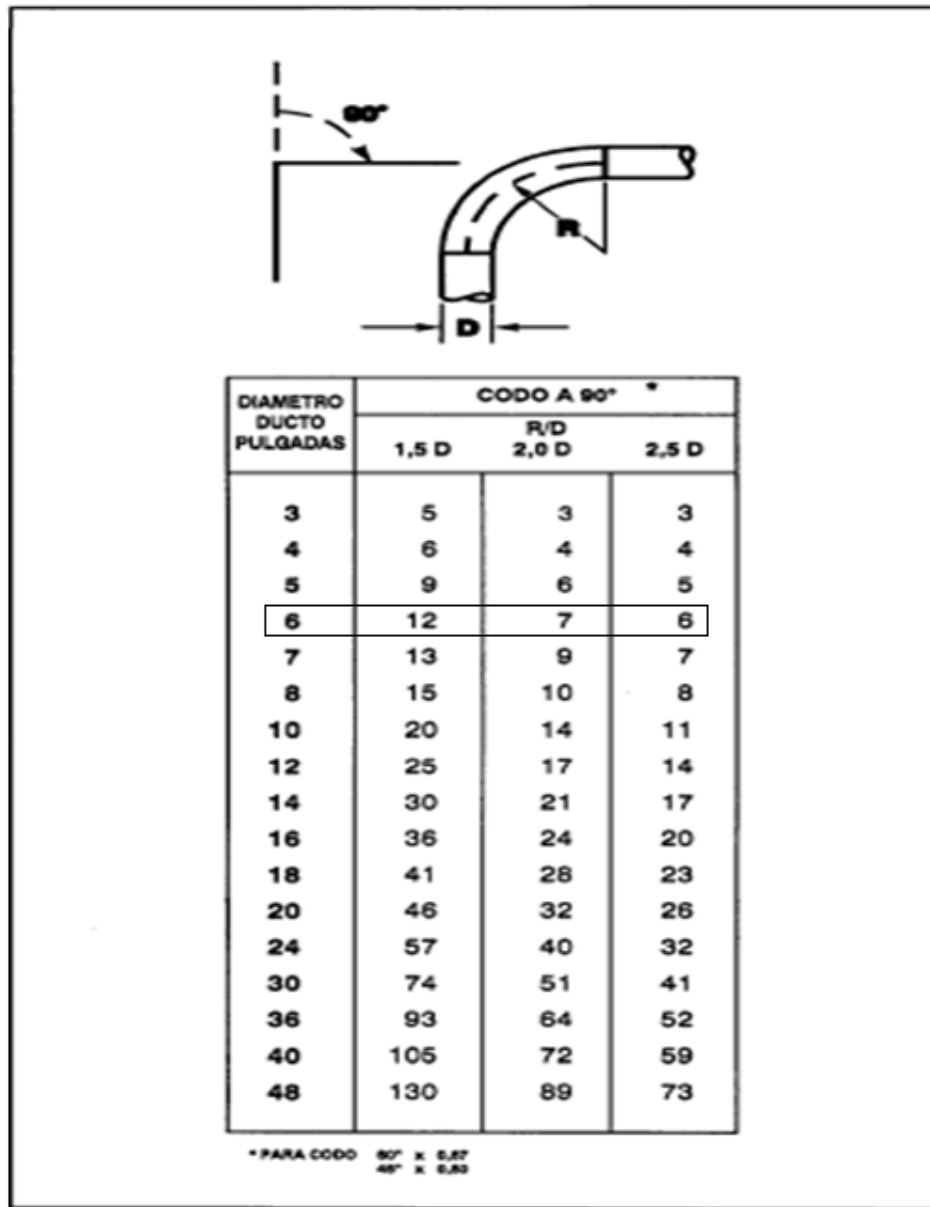
$$SP_6 = 15.9234 \text{ pulgadas de agua}$$

Figura 32. Ampliaciones y reducciones.



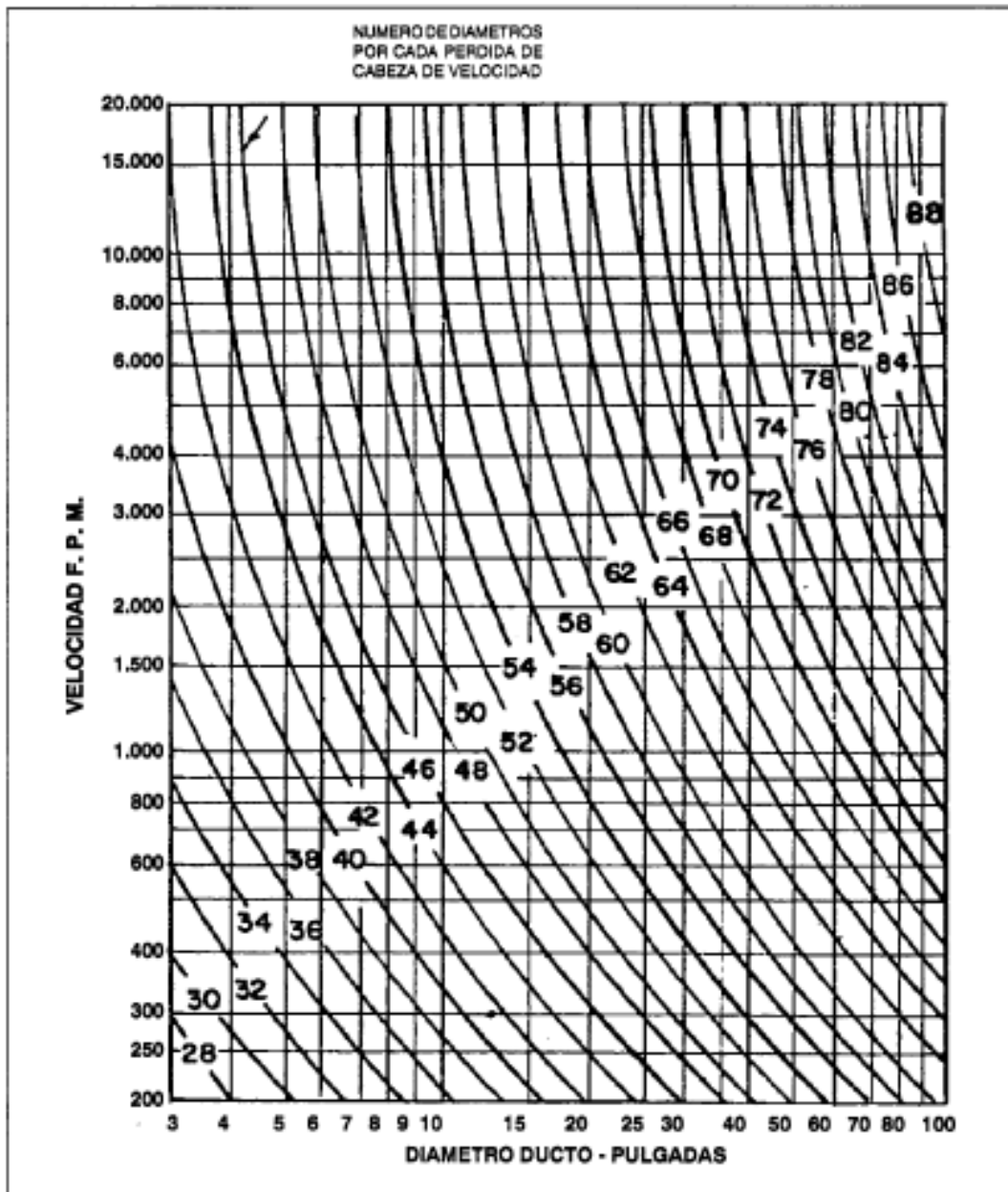
Fuente. Joseph L. nicholson. American industrial plastic. Harper's Magazine. 2007, p. 62.

Figura 33. Longitud equivalente para codos.



Fuente. Hartzell. 1975. Fan engineering. 3^{ra} edición. Mc Graw Hill.

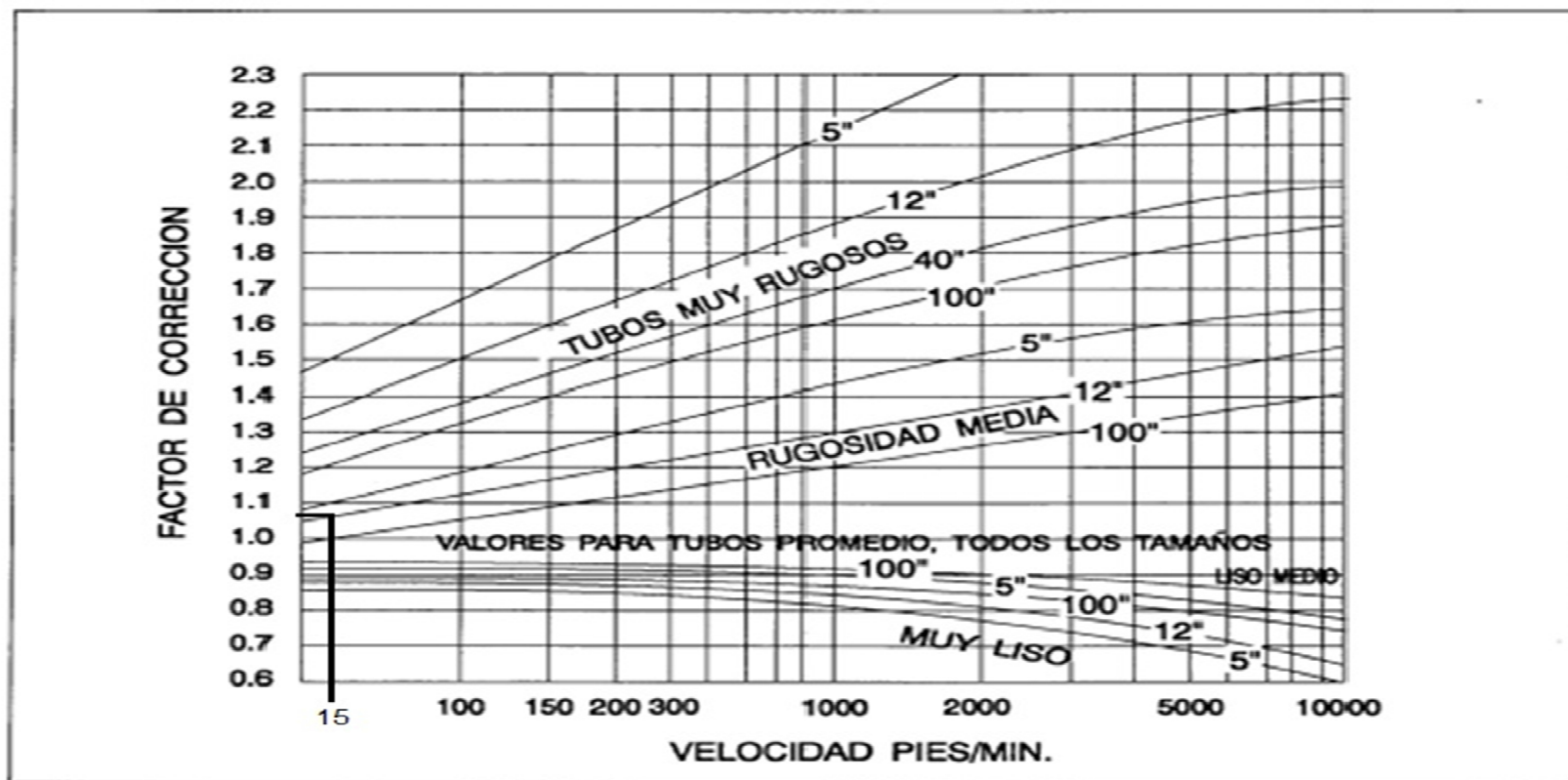
Figura 34. Perdidas en fricción en ductos por cabeza de velocidad.



Fuente. Francisco Cabrejo. 2006. Ventiladores y ductos industriales. Capítulo 4.

Como el sistema es alimentado por una tolva las perdidas de entrada pueden ser tomadas como cero.

Figura 35. Factores de corrección para ductos.



Fuente. Francisco Cabrejo. 2006. Ventiladores y ductos industriales. Capítulo 4.

Ecuación 34. Perdidas por ciclón.

$$TPc_{(70^{\circ}F)} = (Q / Q6)^2$$

Dónde:

$TPc_{(70^{\circ}F)}$ = caída de presión en pulgadas a condiciones estándar

Q = C.F.M.

Q6 = capacidad tubular de 6 pulgadas de caída de presión

Sino es aire estándar la caída de presión debe de ser calculada por la ecuación:

$$TPc = 4.08 \rho A^{0.84} * m^{0.61} * TPc_{(70^{\circ}F)}$$

Dónde:

$TPc_{(70^{\circ}F)}$ = caída de presión corregida en pulgadas de agua

ρA = densidad absoluta del aire lbs/pie³

m = viscosidad absoluta del gas en condiciones de operación lbs m/pie seg

TPc = caída de presión corregida en pulgadas de agua

Datos:

Q = 1.365 C.F.M.

Q6 = caudal superior utilizado 1.395 C.F.M.

Calculando tenemos:

$$(Q / Q6)^2 = (1.365 / 1.395)^2 = 0.9574$$

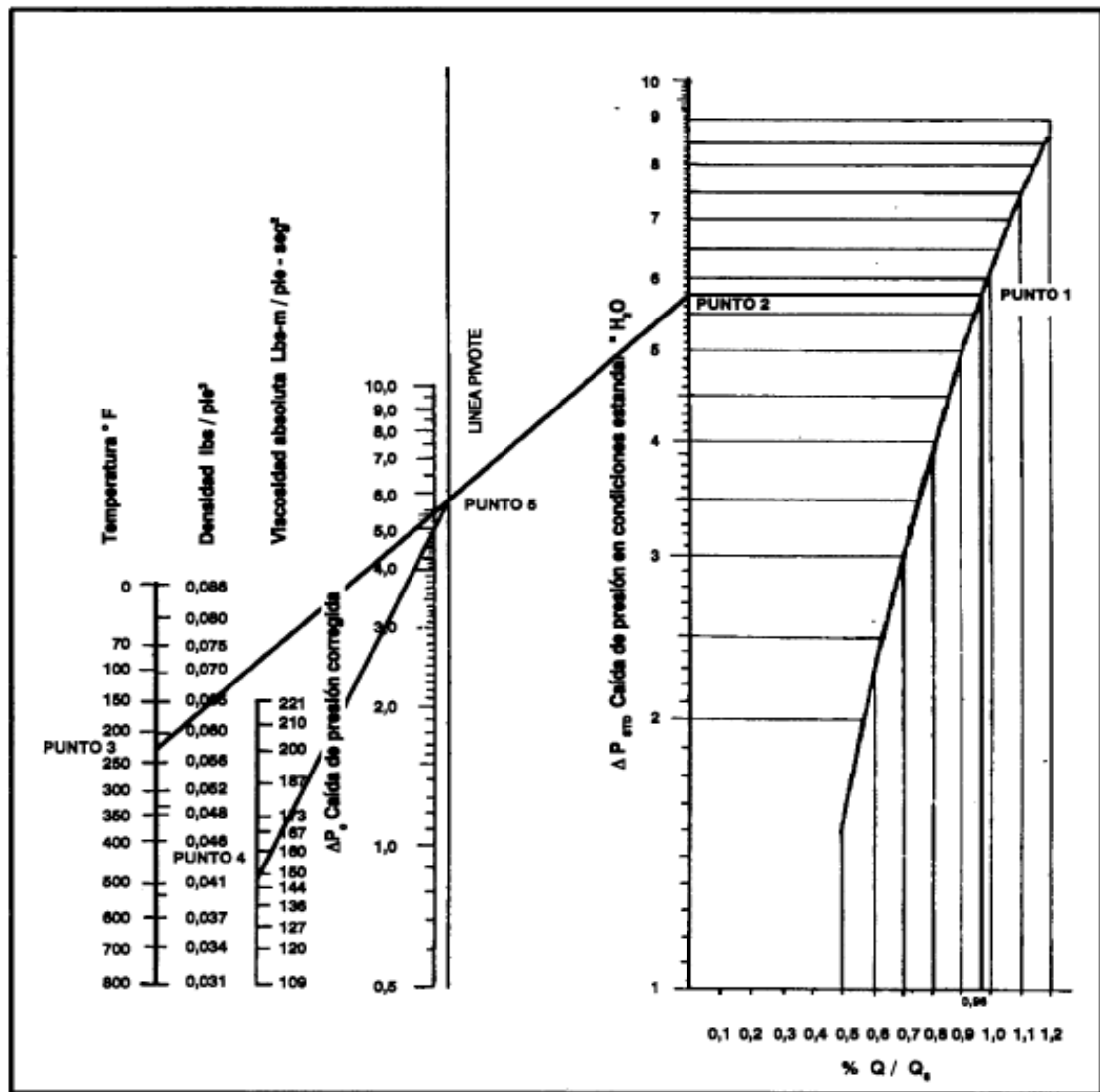
Figura 36. Capacidad de ciclones de 2 y 6 pulgadas de caídas de presión.

TAMAÑO	CAIDA DE PRESION 2,0"	CAIDA DE PRESION 6,0"
	CAPACIDAD C.F.M.	CAPACIDAD C.F.M.
40	60	104
55	106	184
65	166	288
80	239	415
95	325	565
105	424	738
120	537	934
135	663	1.153
145	802	1.395
160	955	1.660
175	1.121	1.949
185	1.300	2.260
200	1.492	2.594
215	1.697	2.952
225	1.916	3.332
240	2.091	3.736
255	2.393	4.162
265	2.652	4.612
280	2.924	5.085
295	3.209	5.581
305	3.507	6.099
320	3.819	6.641
335	4.143	7.206
345	4.482	7.794
375	5.198	9.040
400	5.967	10.377
425	6.789	11.807
455	7.664	13.329
480	8.592	14.943
505	9.573	16.649
535	10.608	18.448
560	11.695	20.339
585	12.835	22.322
615	14.028	24.397
640	15.275	26.565
665	16.574	28.825
695	17.926	31.177
720	19.332	33.621
745	20.790	36.158
775	22.303	38.787
800	23.867	41.508

Fuente. Humberto Jofre.2007. AAF ciclone.

Se localiza este valor en la escala de la viscosidad ósea: SP7 = 4.9 pulgadas de agua.

Figura 37. Caída de presión en ciclones en condiciones de operación.



Fuente. Humberto Jofre.2007. AAF ciclone.

Figura 38. Viscosidad del aire.

VISCOSIDAD	TEMPERATURA °F
109,0	0
120,3	70
127,0	100
136,0	150
144,0	200
150,0	250
160,0	300
167,0	350
173,0	400
187,0	500
200,0	600
210,0	700
221,0	800

Fuente. Humberto Jofre.2007. AAF ciclone.

Ecuación 35. Presión estática.

La presión estática es la sumatoria de todas las pedidas calculadas.

$$SP = SP1 + SP2 + SP3 + SP4 + SP5 + SP6 + SP7$$

$$SP = 0.040 + 0.0346 + 1.4625 + 1.6049 + 2.0238 + 15.9234 + 4.9$$

$$SP = 25.98 \text{ pulgadas de agua}$$

- Calculo del Ventiladores

Datos:

$Q = 1.365 \text{ C.F.M.}$

$SP = 25.98 \text{ pulgadas de agua}$

Factor de corrección

$Fc = 0.075 / \text{densidad del gas}$

$Fc = 0.075 / 0.0655 = 1.1450 = 1.15$

Ecuación 36. Perdidas corregidas del ventilador.

$$SP \text{ corregido} = SP \text{ real} * Fc$$

$SP \text{ corregido} = 25.98 * 1.15 = 29.75 \text{ pulgadas de agua}$

Ecuación 37. Perdidas reales del ventilador.

$SP \text{ real} = 29.9 / 1.15 = 26 \text{ pulgadas de agua}$

Ecuación 38. Potencia real del ventilador.

En nuestro medio los ventiladores se construyen con acero A36 la manzana en un Acero 1020 por lo tanto se requiere de una mayor potencia para su funcionamiento. Por el cambio de material se aumenta la potencia un 15%.

Figura 39. Ventiladores de 6 pulgadas.

6 II DESIGN 53														3.500 RPM	
Pressure Blowers															
SIZE	"SP BHP		"SP BHP		"SP BHP		"SP BHP		"SP BHP		"SP BHP		"SP BHP		
J4	53.0	11.4	53.7	12.5	54.1	13.5	54.1	14.5	53.8	15.5	53.5	16.8	52.7	18.0	
J3	48.8	10.6	50.1	11.4	50.3	12.4	50.4	13.3	50.3	14.3	50.2	15.3	49.6	16.2	
J2	47.6	9.9	47.8	10.7	48.2	11.6	48.3	12.5	48.2	13.1	47.7	14.4	46.7	15.3	
J1	44.2	8.9	44.5	9.6	44.5	10.6	44.4	11.4	43.8	12.0	43.3	13.2	42.4	14.1	
H4	44.9	8.7	44.7	9.6	44.4	10.6	43.9	11.7	43.3	12.6	42.2	14.1	41.0	16.4	
H3	43.0	8.2	42.6	9.1	42.2	10.1	41.5	11.0	40.8	11.9	39.8	13.3	38.8	15.5	
H2	40.5	7.6	40.2	8.6	39.8	9.5	39.0	10.4	38.2	11.1	37.1	12.4	36.0	14.4	
H1	38.0	7.1	37.6	8.1	37.2	8.9	36.5	9.7	35.7	10.4	34.6	11.6	33.5	13.4	
E4	36.6	6.7	35.9	7.4	35.2	8.1	34.0	8.8	33.0	9.4	31.5	10.1	29.5	10.9	
E3	33.8	6.3	33.1	6.8	32.0	7.6	30.8	8.3	29.5	8.7	28.1	9.1	26.3	9.7	
E2	31.4	5.9	30.5	6.4	29.5	7.1	28.4	7.8	26.9	8.1	25.1	8.9	23.0	9.5	
E1	28.2	5.3	27.3	5.8	26.2	6.4	24.7	6.8	23.3	7.3	21.7	7.7	20.2	8.7	
B6	25.9	5.0	25.6	5.4	25.3	5.8	24.9	6.5	24.3	6.9	23.5	7.2	22.4	7.9	
B4	23.0	4.2	22.8	4.6	22.2	5.1	21.8	5.5	21.0	5.9	20.3	6.5	19.4	6.8	
B3	20.8	3.8	20.4	4.2	20.0	4.6	19.5	5.0	18.7	5.3	17.9	5.8	16.5	6.3	
B2	18.3	3.4	17.8	3.8	17.1	4.1	16.5	4.5	15.8	4.8	14.8	4.9	13.6	5.3	
B1	15.1	2.9	14.7	3.3	14.0	3.5	13.4	3.8	12.6	4.3	11.7	4.4	10.3	4.6	
C.F.M.	800		900		1000		1100		1200		1300		1400		
O.V.	4000		4500		5000		5500		6000		6500		7000		

Fuente. Glen Ellyn Road. 1875. Chicago blower corporation.

$$\text{BHP} = 7.91 + 15\%$$

$$\text{BHP} = 9.09 = 9.1 \text{ HP}$$

Ecuación 39: eficiencia del ventilador.

$$E = Q * SP / 6.362 * \text{BHP}$$

Dónde:

Q = caudal en C.F.M.

SP = perdidas reales en pulgadas de agua

BHP = potencia del ventilador

Remplazando:

$$E = 1400 * 26 / 6.362 * 9 = 0.636$$

$$E = 63,6\%$$

- Sistema de limpieza de aire.

Diámetro del ciclón: área de entrada al ciclón: 0.1963 pie³

$$D1 = \sqrt{4 * r^3 * A / \pi}$$

r = D1/D2 recomendado 2,4 pulgadas

Como la entrada convencionalmente se encuentra localizada en dirección tangencial al cuerpo del ciclón. Para este sistema un radio de 2,4 pulgadas incrementa las pérdidas de presión logrando que el material llegue a su sitio de recolección por caída libre.

Remplazando:

$$D1 = \sqrt{4 * 2.4^3 * 0.1963 / \pi}$$

$$D1 = 1.8588 \text{ pies} = 22.3 \text{ pulgadas}$$

- Diámetro del ducto de escape.

$$D2 = D1/r = 1.8588 / 2.4 = 0.7745 \text{ pies} = 9.3 \text{ pulgadas}$$

- Diámetro del ducto de descarga inferior.

$$D3 = 4 \text{ pulgadas}$$

- Ancho de la entrada del ciclón.

$$A = \frac{1}{2} \text{ pies} = 6 \text{ pulgadas}$$

- Altura de la entrada del ciclón.

$$H1 = \frac{1}{2} \text{ pie} = 6 \text{ pulgadas}$$

- Longitud interna del ducto de escape.

$$H2 = h1 (r-1)^2 = 6 (2,4-1)^2 = 11.8 \text{ pulgadas}$$

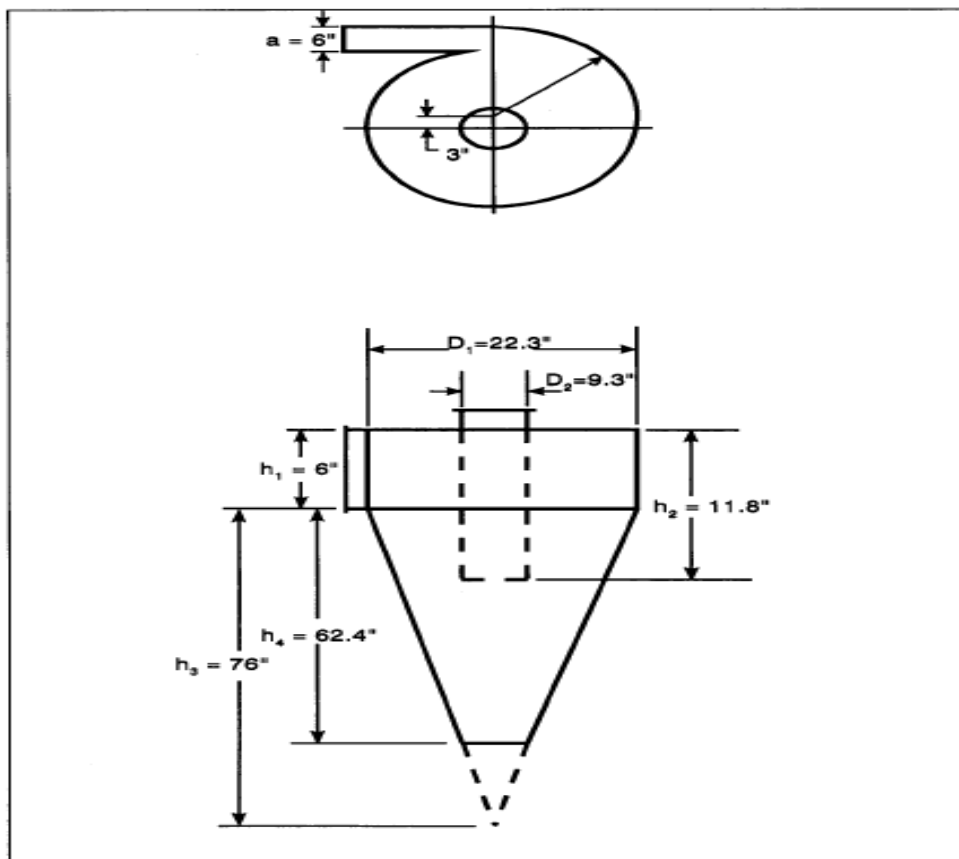
- Altura del cono.

$$H3 = h1 * r^2 = 6 * 2.4^2 = 34,6 \text{ pulgadas}$$

Ecuación 40. Altura del cono truncado.

$$H_4 = h_3 (D_1 - D_3) / D_1 = 34,6 (22,3 - 4) / 22,3 = 28,4 \text{ pulgadas}$$

Figura40. Dimensiones del ciclón.



Fuente. Los autores.

- Transferencia de calor

Calor suministrado por las resistencias=calor ganado por aire: $Q_r = Q_a$

Siendo calores másicos:

\dot{Q}_r = calor suministrado por las resistencias o potencia de las resistencias

\dot{Q}_a = calor ganado por el aire o potencia que requiere el aire para ser calentado a una temperatura de 90° C

Ecuación 41. Potencia para un gas ideal.

$$\dot{Q}_a = \dot{m} * C_p * \Delta T$$

Dónde:

\dot{Q}_a = potencia

\dot{m} = flujo másico del aire

C_p = calor específico del aire

ΔT = diferencia de temperatura

$$\dot{Q}_a = \dot{m} * (C_{p1} * T_1 - C_p * T)$$

C_{p1} = calor específico a 194°F

T_1 = temperatura 90° C

C_p = calor específico a temperatura ambiente

T = temperatura ambiente 29°C

Como se sabe la densidad viene dada por:

$$\rho = m / v = \dot{m} / \dot{v}$$

Dónde:

m: masa de aire

v: volumen de aire

\dot{v} = flujo volumétrico = 1400 C.F.M.

Ecuación 42. Potencia activa.

$$\dot{Q}_a = P_a = \dot{V} * (\rho_1 * C_{p1} * T_1 - C_p * T \rho)$$

Siendo la densidad del aire a una temperatura de 90° C Y 29° C

$$\frac{\rho_1}{\rho} * \frac{T}{T_1}$$

Remplazando tenemos:

$$\rho_1 = 0.0655 * (84 + 460)/(194 + 460)$$

$$\rho_1 = 0.05448 \text{ lbs/pe}^3$$

Estado final

$$\rho_1 = 0.05448 \text{ lbs/pe}^3$$

$$C_{p1} = 0.2410 \text{ BTU/lbs } ^\circ\text{F}$$

$$T1 = 90^{\circ} \text{ C}, 194^{\circ} \text{ F}$$

Estado inicial

$$\rho_1 = 0.0655 \text{ lbs/pe}^3$$

$$Cp_1 = 0.2402 \text{ BTU/lbs } ^{\circ}\text{F}$$

$$T1 = 29^{\circ} \text{ C}, 84^{\circ} \text{ F}$$

Remplazando los valores en la ecuación quedaría.

$$Pr = 1400 * (0.0544 * 0.2410 * 194 - 0.0655 * 0.2402 * 84)$$

$$Pr = 1.71057 \text{ Btu/min} = 102.63 \text{ Btu/ horas}$$

$$Pr = 30.1 \text{ KW}$$

Figura 41. Propiedades del aire a presión atmosférica.

TEMPERATURA °F	ρ , lb/pie ³	C_p , BTU/lb °F	μ , lbs/seg pie $\times 10^{-4}$	ν , pie ² /seg $\times 10^{-4}$	k , BTU/h pie °F	α , pie ² /h	Pr
-280	0,2248	0,2452	0,4653	2,070	0,005342	0,09691	0,770
-190	0,1478	0,2412	0,6910	4,675	0,007936	0,2226	0,753
-100	0,1104	0,2403	0,8930	8,062	0,01045	0,3939	0,739
-10	0,0882	0,2401	1,074	10,22	0,01287	0,5100	0,722
80	0,0735	0,2402	1,241	16,88	0,01516	0,8587	0,708
170	0,0623	0,2410	1,394	22,38	0,01735	1,156	0,697
260	0,0551	0,2422	1,536	27,88	0,01944	1,457	0,689
350	0,0489	0,2438	1,669	31,06	0,02142	1,636	0,683
440	0,0440	0,2459	1,795	40,80	0,02333	2,156	0,680
530	0,0401	0,2482	1,914	47,73	0,02519	2,531	0,680
620	0,0367	0,2520	2,028	55,26	0,02692	2,911	0,680
710	0,0339	0,2540	2,135	62,98	0,02862	3,324	0,682
800	0,0314	0,2568	2,239	71,31	0,03022	3,748	0,684
890	0,0294	0,2593	2,339	79,56	0,03183	4,175	0,686
980	0,0275	0,2622	2,436	88,58	0,03339	4,631	0,689
1.070	0,0259	0,2650	2,530	97,68	0,03483	5,075	0,692
1.160	0,0245	0,2678	2,620	106,9	0,03628	5,530	0,696
1.250	0,0232	0,2704	2,703	116,5	0,03770	6,010	0,699
1.340	0,0220	0,2727	2,790	126,8	0,03901	6,502	0,702
1.520	0,0200	0,2772	2,955	147,8	0,04178	7,536	0,706
1.700	0,0184	0,2815	3,109	169,0	0,04410	8,514	0,714
1.880	0,0169	0,2860	3,258	192,8	0,04641	9,602	0,722
2.060	0,0157	0,2900	3,398	216,4	0,04880	10,72	0,726
2.240	0,0147	0,2939	3,533	240,3	0,05098	11,80	0,734
2.420	0,0138	0,2982	3,668	265,8	0,05348	12,88	0,741
2.600	0,0130	0,3028	3,792	291,7	0,05550	14,00	0,749
2.780	0,0123	0,3075	3,915	318,3	0,05750	15,09	0,759
2.960	0,0116	0,3128	4,029	347,1	0,0591	16,40	0,767
3.140	0,0110	0,3196	4,168	378,8	0,0612	17,41	0,783
3.320	0,0105	0,3278	4,301	409,9	0,0632	18,36	0,803
3.500	0,0100	0,3390	4,398	439,8	0,0646	19,05	0,831
3.680	0,0096	0,3541	4,513	470,1	0,0663	19,61	0,863
3.860	0,0091	0,3759	4,611	506,9	0,0681	19,92	0,916
4.160	0,0087	0,4031	4,750	546,0	0,0709	20,21	0,972

Fuente. Yunus A. cengel. 1985. Transferencia de calor y masa. 4^{ta} edición. Mc Graw Hill.

- Resistencia eléctrica.

Para todo circuito eléctrico, se asumen pérdidas eléctricas por calor, conductividad, generalmente estas se consideran en un 10% del total obtenido.

$$P_{\text{total}} = P_r + 10\%$$

$$P_{\text{total}} = 30.1 + 3.01 = 33.11 \text{ KW}$$

Figura 42. Propiedades de los metales para resistencias.

MATERIAL	COMPOSICION	DENSIDAD ESPECIFICA	MICROOHMS CENTIMETRO A 20°C	OHMS POR CIRCULAR A 20°C	COEFICIENTE DE TEMPERATURA DE RESISTENCIA POR °C	TEMPERATURA MAXIMA SEGURA DE TRABAJO	TEMPERATURA DE FUSION APROXIMADO °C
ADVANCE	Cu 0,55 Ni 0,45	8,9	40,0	294	0,00002	500	1.210
COMET	Ni 0,3 Cr 0,05 Fe 0,65	8,15	95,0	570	0,00088	600	1.480
HYTEMCO	Ni 0,5 Fe 0,5	8,46	20,0	120	0,0045	600	1.425
MAGNO	Ni 0,955 Mn 0,045	8,75	20,0	120	0,0036	400	1.435
MANGANIA	Cu 0,84 Mn 0,12 Ni 0,04	8,19	48,2	290	0,000015	100	1.020
METAL MONEL	Ni 0,67 Cu 0,28	8,9	42,6	256	0,00198	425	1.350
NICHROME	Ni 0,6 Fe 0,25 Cr 0,15	8,247	112,0	675	0,00017	930	1.350
NICHROME V	Ni 0,8 Cr 0,2	8,412	108,0	650	0,00013	1.100	1.400
NIQUEL PURO	Ni 0,99	8,9	10,0	60	0,0050	400	1.450

Fuente. Eugene A. Avallone. 1995. Manual del Ingeniero Mecánico. 9ª edición. Mc Graw Hill.

Figura 43. Diámetro de hilos de cobre para valores de corriente determinada.

CORRIENTE AMPERIOS	DIAMETRO		NUMERO DE GALGA B & S
	PULGADAS	MILIMETROS	
1	0,0021	0,053	43
2	0,0034	0,086	39
3	0,0044	0,112	37
4	0,0053	0,135	35
5	0,0062	0,158	34
10	0,0098	0,249	30
15	0,0129	0,328	28
20	0,0156	0,397	26
25	0,0181	0,461	25
30	0,0205	0,521	24
35	0,0227	0,577	23
40	0,0248	0,632	22
45	0,0268	0,684	21
50	0,0288	0,734	21
60	0,0325	0,827	20
70	0,0360	0,916	19
80	0,0394	1,000	18
90	0,0426	1,080	18
100	0,0457	1,160	17
120	0,0516	1,310	16
140	0,0572	1,460	15
160	0,0625	1,590	14
180	0,0676	1,720	14
200	0,0725	1,840	13
225	0,0784	1,990	12
250	0,0841	2,14	12
275	0,0897	2,28	11
300	0,0950	2,42	11

Fuente. Eugene A. Avallone. 1995. Manual del Ingeniero Mecánico. 9ª edición. Mc Graw Hill.

Ecuación 43. Corriente por fase.

Está determinada por la siguiente ecuación

$$I = P \text{ total} / (\sqrt{3} * V * \text{cosp})$$

Dónde:

$$P \text{ total} = \text{potencia KW} = 12 * 3.01 = 36.12 \text{ KW}$$

$$\sqrt{3} = \text{Constante}$$

$$V = \text{voltaje} = 220$$

$$\text{Cos } \varphi = \text{Angulo de desfase} = 1$$

Remplazando tenemos:

$$I = 36120 / (\sqrt{3} * 220 * 1)$$

$$I = 94.79 \text{ A}$$

Ecuación 44. Corriente por resistencia.

Viene dada por:

$$I_r = 3010/220 = 13.68 \text{ A}$$

10. CONCLUSIONES

La alternativa seleccionada para el lavado de probetas fue la química que permite recuperar el plástico que estaba contaminado de aceite en su totalidad sin que este pierda sus propiedades mecánicas y posteriormente ser reutilizado en la fabricación de nuevos productos, generando un panorama económico de mayores ingresos per capital para el país.

El solvente que se utilizara en el proceso del lavado químico es el thinner porque tiene la propiedad de tener un punto de ebullición bajo y por lo tanto se puede recuperar entre el 50% y el 60% por medio de una máquina de destilación entonces nuestro proceso pasaría hacer un ciclo continuo donde las perdidas serian mínimas teniendo un ahorro económico 30% frente a los otros dos solventes que se pueden utilizar en este proceso como lo son el ácido nítrico y el hidróxido de potasio. Por tratarse de un líquido inflamable hay que tener algunas precauciones al momento de llevar a cabo la ejecución y puesta en marcha del lavado dentro de la planta piloto de reciclaje plástico como lo son la temperatura, las revoluciones de la máquina y que el operario tenga siempre su dotación puesta y en excelente estado.

El sistema que se determinó para lavar las probetas de polipropileno RANDOM es el de agitación porque nos brinda mayor eficiencia en el lavado y en la salida del material, siendo la fabricación de esta máquina de bajo costo y todos los elementos que la componen se encuentran en el mercado local y su mantenimiento se puede dar en la totalidad de la misma ya que se puede desmontar por completo. El diseño se estableció teniendo en cuenta los dos factores que son determinantes en nuestro proceso como lo son la viscosidad y la densidad del aceite. La cantidad de material que puede lavar esta máquina es directamente proporcional a las dimensiones del tanque donde se almacenara el thinner y al peso que pueda soportar la canastilla de lavado porque la cantidad de solvente que se utilizara siempre debe ser 50% por encima del peso del material que va a ser lavado.

La cantidad de residuos plásticos generados por las empresas que se encuentran en la ciudad y sus alrededores generan un balance positivo diciendo que siempre se tendrá disponibilidad de materia prima, influyendo directamente en el impacto ambiental, reduciendo el volumen de los desechos plásticos. En la actualidad las campañas ambientales para la preservación del medio ambiente han logrado que el reciclaje de los plásticos tome mayor interés. Por esta razón los métodos de reciclaje para el aprovechamiento de polímeros aún son motivos de investigación.

La presencia de humedad en los plásticos altera las propiedades mecánicas de los productos elaborados, produciendo vapor y burbujas durante su transformación; afectando los procesos posteriores, presentando irregularidades en sus dimensiones y fragilidad en los productos terminados. Por lo tanto se diseñó un proceso de secado eficiente con corrientes de aire caliente continuo los cuales emplean únicamente resistencias eléctricas que evaporan la humedad presente en su superficie.

Por medio de este proyecto se pudo ampliar la visión del reciclaje a nivel local. Y por medio de la documentación realizada conocer detalladamente los fenómenos presentes en la transformación de los plásticos. Al investigar sobre el tema de lavado químico, se encuentra que los lavados en frío actuales son realizados en varias etapas pero para esta planta se decidió después de varios estudios diseñar una máquina que permita realizar el proceso en dos pasos, es decir realizar un modelo modular entre dos equipos (lavadora y secadora).

11. RECOMENDACIONES

- Investigar alternativas de solventes a utilizar que tengan un menor costo pero que actúen en el proceso con la misma eficiencia del que se está utilizando actualmente.
- Realizar estudios químicos para determinar la posibilidad de recuperar más del 60% del thinner utilizado en el primer lavado.
- Diseñar un proceso automatizado que logre secar igual cantidad de partículas (polipropileno) en el menor tiempo posible.
- Diseñar los ductos de extracción de gases y ventilación del cuarto de lavado.
- Tener presente que la temperatura del recinto no debe superar los 45 grados centígrados.
- Realizar procesos de automatización para lograr obtener un proceso de lavado de mayor eficiencia y eficacia.
- Determinar por medio de estudios electromecánicos que dispositivo se puede implementar en la máquina que consuma menos energía sin que afecte la producción de lavado.
- Estudiar la posibilidad de construir una maquina con los mismos principios de funcionamiento de la que presenta en este proyecto pero de un menor peso.

12. BIBLIOGRAFIA

ABB LV Motors / Cat. BU / Motores Eléctricos Trifásicos y monofásicos - 50 y 60 Hz / ES 01-2008.

ACODAL, Política para la Gestión Integral de Residuos Sólidos, Bogotá, (2009).

ACOPLÁSTICOS. (2011a). *Directorio Colombiano de Reciclaje de Residuos Plásticos*. Bogotá: Acoplásticos.

ACOPLÁSTICOS. (2011b). Los plásticos, el medio ambiente y la sociedad. *Plásticos en Colombia 2011-2012 50 Años*. Bogotá: Acoplásticos.

ACOPLÁSTICOS & MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO. Territorial – MAVDT. (2008). *Guías ambientales. Sector Plásticos*. Bogotá, Colombia: MAVDT.

AIMPLAS Idoneidad del PP. reciclado en contacto con alimentos, y situación de su uso en Europa y otros países.2008.

AMBIENTAL, Consejo Nacional. POLITICA NACIONAL DE PRODUCCION MÁS LIMPIA. Bogotá: Ministerio Del Medio Ambiente, (2009).

APME ASSOCIATION OF PLASTICS MANUFACTURERS IN EUROPE, Plastics and the Environment Sheet, Brussels, Belgium, (2008).

ASKELAND, Donald R. Ciencia e ingeniería de los materiales 4a. ed. México: Thomson, 2004

ARRIGONI, J. P. Evaluación del desempeño de diferentes procesos en el tratamiento de residuos sólidos. 2011. Tesis de Maestría. Universidad Nacional del Comahue, Neuquén, Argentina. 126 pp.

BISIO L.Attilio, XANTHOS Marino, How to Manage Plastic Waste, Hanser Publishers, Ohio, USA, (2007).

CAR. Guía Ambiental Pequeñas Empresas de Transformación de Residuos Plásticos y Textiles, (2007).

DE ROSA, G.; Fernández, M.R.; Fernández, G.; Isleño, M. Rosso, A.; Ruiz de Arechavaleta, M. Desarrollo y valorización en procesos de reciclaje de plástico, 2004.

EUGENE A. AVALLONE. 1995. Manual del Ingeniero Mecánico. 9ª edición. Mc Graw Hill.

GEOSIGMA LTDA. Evaluación técnica de la situación actual. Prevención. Minimización, aprovechamiento y valorización de residuos plásticos en Colombia y sus regiones. Informe final 20 de Noviembre de 2013.

PMIRS. Estudio de plan maestro para el manejo integral de residuos Sólidos, Cydep 2000.

FIPMA y Plastivida. Manual de Valorización de los Residuos Plásticos, Buenos Aires, (2010).

FRANCISCO CABREJO. 2006. Ventiladores y ductos industriales. Capítulo 4.

FRANCISCO Raposo, Bárbara Rincón, Rafael Borja. Grasas y aceites, ISSN 0017-3495, Vol. 52, N° 7, 2006 (Ejemplar dedicado a: Tendencias en el procesado de aceites), págs.38-52.

GARCIA, D., Balart, R., Sanchez, L. and Lopez, J. (2007). "Compatibility of recycled PVC/ABS blends. Effect of previous degradation." *Polymer Engineering and Science*, 47 (6), 789-796.

GLEN ELLYN ROAD. 1875. Chicago blower corporation.

GUION WHITE. 2009. Introducción al análisis de vibraciones. Azima DLI.

HANNEQUART, Jean-Pierre. Guía de buenas prácticas para el reciclaje de los residuos plásticos y para las autoridades locales y regionales., (2009).

HARTZELL. 1975. Fan engineering. 3ª edición. Mc Graw Hill.

HUMBERTO JOFRE. 2007. AAF ciclone.

INSTITUTE OF PACKAGING PROFESSIONELS. 71 Reasons Why Packaging Matters, Herdon, VA, USA, (2013).

INSTITUTO COLOMBIANO DEL PLÁSTICO. Enciclopedia del Plástico, Tomo 4, México D.F, (2010).

JORGE ROJAS. 2004. Transporte neumático de partículas plásticas. Capítulo 6.

JOSEPH L. NICHOLSON. American Industrial Plastic. Harper's Magazine. 2007, p. 62.

LIBRO VERDE DE LA COMISIÓN EUROPEA. Sobre residuos plásticos Encuesta de la UE sobre el reciclaje (2013)

MICHAELI Walter. *Plastics Processing And Introduction*, Hanser Publishers, Ohio, USA, (2007).

MICHAELI, GREIF, KAUFMANN, VOSSEBURGER. *Introducción a la tecnología de los plásticos*, HanserPublishers, Ohio, Usa, (2007).

NORTON, Robert L. 1999. *Diseño de Máquinas*. México : Pearson, Prentice Hall, 1999. ISBN 970-17-0257-3.

OLIVEROS C.; RAMÍREZ, C. SANZ, J.; PEÑUELA A. (2010). *Secador rotativo de Túnel*.

PLANES DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS (PGIRS). de los 32 departamentos: y la estimación de PPC en el estudio realizado por el ministerio de medio ambiente para el año 2003.

RESTREPO A. & BURBANO J., 2005, *Scientia et Technica XI, DISPONIBILIDAD TÉRMICA Y SU APLICACIÓN EN EL SECADO*

R.J Ehrig. *Plastics Recycling, Products and Processes*. Hanser Publishers, Ohio, USA, (2007).

TAQUIRI, O. M. (2011). *Secadores solares*.

TCHOBANOGLIOUS, George; Theisen, Hillary; Vigil, Samuel. *Gestión Integral de los residuos sólidos*. Mc Graw Hill. 2009.

Tellez Maldonado, Alejandra. (2012). "La complejidad de la problemática ambiental de los residuos plásticos: Una aproximación al análisis narrativo de política económica."

SALAMANCA, Carlos Alberto Garay. *Sector Plásticos Principales procesos básicos de transformación de la industria plástica y Manejo, aprovechamiento y disposición de residuos plásticos post-consumo GUIAS AMBIENTALES*. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Vice ministerio de Ambiente, Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible, (2004). ISBN 958 - 97393 - 4 - 2.

SANTANA, G. G. (2012). *Evaluación del potencial de las energías pasivas para el secado*.

SANTIAGO Miguel. Valorización de los residuos de plásticos. Buenos Aires: Academia de la Ingeniería de la Provincia de Buenos Aires, (2010).

Seguridad Industrial y Responsabilidad Integral. Monómeros Colombo Venezolanos S.A. (2011).

Seguridad de soluciones químicas para el campo de la industria S. A. de C. V. (2011).

Sociedad Nacional de Industrias Colombinas. 11 de junio del 2012.

U.S. FDA Food and Drug Administration, Points to Consider for the Use of Recycled Plastics in Food Packaging: Chemistry Considerations, Washington DC, USA, (2012).

U.S. FDA. Food and Drug Administration Recycled Plastics in Food Packaging, Washington, (2007).

VELILLA, Wilmer, et al. 2010. Universidad Autonoma del Caribe. *Metodología de diseño conceptual para la selección de un sistema manipulador de tambores para camiones de carga*. [En línea] 10 de Junio de 2010. [Citado el: 7 de ABRIL de 2013.] http://www.uac.edu.co/images/stories/publicaciones/revistas_cientificas/prospectiva/volumen-8-no-1/articulo7-v8n1.pdf.

YUNUS A. CENGEL. 1985. Transferencia de calor y masa. 4^{ta} edición. Mc Graw Hill.

Canainca.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=212%3A-metodos-de-limpieza-industrial-evolucionan-y-reducen-costes-un-70&catid=1%3Arecientes&lang=es. [18 de MARZO de 2013]

Codols.com/tecnologías/ciclones-y-sistemas-de-separación-de-aceites-y-otros-producto. [23 de MAYO de 2013]

Livescience.com/23126-bacteria-sucked-up-200-000-tons-of-oil-after-bp-spill.html. [06 de ABRIL de 2013]

13. ANEXOS

LISTADO DE ANEXOS

Anexo 1. Ficha tecnica del thinner	169
Anexo 2. Propiedades generales del polipropileno	173
Anexo 2B. Propiedades generales del polipropileno.....	174
Anexo 3. Propiedades del Acero AISI/SAE 4140.....	175
Anexo 3B. Propiedades del Acero AISI/SAE 4140	176
Anexo 3C. Propiedades del Acero AISI/SAE 4140	177
Anexo 4. Ficha técnica del motor.....	178
Anexo 5. Plano eléctrico del motor	179
Anexo 6. Secciones normales de ángulos en L	180
Anexo 7. Diagrama de un ventilador centrifugo 9 HP	181
Anexo 7(B). ventilador centrifugo de 9 HP	182
Anexo 8. Planos de la máquina de lavado.....	183
Anexo 9. Planos del molino triturador	194

ANEXO 1.

FICHA TÉCNICA DEL THINNER

Identificación del material

Nombre comercial: Thinner

Nombre Químico: Thinner

Composición e información de ingredientes del thinner

1) Nombre y porcentaje de los componentes	2) No CAS	3) No. ONU	4) LMPE-PPT; LMPE-CT o P (ppm)	5) IDLH
Tolueno (5 – 50%)	108-88-3	1294	100;150	500
Alcohol (15-50 %)	67-56-1	1230	200;250	6000
Cetonas (5-40 %)	N.D	N.D	N.D	N.D
Hexano (5 -30%)	110-54-3	1208	50;N.D	1100
Alcoholes (5 -40%)	N.D	N.D	N.D	N.D
Xileno (5 -20%)	1330-20-7	1307	100;150	900
Esteres (3 -50 %)	N.D	N.D	N.D	N.D
6. Grado de Riesgo	S 2	I 3	R 0	E.P.P Respirador contra vapores, gafas, guantes, botas.

Fuente: monómeros colombo Venezuela (composición del thinner)

Fuego y explosión

Medio de extinción. Niebla de agua, espuma, CO₂, polvo químico seco.

Equipo de protección personal. Aparato de respiración autónomo con mascarilla facial completa y traje protector completo.

Procedimiento y precauciones especiales en el combate de incendio. Emplear polvo químico seco, espuma, dióxido de carbono (CO₂) o agua para extinguir el fuego. Usar agua para enfriar contenedores y estructuras expuestas al fuego y para proteger al personal. Si el derrame no ha provocado incendio, ventilar el área, usar agua para dispersar gas o vapor y alejar el material derramado de fuentes de ignición.

Condiciones que conducen a otro riesgo especial. Los vapores del producto forman con aire mezclas inflamables o explosivas a temperatura ambiente, además pueden alcanzar fuentes de ignición distantes, se acumulan en áreas bajas y se concentran en áreas confinadas.

Productos de la combustión nocivos para la salud. Monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO₂)

1ª PARTE: EFECTOS A LA SALUD

- a) Ingestión accidental: Náuseas, vómito, mareo, daño a tracto digestivo.
- b) Inhalación: Irritación de mucosas, narcosis, dolor de cabeza, náuseas.
- c) Piel (contacto y absorción): Irritación, sequedad, hipersensibilidad.
- d) Ojos: Irritación, conjuntivitis, visión borrosa.

Por exposición crónica

Sustancia química considerada como:

Cancerígena NO Mutagénica NO Teratogénica NO STPS (NOM-010-STPS)

Si No

Información complementaria: DL50 0.5 A 5 g/Kg. oral en rata.

2ª. PARTE: EMERGENCIA Y PRIMEROS AUXILIOS

- a) Contacto con los ojos: Enjuagar con abundante agua al menos por 15 minutos.

b) Contacto con la piel: Lavar el área de contacto con agua y jabón o tomar un baño.

c) Ingestión: Tomar agua o leche para diluir el producto. Permanecer en reposo.

d) Inhalación: Trasladar a la víctima a una zona con aire fresco. Si la respiración se dificulta administrar oxígeno, si se detiene proporcionar respiración de boca a boca.

1. Otros riesgos o efectos para la salud: Los vapores pueden causar dolor en ojos y tracto respiratorio en altas concentraciones.

2. Datos para el médico: El paciente debe mantenerse bajo observación médica.

3. Antídoto: En caso de ingestión tomar agua o leche.

Indicaciones en caso de fuga o derrame

Mantener alejadas fuentes de ignición. Cubrir el área de derrame con rocío de agua para diluir el producto y eliminar vapores. En caso de pequeños derrames utilizar material inerte absorbente. Evitar que el producto sea conducido al drenaje público

Protección especial

1. Equipo de protección personal: Respirador contra vapores, gafas, guantes, botas. Usar pantalón y camisola 100% algodón.

2. Ventilación: Se recomienda ventilación de escape local. Para la instalación de extractores de techo se debe considerar la dirección de los vientos predominantes.

Información sobre ecología

Si el producto es liberado en suelo se evaporara antes de que pueda ser absorbido, en agua la mayoría de los componentes son biodegradables, una parte se evaporara, el tiempo máximo de vida en río es de 10 Horas. Para el

componente crítico. Si el producto se libera en la atmósfera, se degrada al reaccionar con radicales hidroxilo producidos foto químicamente en un tiempo medio de 17 días para el componente crítico, los demás productos tienen tiempo de vida menor a 60 horas. No es acumulable en plantas, peces o animales.

Precauciones especial

1. Precauciones que deben ser tomadas para el manejo y almacenamiento: Evitar el contacto con ojos, piel o ropa, así como la inhalación de vapores. Mantener los contenedores cerrados cuando no estén en uso y abrirlos de forma lenta para permitir escape de exceso de presión. Almacenar y manejar el producto con adecuada ventilación y alejado de calor, chispa, flama u otra fuente de ignición.

2. Otras precauciones: Debe instalarse una conexión a tierra física en equipos y líneas usados durante el almacenamiento y transferencia del producto. En caso de ocurrir contaminación lavar la ropa usada. Almacenar en el contenedor original a temperatura ambiente o baja y protegerlo contra daño físico.

ANEXO 2.

Figura 44. Propiedades generales del polipropileno.

Propiedades Físicas	Unidad	Método	Valor
Densidad a 20°C a 175°C	g/cm ³	ASTM D1505	0,905 0,760
Densidad Aparente	g/cm ³	ASTM D1505	0,5
Contracción de Molde [^]	%	ASTM D955	<= 2,0
Absorción de Agua (24 h/3 mm espesor)	%	ASTM D270	0,01-0,03
Permeabilidad al O ₂	cm ³ mm/m ² día atm	ASTM D1434	107
Permeabilidad al vapor de agua	g mm/m ² día	ASTM D96	0,59

[^]: La contracción del PP alcanza valores entre 0,8% y 2,0%. En inyección hay que considerar si la contracción se produce a lo largo del sentido del flujo (1,3% a 2,0%) o si es perpendicular al mismo (0,8% a 1,8%), la contracción media oscila entre 1,0% y 1,9%. La contracción absoluta depende de la fluidez del material, de los parámetros de procesamiento, del espesor de pared de la pieza, temperatura del molde, presencia de pigmentos y tiempo de enfriamiento en el post-moldeo.

Propiedades Térmicas	Unidad	Método	Valor
Calor Específico	J/g°C	-----	1,926
Conductividad Térmica (20°C)	W/mK	ASTM C177	0,17-0,22
Coefficiente de Expansión Térmica Lineal de 20°C a 60°C de 60°C a 100°C de 100°C a 140°C	(°C) ⁻¹	ASTM D696	100 x 10 ⁻⁶ 150 x 10 ⁻⁶ 210 x 10 ⁻⁶
Temperatura de Auto-ignición	°C	ASTM D1929	375

Fuente. (Petroquim, 1999)

ANEXO 2B.

Figura 45. Propiedades generales del polipropileno.

Propiedades Eléctricas	Unidad	Método	Valor
Constante Dieléctrica de 20°C a 80°C de 10 ² Hz a 10 ⁶ Hz	kHz	ASTM D150	2,2-2,3
Resistencia Dieléctrica de 20°C a 80°C	kV/cm	ASTM D149	610
Resistividad Volúmetrica (23°C)	Ωcm	ASTM D275	>10 ¹⁶
Factor de Disipación de 10 ² Hz a 10 ⁶ Hz	%	ASTM D150	<0,2 x 10 ⁻³

Fuente. (Petroquim, 1999).

ANEXO 3.

Figura 46. Propiedades del Acero AISI/SAE 4140.

ACERO SAE 4140

DIN 42 Cr Mo 4
UNI 40CD4
SAE 4140
AFNOR 42 CD 4

CARACTERÍSTICAS DE EMPLEO

Es un acero de temple en aceite de medio carbono aleado al cromo-molibdeno de buena penetración de temple y con buenas características de estabilidad en caliente hasta 400°C sin fragilidad de revenido, muy versátil y apto para esfuerzos de fatiga y torsión en secciones pequeñas y medianas. Puede ser endurecido superficialmente por temple directo (a la llama o por inducción), obteniendo durezas de 57-62 Rockwell C. Generalmente se entrega en estado bonificado (con dureza entre 28 a 32 HRC).

PROPIEDADES FÍSICAS

Estos valores son obtenidos a partir de probetas bajo condiciones específicas de laboratorio y deben ser usados como referencia.

- Densidad → 7.85 gr/cm³.
- Módulo de elasticidad → 2.1×10^{11} Pa
- Coefficiente de Dilatación / °C →
 - 20 a 100°C = 12.3×10^{-6}
 - 20 a 200°C = 12.7×10^{-6}
 - 20 a 400°C = 13.7×10^{-6}
 - 20 a 600°C = 14.5×10^{-6}
- Conductividad térmica → W/m · °C.
 - 20 a 100°C = 42.7
 - 20 a 200°C = 42.3
 - 20 a 400°C = 37.7
 - 20 a 600°C = 33.1
- Calor específico (J/kg°C):
 - 20 a 200°C = 473
 - 20 a 400°C = 519
 - 20 a 600°C = 561
- Coefficiente de Poisson → 0,3
- Resistividad eléctrica (microhm-cm):
 - 20°C = 0.22
 - 20 a 100°C = 0.26
 - 20 a 200°C = 0.33
 - 20 a 400°C = 0.48
 - 20 a 600°C = 0.65



2

Fuente. (CGA, 1962).

ANEXO 3B.

Figura 47. Propiedades del Acero AISI/SAE 4140.

COMPOSICIÓN QUÍMICA	C %	Mn %	P máx. %	S máx. %	Si %	Cr %	Mo %
Análisis típico en %	0.38	0.75	0.035	0.04	0.2	0.80	0.15
	0.43	1.0			0.35	1.10	0.25

PROPIEDADES MECÁNICAS A TEMPERATURA AMBIENTE						
Estado de Suministro	Resistencia a la Tracción MPa	Límite elástico MPa	Alargamiento %	Reducción de Área %	Dureza Brinell aprox.	
Laminado en Caliente	588 - 690	392	22	50	210 - 240	
Calibrado	690 - 785	589	14	40	240 - 260	
Bonificado	850 - 981	735	14	47	260 - 320	

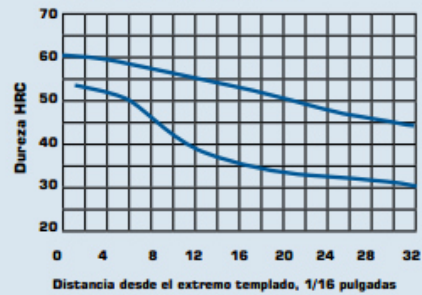
Nota: Estas propiedades mecánicas son tomadas sobre redondos de 25mm. Para mayores o menores dimensiones hay que considerar el efecto de masa.



BANDA DE TEMPLABILIDAD

BANDA DE TEMPLABILIDAD PARA EL ACERO 4140							
Distancia desde el extremo templado		Dureza, HRC		Distancia desde el extremo templado		Dureza, HRC	
1/16 in	mm	Máx.	Mín.	1/16 in	mm	Máx.	Mín.
1	1.58	60	53	13	20.54	55	38
2	3.16	60	53	14	22.12	54	37
3	4.74	60	52	15	23.70	54	36
4	6.32	59	51	16	25.28	53	35
5	7.90	59	51	18	28.44	52	34
6	9.48	58	50	20	31.60	51	33
7	11.06	58	48	22	34.76	49	33
8	12.64	57	47	24	37.92	48	32
9	14.22	57	44	26	41.08	47	32
10	15.80	56	42	28	44.24	46	31
11	17.38	56	40	30	47.40	45	31
12	18.96	55	39	32	50.56	44	30

Curva de Templabilidad



TRATAMIENTOS TÉRMICOS

TRATAMIENTO TÉRMICO	TEMPERATURA °C	MEDIO DE ENFRIAMIENTO
Forja	850 - 1100	Ceniza - arena seca
Normalizado	850 - 870	Aire
Recocido globular	750	Horno
Recocido subcritico	680 - 720	Horno
Temple	830 - 850	Aceite
Revenido	500 - 650	Aire

Diámetro crítico: Dimensiones máximas en las que se consigue un temple aceptable en el centro de la pieza:
70mm de diámetro con enfriamiento en agua
45mm de diámetro con enfriamiento en aceite

Fuente. (CGA, 1962).

ANEXO 3C.

Figura 48. Propiedades del Acero AISI/SAE 4140.

PROPIEDADES MECÁNICAS A TEMPERATURA AMBIENTE / TEMPLADO EN ACEITE Y REVENIDO					
Temperatura de revenido (°C)	205	315	425	540	650
Resistencia a la tracción (Mpa)	1772	1551	1248	951	758
Punto de fluencia (Mpa)	1641	1434	1138	834	655
% de Elongación (en 50mm)	8	9	13	18	22
% de Reducción de área	38	43	49	58	63
Dureza Brinell	510	445	370	285	230

EFECTO MASA SOBRE LA DUREZA				
DUREZA Vs. TAMAÑO DE LA SECCIÓN EN ESTADO BONIFICADO				
Diámetro en mm	12.7	25.4	50.8	101.6
Dureza Brinell	302	302	285	241

CONFORMABILIDAD

La temperatura de forja recomendada está en el rango entre 1090 y 1210°C finalizando con una temperatura no inferior a 980°C. Después de la forja se recomienda enfriamiento lento.

SOLDABILIDAD

SAE 4140 es soldable por cualquier proceso de soldadura utilizado normalmente. Para espesores superiores a 12.7 mm, realizar precalentamiento y una temperatura entre pases de 200 a 260°C. Entre 12.7 y 50 mm incremente el precalentamiento a 310 a 370°C. Electrodo manual revestido AWS E 12018 o AWS E 9018 B3 son frecuentemente usados para proceso de soldadura de arco eléctrico (SMAW).

APLICACIONES

Se utiliza generalmente en estado bonificado a una resistencia a la tracción entre 900 y 1000 N/mm², en los siguientes campos:

- Industria automotriz:** Engranajes, ejes, cigüeñales, cilindros de motores, bielas, rotores.
- Partes para maquinaria:** Árboles para turbinas a vapor, ejes traseros, barras de conexión, ejes reductores, espárragos, tuercas y tornillos de alta resistencia en plantas que trabajan a temperaturas de 150 y 300°C como calderas, partes de bombas, ejes para vástagos con acabado de rectificado y bruñido con protección de cromo duro.
- Piezas forjadas:** Llaves de mano, destornilladores.
- Industria petrolera:** Taladros, brocas, barrenos, cuerpos de escariadores, vástagos de pistón.

MAQUINABILIDAD

Los ejes acabados en frío con estructura ferrítica y perlítica (187 - 229 brinell) tienen una maquinabilidad de aproximadamente el 65% con referencia al acero 12L14. Este acero presenta un excelente acabado superficial después de mecanizado en estado bonificado, para parámetros de mecanizado de referencia ver tabla en la ficha del acero SAE 4340.

SUCURSALES C.G.A.

BARRANQUILLA	MEDELLÍN
Via 40 No. 51 - 444 PBX: 3444 188/3720 222 Fax: 3443 328/3720 220	Calle 32 No. 41 - 139 Itagüí PBX: 3724 500/3738 111 Fax: 2776 088
CALI	BUCARAMANGA
Cra. 31A No. 15 - 59 Acopi - Yumbo PBX: 6918 585 Call Center: 6918 586 Fax: 6658 593	Cra. 14 No. 23 - 02 PBX: 6337 708/6323 Fax: 6332 779
PRINCIPAL BOGOTÁ D.C.	
Av. 68 No. 37B - 51 Sur PBX: 7700 560 Fax: 7700 530/550	
Call Center: 7700 590 - Línea de Servicio al Cliente: 7700 543	
www.cga.com.co - e-mail: aceros@cga.com.co	

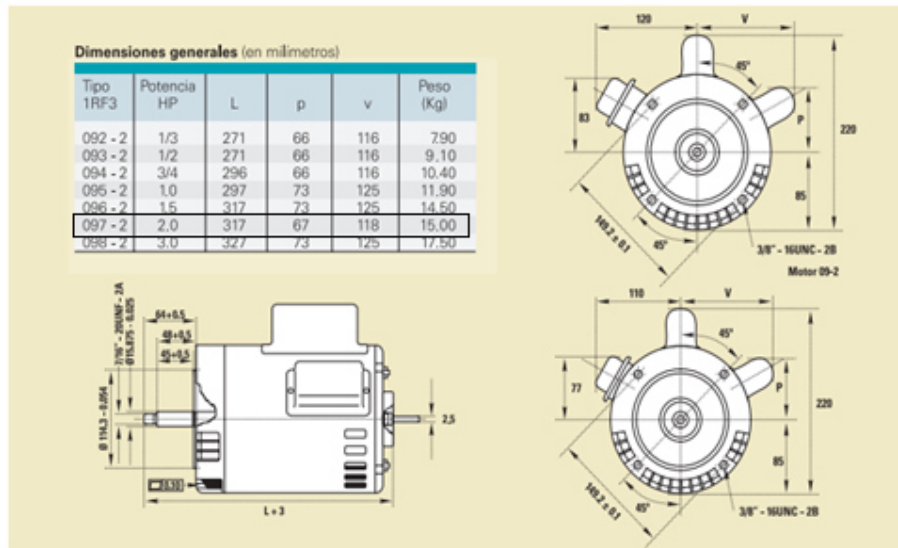
Fuente. (CGA, 1962).

ANEXO 4

Figura 49. Ficha técnica del motor.

Datos técnicos												
Tipo 1RF3	Potencia nominal HP	Factor de servicio	Corriente con factor de servicio (A)		Velocidad con factor de servicio RPM	Rendimiento %	Cos Ø	Par nominal Nm	Corriente de arranque en % de la cta. nominal	Condensador de arranque µf	No. de depósito	Código SAP
092-2YB99	1/3	1.75	8.0	4.3	3.450	63	0.61	0.700	482	216 - 259	887203	26492
093-2YB99	1/2	1.60	10.4	5.2	3.450	61	0.68	1.012	462	216 - 259	887205	26496
094-2YB99	3/4	1.50	13.6	6.8	3.450	70	0.70	1.522	540	216 - 259	887207	26498
095-2YB99	1.0	1.40	16.3	8.2	3.450	67	0.75	2.036	508	324 - 389	887210	26501
096-2YB99	1.5	1.30	22.0	11.0	3.450	74	0.75	3.100	532	324 - 389	887215	26505
097-2YB99	2.0	1.20	25.0	12.5	3.450	76	0.78	4.076	500	540 - 648	887220	26509
098-2YB99	3.0	1.15	35.0	17.5	3.450	76	0.85	6.107	480	540 - 648	887230	26514
	3.0	1.15	-	16.0		78	0.90	6.107	471	108 - 130	-	-

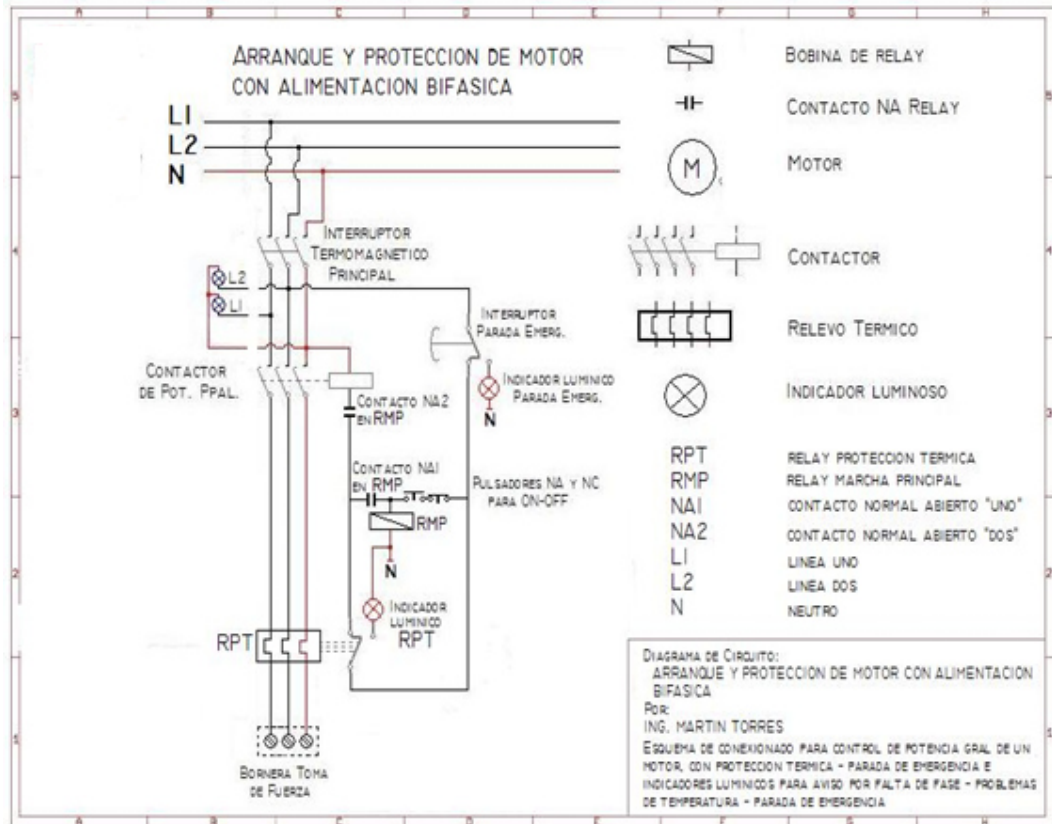
- 1) En este motor se adiciona un condensador de marcha de 10 µf.
- 2) En este motor se adiciona un condensador de marcha de 40 µf.



Fuente. ABB LV Motors / Cat. BU / Motores Eléctricos Trifásicos y monofásicos - 50 y 60 Hz / ES 01-2008.

ANEXO 5

Figura 50. Plano eléctrico del motor.



Fuente. ABB LV Motors / Cat. BU / Motores Eléctricos Trifásicos y monofásicos - 50 y 60 Hz / ES 01-2008.

ANEXO 6

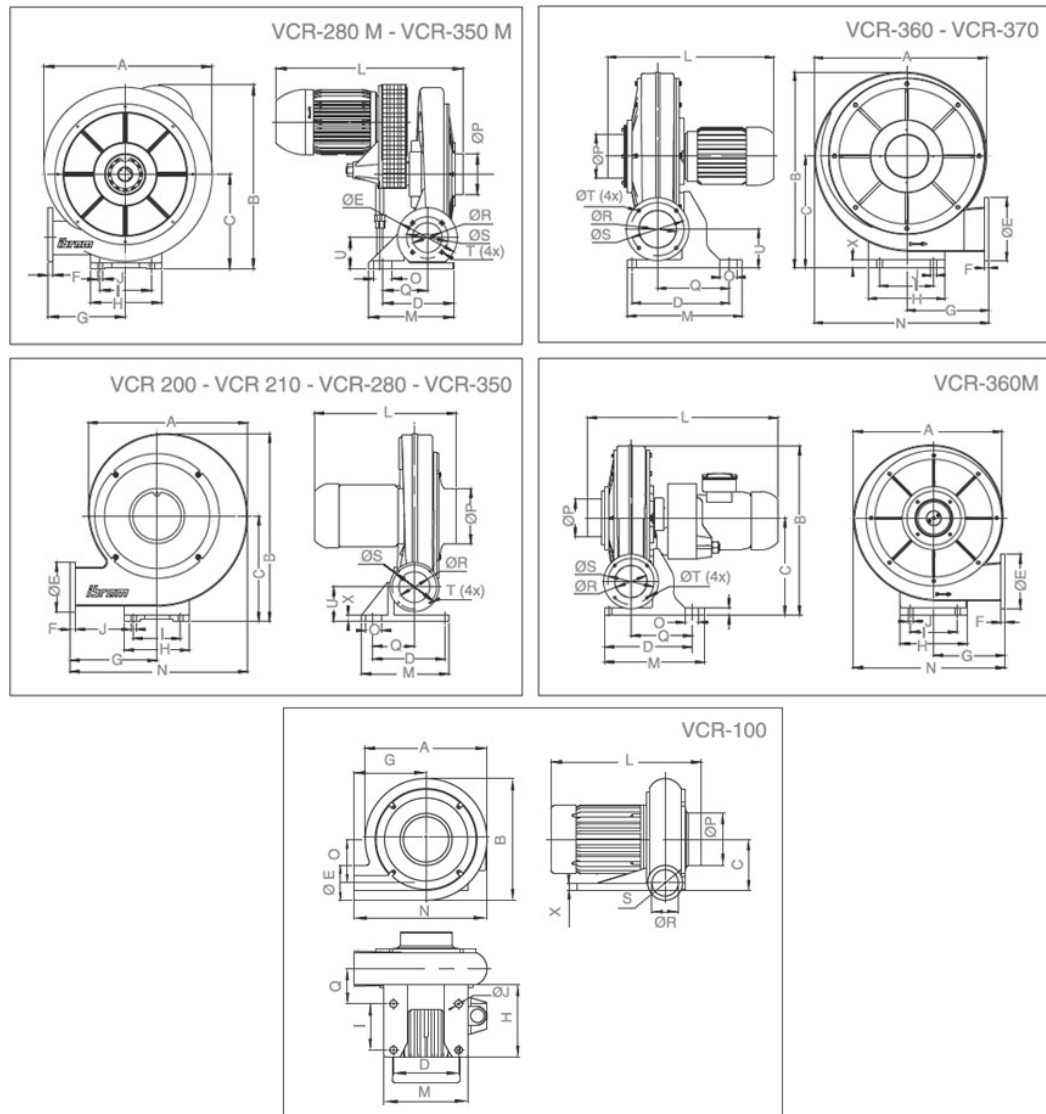
Figura 51. Secciones normales de ángulos en L.

Dimensiones H x B x e mm	Masa kg/m	Sección cm ²
20 x 20 x 3	0,879	1,12
25 x 25 x 3	1,12	1,43
25 x 25 x 5	1,78	2,27
30 x 30 x 3	1,36	1,74
30 x 30 x 5	2,18	2,78
40 x 40 x 3	1,84	2,35
40 x 40 x 4	2,42	3,08
40 x 40 x 5	2,97	3,79
40 x 40 x 6	3,52	4,48
50 x 50 x 3	2,34	2,96
50 x 50 x 4	3,06	3,89
50 x 50 x 5	3,77	4,80
50 x 50 x 6	4,47	5,69
65 x 65 x 5	4,97	6,34
65 x 65 x 6	5,91	7,53
65 x 65 x 8	7,73	9,85
65 x 65 x 10	9,49	12,10
80 x 80 x 6	7,34	9,35
80 x 80 x 8	9,63	12,30
80 x 80 x 10	11,90	15,10
80 x 80 x 12	14,00	17,90
100 x 100 x 6 *	9,26	11,80
100 x 100 x 8 *	12,20	15,50
100 x 100 x 10 *	15,00	19,20
100 x 100 x 12 *	17,80	22,70

Fuente. GERDAU AZA.

ANEXO 7

Figura 52. Diagrama de un ventilador centrifugo 9 HP.



Fuente. Ibram.Ind.

Figura 53. Ventilador centrifugo 9 HP.



Fuente. Ibram.Ind.