

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE ENVASES DE VIDRIO PARA
LA INDUSTRIA DEL RECICLAJE**

Presentando ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela.
Por los Bachilleres:
De Caires, Juan
De Caires, Quirino
Para optar al título de Ingeniero
Mecánico

Caracas, 2004

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE ENVASES DE VIDRIO PARA
LA INDUSTRIA DEL RECICLAJE**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Carpentiero, Fausto

Presentando ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela.
Por los Bachilleres:
De Caires, Juan
De Caires, Quirino
Para optar al título de Ingeniero
Mecánico

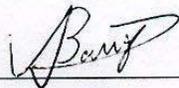
Caracas, 2004

Caracas, 22 Noviembre 2004

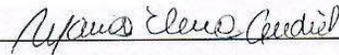
Los abajo firmantes, miembros del jurado designado por el Consejo de la Escuela de Ingeniería Mecánica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por los Bachilleres: De Caires P. Juan N y De Caires P. Quirino H., titulado:

“DISEÑO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE ENVASES DE VIDRIO PARA LA INDUSTRIA DEL RECICLAJE”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Mecánico.



**Prof. Antonio Barragán
Jurado**



**Prof. María Elena Gudiel
Jurado**



**Prof. Fausto Carpentiero
Tutor Académico**



DEDICATORIA

Quisiéramos dedicar este trabajo a nuestros padres por su apoyo incondicional y ayuda que nos brindaron a lo largo de nuestra formación humana y académica, ya que sin ellos no lo hubiésemos logrado.

AGRADECIMIENTOS

Quisiéramos expresar un especial agradecimiento a las empresas Cotecnica, Produvisa y Owens Illinois, por habernos permitidos entrar a sus instalaciones y darnos su ayuda en este trabajo. Un agradecimiento muy grande a Miguel Ángel Yáñez gerente de mercadeo Owens Illinois por brindarnos la oportunidad de ser parte de la familia de Owens Illinois.

A nuestro tutor académico Fausto Carpentiero por darnos la oportunidad de desarrollar este tema.

A los Profesores:

Manuel García (Escuela de Ingeniería Metalúrgica)
Miguel Castillejo (Escuela de Ingeniería de Minas)
Gustavo Delfino (Escuela de Ingeniería Mecánica)
Pedro Cadenas (Escuela de Ingeniería Mecánica)
María Elena Gudiel (Escuela de Ingeniería Mecánica)
Antonio Barragán (Escuela de Ingeniería Mecánica)
Bárbara guns (Departamento de matemáticas de la Escuela Básica de ingeniería)
Acosta Hernan (Departamento de Física de la Escuela Básica de ingeniería)
Freddy Pérez (Departamento de física de la Escuela Básica de ingeniería)
Ingeniero Gerardo Sarmiento (COTECNICA)
Sr. José Antonio Armas (LIBERCOOP)
Sr. José Gregorio

A nuestros amigos de siempre Ángel Rodríguez, Fidencio Piñango, Frank Miranda, Mercedes Buitriago, Heriberto Mendoza, Edgar Morales, Héctor Pyres, Joselin Monsalve (mapachito), Gabriela y Edymar (exceso de belleza), Estrella, Luis Naspe, Sánchez Patete, Pedro (KEYEME), Wilfredo de Abreu, Cristabel, Denis Meaza, Señor Reyes (Don Ramón), Adriana Bracho, Fernanda Rodríguez, Delia Rodríguez, Reinaldo, Esmeralda, Rosangel, Mario Espinoza, Egardo Castro, Verónica, Iraima, Bernardo, Pablo Zapata, Luigi (El Naufrago), Barbara da Silva, Renny Rivero, Silvia Brans, Braun, José Gregorio, Guillen, Márquez y Johann, por acompañarnos a lo largo de nuestra carrera y brindarnos su apoyo incondicional, enseñándonos lo bueno y malo de esta vida.

**De Caires P. Juan N.
De Caires P. Quirino H.**

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE ENVASES DE VIDRIO PARA
LA INDUSTRIA DEL RECICLAJE**

**Tutor Académico: Prof. Carpentiero, Fausto.
Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Mecánica. 2004.
200 pág.**

Casco, cullet, martillos, reciclaje, trituradora, vidrio.

Este trabajo aborda una de las problemáticas que existe hoy en día en el mundo, como es, la disposición de los desechos o residuos sólidos, a través del reciclaje, el cual es considerado como una de las alternativas más viable y sustentable para reducir el volumen de los residuos, además de tener un menor impacto ambiental que otros métodos tradicionales, tales como la incineración y el entierro. También da a conocer los diferentes procesos de recolección y beneficio que se realizan en nuestro país entorno al área de reciclaje de envases de vidrio y propone una solución a uno de los graves problemas que tiene nuestra industria del reciclaje, el cual consiste en no poseer asesoría o informaciones técnicas referentes a las máquinas de trituración. Para lograr esto se partió de la iniciativa de realizar varias visitas a las principales plantas productoras de envases y de reciclaje de vidrio en el país, con el fin de conocer las demandas y características técnicas del cullet o casco de vidrio. Se realizó el diseño de la máquina trituradora teniendo esto presente, proponiendo para ello varias alternativas de solución y luego seleccionando la más adecuada para nuestra realidad nacional. El diseño de la máquina cubre todo lo referente a cálculos de esfuerzos permisibles y selección de materiales adecuados para su construcción, también se anexan los planos de la misma para mayor comprensión de su forma y dimensiones. Se realizó los análisis de factibilidad y rentabilidad económica con la finalidad de evaluar la posibilidad de su futura construcción para dichas empresas. El trabajo aparte de dar una alternativa para un problema mediante la propuesta de entrada en el mercado de tecnología nacional en el área de reciclado de envases de vidrio, hace una revisión de los equipos que existen en el mercado.

ÍNDICE

RESUMEN	V
INTRODUCCIÓN	XIII
CAPÍTULO I	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2 OBJETIVOS	10
1.2.1 Objetivo general	10
1.2.2 Objetivos específicos	10
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	10
1.4 LIMITACIONES	11
CAPÍTULO II	12
2.0 MARCO TEÓRICO.....	12
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	12
2.1.1 Owens Illinois	12
2.1.1.1 Historia	13
2.1.1.2 Estrategias de mercado	15
2.1.1.3 Evolución de productos	15
2.1.1.4 El vidrio proyecta el mejor futuro para Venezuela	15
2.1.1.5 Producción	16
2.1.1.6 clientes	16
2.1.1.7 Visión	16
2.1.1.8 Política de calidad	17

2.1.1.9 Misión	17
2.1.1.10 Proceso para la realización de un envase	18
2.1.1.11 Estructura de Owens Illinois	18
2.1.2 Recicladora RENCY	19
2.1.3 Produvisa S.A	21
2.1.3.1 Historia	22
2.1.3.2 Misión	22
2.1.3.3 Visión	23
2.1.3.4 Estructura Organizativa	23
2.1.3.5 Descripción Literal del Proceso Productivo	24
2.1.4 Recicladora Serpro C.A	26
2.1.5 Cotecnica	27
2.1.5.1 Relleno Sanitario La Bonanza	28
2.1.5.2 Tratamiento de Lixiviados en el Relleno Sanitario La Bonanza ...	28
2.1.5.3 El Biogas en el Relleno Sanitario La Bonanza	29
2.1.5.4 Disposición Final	30
2.1.5.5 Servicios Regulares	30
2.1.5.6 Los Servicios Especiales	30
2.2 HISTORIA DEL VIDRIO	30
2.2.1 Etimología y definición del vidrio	32
2.2.2 Materias primas para la fabricación de vidrio	34
2.2.2.1 Vitrificantes	34
2.2.2.2 Fundentes	35

2.2.2.3 Estabilizantes	35
2.2.2.4 Componentes secundarios	35
2.2.2.5 Otros componentes	36
2.2.3 El proceso de elaboración del vidrio.....	37
2.2.3.1 Reacción de los componentes y formación de vidrio	37
2.2.3.2 Disolución del excedente de sílice	37
2.2.3.3 Afinado y homogenización del vidrio	38
2.2.3.4 Reposo y acondicionamiento térmico	38
2.2.3.5 Procedimientos de conformación y moldeo del vidrio	39
2.2.3.6 Enfriamiento y recocido del vidrio	40
2.2.4 Defectos del vidrio	40
2.2.5 Propiedades de los vidrios	43
2.2.5.1 Viscosidad	44
2.2.5.2 Tensión superficial	44
2.2.5.3 Densidad	45
2.2.5.4 Dilatación térmica	45
2.2.5.5 Resistencia al choque térmico	46
2.2.5.6 Propiedades Térmicas	46
2.2.5.7 Propiedades mecánicas	47
2.2.5.8 Propiedades ópticas	49
2.2.5.9 Propiedades eléctricas	50
2.2.5.10 Propiedades químicas	50
2.2.6 Productos de vidrio	50

2.2.6.1 Consideraciones para el diseño de productos de vidrio	52
2.2.7 Envases de vidrio	53
2.2.7.1 Composición de los vidrios para envases	54
2.2.7.2 Resistencia mecánica	56
2.2.7.3 Protección de las radiaciones	60
2.2.7.4 Resistencia química	61
2.2.7.5 Elección del material del envase	62
2.2.7.6 Recuperación de los envases de vidrio	62
2.2.7.6.1 Limpieza inicial y separación por colores.....	63
2.2.7.6.2 Rotura y trituración del vidrio.....	64
2.2.7.6.3 Preparación y transporte.....	64
2.2.7.6.4 Procesamiento final.....	64
2.2.7.7 Clasificación de los envases según su recuperación	65
2.2.7.8 Aplicaciones de los envases recuperados	65
2.2.7.9 Características que debe reunir el vidrio recuperado (cullet)	66
2.3 REDUCCIÓN DE TAMAÑO	69
2.3.1 Teoría de fractura	70
2.3.1.1 Sistemas de fragmentación	70
2.3.1.2 Mecanismos de esfuerzo mecánico	71
2.3.2 Leyes energéticas	73
2.3.3 Equipo para la reducción de tamaño	75
2.3.4 Trituradoras para envases de vidrio	79
2.4 TEORÍA DE DESGASTE	82

CAPÍTULO III	84
3.1 MARCO METODOLÓGICO	84
3.2 BÚSQUEDA DE SOLUCIONES	85
3.3 PARÁMETROS DE SELECCIÓN	98
3.4 MATRIZ DE DECISIÓN	99
CAPÍTULO IV	101
4.1 DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINA PARA TRITURAR ENVASES DE VIDRIO..	101
4.2 ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA MÁQUINA TRITURADORA.....	105
4.2.1 Rotor	105
4.2.2 Criba...	107
4.2.3 Bastidor	108
CAPÍTULO V	111
5.1 CÁLCULOS DE LOS COMPONENTES DE LA MÁQUINA	111
5.1.1 Materiales empleados en la construcción de la máquina	112
5.1.2 Cálculo de las dimensiones de la criba	114
5.1.3 Cálculo de la potencia de la máquina	122
5.1.4 Cálculo de la velocidad del rotor triturador	123
5.1.5 Cálculo de bandas.....	126
5.1.6 Cálculo del momento torsor.....	137
5.1.7 Cálculo del árbol del rotor	138
5.1.8 Cálculo de los esfuerzos sobre los martillos y bastidor de la máquina	148
5.1.9 Cálculo de los rodamientos	158

CAPÍTULO VI	163
6.1 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA DE LA MÁQUINA	163
6.1.1 Estudio de mercado	165
6.1.1.1 Definición del producto	165
6.1.1.2 Demanda	165
6.1.1.3 Oferta	166
6.1.1.4 Precios	166
6.1.1.5 Comercialización del producto.....	167
6.1.1.6 Procesos de producción	167
6.1.1.7 Cronograma de actividades	167
6.1.2 Estudio financiero	168
6.1.2.1 Capital de trabajo	168
6.1.2.2 Costos fijos	169
6.1.2.3 Ingresos y Egresos	170
6.1.2.3.1 Ingresos	170
6.1.2.3.2 Egresos	170
6.1.2.4 Métodos financieros	171
6.1.2.4.1 Valor presente neto (VPN)	171
6.1.2.4.2 Tasa interna de retorno (TIR)	172
6.1.3 Evaluación social	172
6.1.4 Impacto ambiental	173
CONCLUSIONES	174
RECOMENDACIONES	177

BIBLIOGRAFÍA	179
ANEXOS	182
ANEXO I	183
NORMAS VENEZOLANA PARA VIDRIO	183
ANEXO II	184
Normas ASTM para vidrio	184
ANEXO III	185
Glosario	185
ANEXO IV	190
Manual de operación de la trituradora de envases	190
Manual de mantenimiento de la trituradora de envases	191
ANEXO V	199
Planos de la máquina	200

INTRODUCCIÓN

El origen de la agricultura y de la ganadería en el llamado neolítico, permitió al ser humano independizarse de los recursos naturales espontáneos para la subsistencia, evitándole además el desplazamiento constante en busca de los mismos e inaugurando, la era del transporte y el almacenamiento lejos de su lugar de origen.

Al amparo de una mayor seguridad en el alimento y un menor desplazamiento obligado, van surgiendo sociedades más estables, que dan lugar a un crecimiento poblacional programado, no espontáneo. Como consecuencia de ello, los ciclos naturales de la materia y la energía se van alterando, y la acumulación de desechos va teniendo progresivamente mayores dificultades para ser descompuestos y reciclados. El ser humano a pesar de su elevada biomasa (gran tamaño y peso) actúa sólo como productor y consumidor y nunca como un individuo que recupere lo que desecha.

A diferencia de lo que ocurre en la naturaleza, en donde la mayoría de los procesos biológicos no generan residuos y son altamente eficientes en el consumo de energía, las actividades que desarrollan las sociedades suelen ser muy ineficientes en cuanto al consumo de energía, agua, y materiales, a la vez que se basan por lo general, en procesos lineales generadores de grandes cantidades de residuos.

Lo anterior ejerce presiones excesivas sobre la propia naturaleza, no tan sólo derivadas de los procesos de extracción o de aprovechamiento de los recursos naturales, sino como consecuencia de su transformación de bienes y por la disposición final de éstos cuando se convierten en residuos y se vierten irresponsablemente y sin ninguna precaución, en los suelos y cuerpos de agua.

Los primeros seres humanos no tenían una estrategia de gestión de residuos sólidos en sí, sencillamente porque la existencia de los cazadores-recolectores no la requería. Probablemente, el hecho de no permanecer en un lugar el tiempo suficiente como para acumular una cantidad de residuos importante, y la necesidad de utilizar los escasos recursos al máximo, no originaba ninguna inquietud o acción. Sin embargo, cuando los seres humanos empezaron a asentarse en comunidades permanentes, con mayores concentraciones de individuos y de actividades se empezaron a acumular grandes cantidades de residuos, esto puso de manifiesto la necesidad de una gestión de los residuos. Aunque esto se produjo en algunos lugares alrededor del 10.000 d.C., en otros ocurría mucho más tarde, e incluso todavía, en algunas partes rurales del planeta con baja densidad de población se sigue manifestando este comportamiento.

Antes del 500 d.C., Atenas organizó el primer basurero municipal del mundo occidental; los habitantes fueron obligados a evacuar los residuos, al menos, a una milla de distancia de los muros de la ciudad. Este imperativo se extendió a otros lugares, adelantándose y retrocediéndose los límites según los deseos y habilidades de los gobernantes. Durante la Edad Media, la evacuación de residuos siguió una responsabilidad individual, conmensurada por la falta de autoridad del gobierno.

En 1388 d.C., el Parlamento inglés prohibió la evacuación de residuos en las vías fluviales y desagües públicos. Apenas unos años después, en el 1400 d.C., las basuras se amontonaban a tales alturas en las fueras de las puertas de París, que interfirieron con las defensas de la ciudad. Estos ejemplos nos sirven de indicativo de la necesidad, por parte del gobierno, de asumir la responsabilidad sobre este elemento de salud y seguridad de la comunidad, principalmente, cuando quedaban implicadas otras responsabilidades, tales como drenaje y la defensa. Este crecimiento de la preocupación gubernamental en temas de salud y seguridad respecto a la evacuación de residuos sólidos llevó a la consecución de reglamentos y operaciones adicionales. Para la década de los cuarenta, en el siglo pasado, el mundo occidental empezó a entrar en la edad de la sanidad, las condiciones inmundas comenzaron a ser vistas por el público como una molestia, exigiéndose una acción gubernamental para su solución. Los sanitarios, empleados por los gobiernos para tratar principalmente la evacuación de aguas residuales, giraron su atención, cada vez más, hacia los residuos sólidos.

La incrementada asunción de la gestión de residuos sólidos por parte de los gobiernos llevó a aproximaciones sistemáticas, incluyendo al “destructor”, un sistema de incineración de Nottingham, Inglaterra (1874).

La respuesta de los gobiernos siguió incluyendo una amplia variedad de programas innovadores, diseñados para solucionar no solamente elementos específicos del flujo de residuos, sino también prácticas de pala ancha en los basureros e incineradoras. Los municipios limpiaban las calles y los ingenieros sanitarios inventaban nuevas tecnologías para reducir los costes y el volumen.

Solamente después de la Segunda Guerra Mundial, el rápido crecimiento de las poblaciones, el gran incremento del conocimiento científico acerca del ambiente y, más tarde, el concepto de recursos limitados se combinaron para dar una oportunidad real al examen de la naturaleza perjudicial de las prácticas de evacuación terrestre y marítima. La rápida expansión del conocimiento de los impactos, a largo plazo, de la contaminación de las aguas subterráneas y del aire empezó a exigir una mayor regulación de las prácticas de evacuación. En muchas zonas del mundo, la quema al cielo abierto de los residuos sólidos en los basureros y la evacuación en el mar seguían siendo prácticas aceptables bien entrados los años setenta del siglo pasado.

La incapacidad de los gobiernos locales para tratar estos problemas de gran magnitud provocó rápidamente el interés federal y la asunción de responsabilidades por parte de éste.

El agotamiento de recursos y la liberación de contaminantes al ambiente ha llegado a un extremo preocupante, que compromete la calidad de vida y la supervivencia de las generaciones presentes y futuras, así como el propio crecimiento económico, que en parte los ha ocasionado, por la forma en que ha tenido lugar.

Ejemplo de las consecuencias de tales prácticas, son los fenómenos mundiales que hoy aquejan a nuestro planeta, tales como el cambio climático global y el deterioro de la capa

de ozono que, entre otros, están teniendo repercusiones negativas y graves sobre el clima, la producción agrícola y la salud de la población.

Entre las medidas que se han propuesto para contender con estos fenómenos, se encuentran las relativas a promover esquemas de producción más limpia, enfoques preventivos y multimedios para reducir la liberación al ambiente de contaminantes, así como el desarrollo de programas para la minimización y el manejo integral de todo tipo de residuos: sólidos municipales, industriales no peligrosos y peligrosos.

Se piensa que la popularidad del término reciclar ayuda al acuerdo global de una verdadera definición. Sin embargo, en nuestros tiempos encontramos que no existe una verdadera definición de lo que este término implica. Para el público en general, reciclar es sinónimo de recolectar materiales para volverlos a usar. Sin embargo, la recolección es sólo el principio del proceso de reciclaje. Una definición bastante aceptada nos indica que reciclar es cualquier proceso donde materiales de desperdicio son recolectados y transformados en nuevos materiales que pueden ser utilizados o vendidos como nuevos productos o materias primas.

El reciclaje se produce por tres razones básicas: altruistas, imperativos económicos y consideraciones legales. En la primera de ellas es evidente que la protección del medio ambiente y la conservación de los recursos responden a los intereses generales de todo el mundo. En la segunda, el coste evitado para una evacuación de residuos ambientalmente aceptable se ha incrementado tanto que, cuando se combina con otros costes asociados al reciclaje, adquiere sentido, desde el punto de vista económico, el reciclaje de muchos de los materiales. Finalmente, en respuesta a las exigencias del público y a la creciente falta de métodos alternativos para la evacuación, el gobierno está obligado a reciclar y establecer una amplia diversidad de penalizaciones económicas y civiles, y además de ofrecer incentivos para estimular el reciclaje.

Aunque el reciclaje es muy favorecido por la sociedad, en ciertos casos puede llegar a tener algunos aspectos negativos. Como parte de una estrategia de manejo integral de residuos sólidos el reciclaje de materiales puede ayudar a conservar recursos, evitar que materiales valorizables contenidos en los residuos vayan a disposición final y sean reutilizados nuevamente en el proceso productivo y hacer participar al público en general en el saneamiento y preservación de las áreas rurales. Sin embargo, en muchos casos se han creado expectativas irreales acerca de la contribución que el reciclaje puede hacer en un sistema de manejo integral de residuos. El reciclaje es un proceso complejo que en sí consume recursos durante el transporte, selección, limpieza y reprocesado de los materiales reciclables. Además, en este proceso también se producen residuos.

El reciclaje tiene beneficios obvios, sin embargo también existen algunos obstáculos que hay que superar. Tal vez, el principal problema al que se enfrentan las personas cuando quieren generar un proceso de reciclaje, es la falta de educación de la sociedad en general sobre este aspecto. Las sociedades en general no entienden lo que le está pasando al planeta, especialmente en lo que se refiere a los recursos naturales.

Los problemas sociales relacionados con el reciclaje no se solucionan solamente con la educación. Las sociedades tienden a resistirse a los cambios. El ciclo tradicional de adquirir – consumir – desechar es muy difícil de romper. Reciclar en la oficina o en el hogar requiere de un esfuerzo extra para separar los materiales. Siempre será más conveniente el hábito de arrojar todo hacia fuera.

Por lo antes expuesto, el reciclaje debe ser considerado como parte de una estrategia integral para manejar los residuos, no como un fin en sí mismo, y promoverse únicamente cuando ofrece beneficios ambientales globales. Un manejo sustentable de residuos que proporcione mejoras ambientales reales de una manera económica y socialmente aceptable, sólo puede ser alcanzado a través de metas que sean parte de objetivos ambientales más amplios, tales como: reducción de gases invernadero, disminución de tasas de residuos que llegan a rellenos y maximización del aprovechamiento de los recursos.

Las metas que se establecen únicamente en función de tasas de reciclado, no necesariamente se concentran en el beneficio final y es poco probable que contribuyan al desarrollo de un manejo de residuos sustentable. El beneficio ambiental de reciclar varía de acuerdo con los materiales y también conforme a las tasas de reciclaje, de manera que altas tasas de reciclaje no son necesariamente iguales a mejoras ambientales globales.

Los beneficios obtenidos del reciclaje son mayores cuando los residuos se componen de materiales valorizables limpios y disponibles en grandes cantidades; como ocurre en fuentes comerciales e industriales.

Los residuos domiciliarios contienen pequeñas cantidades de muchos materiales mezclados y frecuentemente contaminados, no todos los cuales pueden ser reciclados. La segregación temprana de residuos domiciliarios para separar los potencialmente reciclables, tiene otros beneficios como pudieran ser que los consumidores estén conscientes de los residuos que generan. La clave es integrar el reciclado de los residuos domiciliarios con los residuos comerciales, como parte de una estrategia de gestión integral. Esto puede hacerse teniendo metas combinadas en lugar de separadas para la recuperación de residuos comerciales y domiciliarios, y teniendo en cuenta que cualquier sistema debe ser tanto ambiental como económicamente efectivo.

Se necesita una estrategia regional para que los sistemas se beneficien de las economías de escala, mediante la colaboración entre autoridades de comunidades vecinas, en lugar de que cada población tenga instalaciones para recuperar materiales sin considerar su viabilidad económica.

Incrementar la demanda y, por lo tanto, el precio de materiales secundarios a través del desarrollo de nuevos usos de materiales reciclados, puede resultar en incrementos de tasas de reciclaje derivadas del mercado. Hasta que esto ocurra, la recuperación debe llevarse a cabo por otros medios que sean más viables económicamente, dentro de una estrategia de manejo integral de residuos sólidos, como pudiera ser la recuperación de energía. De esta manera, el mercado y una estrategia de manejo integral de residuos sólidos trabajarán juntos para alcanzar tasas de reciclaje económica y ambientalmente sustentables.

Al implementar el reciclaje es evidente que en su etapa primaria la recolección de los desechos y su luego almacenamiento representa un problema de espacio físico por lo cual es necesario la disminución del volumen que ocupan a uno inferior a través de maquinarias específicas para cada residuo, ejemplo para metales compactadoras, para materiales frágiles trituradoras etc.

El reciclaje hoy en día es y debe entenderse como una estrategia de gestión de residuos sólidos. Un método para la gestión de residuos sólidos igual de útil que el vertido o la incineración, y ambientalmente, más deseable. En la actualidad es, claramente, el método de gestión de residuos sólidos ambientalmente preferido.

En nuestro país se le da poco apoyo al área del reciclaje, por esto es difícil crear para muchos, estrategias que busquen incentivar el mismo en la población. Estas son unas de las pocas trabas que se consiguen los ambientalistas o las personas que se quieran dedicar a ésta tarea.

La propuesta de este Trabajo Especial de Grado surge de la necesidad de dar un enfoque técnico al diseño de una máquina trituradora para el reciclaje de envases de vidrio, ya que en la mayoría de las instalaciones existentes en nuestro país emplean máquinas y procesos de minería. Para esto se tendrá presente las diferentes alternativas existentes en el mercado nacional e internacional, así como las características y consumo de la materia prima. Luego se procederá al diseño de la máquina con la ayuda de una herramienta para el Diseño Asistido por Computadora (CAD), buscándose con esto una mejor comprensión de las dimensiones y funcionamiento de la misma, además de lograr un ahorro de dinero en la construcción de un prototipo de pruebas.

Por otra parte, este trabajo busca de dar apoyo a la empresa nacional, ya que la máquina pretende ser diseñada con materiales existentes en nuestro país.

CAPÍTULO I

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A lo largo de la historia, el primer problema de los residuos sólidos o basura ha sido su eliminación, pues su presencia es mas evidente que otro tipo de residuos y su proximidad resulta molesta. La sociedad solucionó este problema quitándolo de la vista, arrojándolo a las afueras de las ciudades, cauces de los ríos o en el mar, u ocultándolo mediante procesos de tapiado con tierras (vertederos) o tratamiento de lixiviado o biogas (rellenos sanitarios).

El crecimiento acelerado de la población en los últimos años, así como el proceso de industrialización han aumentado la generación de residuos.

Hace 30 años, la generación de residuos por persona en los países en vías de desarrollo era de unos $200 \text{ a } 500 \frac{\text{gr}}{\text{hab} \times \text{día}}$, mientras que hoy se estima entre $500 \text{ y } 1.000 \frac{\text{gr}}{\text{hab} \times \text{día}}$. En los países desarrollados, esta cifra es dos a cuatro veces mayor. Pero el problema no radica solamente en la cantidad sino también en la calidad o composición que pasó de ser densa y casi completamente orgánica a ser voluminosa, parcialmente no biodegradable y con porcentajes crecientes de materiales tóxicos.

En Venezuela el crecimiento poblacional, al igual que el aumento del grado de urbanización, no está acompañado por las medidas necesarias para dar un destino adecuado a la basura generada por la población.

Solamente en Caracas son recogidas 4.500 toneladas diarias de basura, mecanismo realizado por las empresas que prestan servicio de aseo urbano (Cotecnica, Fospuca, Sabenpe) y son llevados al relleno sanitario La Bonanza. Una cantidad de los desechos generados en zonas marginales y en algunas poblaciones del interior no es recogida, sino que permanece junto a las viviendas o es desechada en sitios públicos, terrenos baldíos, vertederos y cursos de agua.

El relleno sanitario, es el medio mas ampliamente empleado como disposición final de estos residuos, es una obra de ingeniería en la que se emplean técnicas y maquinaria de movimiento de tierras para construir rellenos artificiales.

La generación, tratamiento y confinamiento final de los residuos, han dado origen a un nuevo e importante sector en la industria, en especial en países desarrollados. Las necesidades de manejo, minimización, aprovechamiento y confinamiento de los desechos, se ha convertido en uno de los factores de impulso de la investigación científica y el desarrollo de nuevas tecnologías. Incluso los procesos educativos se han visto afectados por la necesidad de crear nuevos valores y hábitos de conducta apropiados para reducir el impacto social negativo que cada uno genera con sus residuos.

Por otra parte, debido a la necesidad de tomar medidas sobre los residuos, ha surgido una variada legislación sobre el tema. Desde el punto de vista económico también se han

establecido diversas definiciones y clasificaciones de los residuos por su distinto valor económico, según sean aprovechables en procesos posteriores a su generación.

En Venezuela se han dado una serie de pasos, de orden organizativo y legislativo que, formalmente deberían generar el establecimiento y la consolidación de una cultura ambiental sólida y coherente, destacándose además que nuestro país fue uno de los primeros en el continente americano que creó un Ministerio del Ambiente, inclusive antes que muchos países del primer mundo.

Las normas legales en sus diferentes jerarquías definen y regulan las normas técnicas y administrativas, instrumentan la aplicación de las políticas y se constituyen en la principal herramienta técnica y legal para la gestión de los residuos sólidos.

Desde el punto de vista legal, la gestión de los desechos y residuos sólidos en Venezuela puede ser analizando tomando en cuenta los siguientes aspectos: en primer lugar, la base o fundamento constitucional que rige la política de protección ambiental y de la salud y, el establecimiento del municipio como unidad mínima territorial descentralizada y encargada de la prestación del servicio de aseo urbano. Segundo, la creación del Ministerio de Sanidad y Asistencia Social (MSAS, actualmente Ministerio de Salud y Desarrollo Social, MSDS) como ente rector de las políticas en materia de la protección de la salud y saneamiento ambiental y la promulgación de la ley Orgánica de Salud, como ley marco en la materia que rige todo lo relacionado con la salud, estableciendo las directrices y bases de salud como proceso integral. Como tercer aspecto, la promulgación de la Ley Orgánica del Ambiente como ley especial marco que regula la protección ambiental en el país y, la creación del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR, actualmente Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, MARN), como organismo rector en materia de protección ambiental y calidad de vida. Finalmente, la existencia de un conjunto de normas que regulan el sector, desde los puntos de vista técnico, institucional, y como agente sancionador y ejecutor de procedimientos.

La Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, establece los deberes y derechos para los ciudadanos y prevee las atribuciones y limitaciones de los organismos públicos en cuanto a la conservación, defensa y mejoramiento del ambiente y de la salud pública. También establece al municipio como unidad política primaria dentro de la organización nacional, que goza de autonomía política, administrativa y financiera, correspondiendo su administración y gobierno a las autoridades municipales.

La recolección de los desechos y su transporte hasta su destino final, son responsabilidad del servicio público municipal o de las empresas contratadas por la Alcaldía.

Casi todos los desechos generados en Caracas y en ciudades como Valencia, Maracaibo, Mérida, Porlamar y La Guaira es enterrada en rellenos controlados. Sin embargo, el 80% de la basura en Venezuela permanece a cielo abierto, y un porcentaje muy pequeño de esta es separada informalmente para ser reciclada por algunas empresas.

No obstante, es recomendable disminuir la cantidad y la peligrosidad del material que se entierra a través del tratamiento de los desechos. La ventaja de esto se debe a diferentes factores:

- Escasez de espacio para la disposición final.
- Problemas por el uso de espacios físicos disponibles, con las poblaciones y/o municipios vecinos.
- Valorización de los componentes de la basura como forma de promover la conservación de recursos.
- Neutralización de los residuos sépticos.

El tratamiento se puede hacer mediante dos procedimientos:

- 1) Segregar los diversos componentes que existen en la basura con el propósito de reciclarlos, y la consiguiente reducción en el volumen de los desechos enterrados.
- 2) Incinerar controladamente la basura a fin de lograr su reducción y neutralización, y si fuese posible, con recuperación de energía.

Debido al potencial de recursos contenido en los desechos urbanos, su simple disposición no solo acarrea problemas de contaminación sino que también representa un imperdonable derroche de recursos. El material descartado posee grandes volúmenes de fibras de papel potencialmente aprovechable, así como plásticos, vidrios, metales y material orgánico para la preparación de compost y energía.

En la tabla 1.1, se muestra la composición aproximada de los desechos sólidos en Venezuela:

COMPONENTE	PORCENTAJE (%)
Alimentos	32
Jardinería	5
Papel y Cartón	20
Vidrio	10
Metales	9
Plásticos	10
Textiles	9
Madera	1
Caucho y Cuero	4

Tabla 1.1 Composición de los residuos sólidos urbanos en Venezuela [19]

Todos estos componentes al ser separados, son apropiados para diferentes procesos específicos de aprovechamiento entre los cuales se podrían nombrar:

- Digestión anaeróbica
- Compostaje
- Reciclaje

Estos procesos nos permiten aprovechar los desechos que tienen valor como materia prima para la industria, como fuente alterna de energía, como acondicionadores de suelo y, en general como recursos que contribuyen a la conservación de los recursos y a la preservación del ambiente.

Siendo nuestros recursos cada vez más escasos para hacer frente al creciente volumen de desechos generados, se impone la necesidad de plantear alternativas para disminuirlos y aprovecharlos.

En la realidad del presente siglo, todas las soluciones propuestas para solventar la problemática de los residuos sólidos urbanos, principalmente, consideran la reducción de los mismos mediante: la recolección selectiva de ellos, su reutilización o reciclaje, revalorización energética como opción alternativa y el vertido final – minimizándolo al máximo para prolongar la vida del vertedero, sitio de disposición definitivo.

Entendemos el reciclaje como “ el resultado de una serie de actividades, mediante las cuales ciertos materiales que se volverían basura o ya están en la basura se apartan, se recolectan y procesan para ser usados como materia prima en la manufactura de bienes que anteriormente se elaboraban solo como materia prima virgen ”

El reciclaje es, además de una actividad ecológica-educativa, una actividad económica inmersa en la gerencia y manejo de los residuos sólidos, por tanto no escapa a la dinámica del mercado como todos los demás productos, será mas atractivo según sea la demanda y residuo, y en particular todo dependiendo del aprovechamiento industrial que demanda un residuo específico.

El reciclaje hoy en día es y debe entenderse como una estrategia de gestión de residuos sólidos. Una estrategia alternativa diferente al vertido en rellenos sanitarios o la incineración controlada, y ambientalmente más deseable. En la actualidad es claramente la estrategia de gestión de residuos sólidos preferida, no solo por razones ambientales, sino económicas.

Aunque el reciclaje no puede ser visto como la principal solución para la basura, si nos aporta una serie de beneficios que lo justifican. La tendencia actual se orienta hacia el reciclaje porque las alternativas para procesar basura se están cerrando.

Las etapas fundamentales de la Industria del Reciclaje son:

- La primera es la recuperación de los materiales reciclables y su conversión en insumos para nuevos productos.
- La segunda es la manufactura de productos nuevos que utilizan como materia prima el material reciclado.
- La tercera es la compra y el uso de los productos elaborados con el material reciclado.

Es necesario que se cumplan todas y cada una de sus etapas para que se complete el ciclo de la industria. Así por ejemplo, si nadie fabrica productos con materia prima reciclada o si nadie compra dichos productos, pues la primera etapa carecería de sentido.

De acuerdo con la Ley Orgánica de Régimen Municipal, tal como lo expresa el artículo 36, numeral 10 y 12, son las alcaldías los entes encargados de la protección y conservación del ambiente y aseo urbano y domiciliario, comprendidos los servicios de limpieza, de recogida y tratamiento de residuos.

La alcaldía cuenta con tres formas para impulsar el reciclaje en su Municipio, y puede optar por una o por cualquier combinación de las tres:

- Puede ser el agente incentivador de acciones para el reciclaje.
- Puede ser el implementador de acciones para el reciclaje (a través de la recolecta selectiva o una empresa seleccionadora).
- Puede ser el consumidor de productos reciclados

Cuando una alcaldía opta por un programa de reciclaje, debe tomar una decisión estratégica en relación con el proceso de separación del material a reciclar:

- Separación de los materiales en la propia fuente donde se generan (población), con posterior recolecta selectiva y envío a una planta de selección y procesamiento.
- Separación de los materiales, luego de la recolecta normal y el transporte de la basura.

Además, la municipalidad puede materializar su acción a través de:

- 1) El otorgamiento de concesiones a empresas especializadas de aseo urbano, que es el mecanismo más usado en el país, estimulando de alguna forma no solo a las recolectoras de basura (privadas, mixtas y públicas) para que recolecten los desechos por separado y los trasladen a los diferentes centros de acopio o a las empresas recicladoras de desechos (plásticos, vidrios, metales, cartón, etc), sino también incentivar la creación de estas últimas.

- 2) Contemplar el reciclaje como elemento prioritario de los programas educativos y sociales, llegando a dar el apoyo necesario para desarrollar la infraestructura necesaria para favorecer el reciclaje.
- 3) La creación de programas de educación para el reciclaje comunitario que orienten la formación de conciencia hacia la recuperación post-consumo.
- 4) La dotación a comunidades, escuelas y hospitales de recipientes separadores de basura.
- 5) La separación en la fuente los desechos propios de los diferentes tipos, sin mezclarlos con los demás desechos.
- 6) La reducción de los impuestos a comercios o empresas que seleccionen localmente los desechos.
- 7) Orientar sus políticas de compra propias y las del público en general, hacia aquellos bienes elaborados con productos reciclados, reduciendo por ejemplo el impuesto al valor agregado de tales bienes. Si estimula una gran demanda habrá producción.

Los consumidores, Comunidades y organizaciones civiles, son los actores más importantes en la tarea del reciclaje. Por lo tanto el motor del cambio consiste en cambiar la mentalidad. Este cambio se manifiesta por el conocimiento del problema y por la participación en las soluciones. Además sería deseable que la gente se incorpore a las organizaciones que sirven de marco a este plan, donde no solamente participe activamente sino que proponga mejoras. Aquí las escuelas cumplen un importante rol.

Por otra parte, las organizaciones vecinales y las organizaciones ecologistas no gubernamentales son las más genuinas formas participativas que hay, puesto que son la que manifiestan un gran interés en encontrar soluciones inmediatas y actúan con un motor propio ante las dificultades. Por lo tanto, deben ser incorporados a los planes y propuestas y darles herramientas para llevar adelante las tareas de reciclaje. Su acción se materializa en impulsar la creación de microempresas, cooperativas o pequeños talleres de reciclaje de desechos los cuales favorecen el consumo y aprovechamiento de productos reusables o elaborados con reciclado.

En el caso del vidrio, la materia prima virgen es aún barata; en cambio, el proceso de fusión requiere grandes cantidades de energía. Los ahorros de reciclaje se obtienen en la energía, siempre y cuando la composición química del material reciclado sea la misma que la del conjunto y no existan contaminantes. Un kilogramo de vidrio procesado requiere 1,29 kilogramos de materia prima.

El mercado del reciclaje de vidrio ha aumentado en los últimos años debido a los altos costos de la energía que se requiere para procesar las materias primas y fabricar la materia virgen.

Para producir 1 tonelada de vidrio, se requieren las siguientes cantidades de materias primas y energía:

- 665,40 Kg. de arena sílice (óxido de silicio).
- 216,63 Kg. de piedra caliza (carbonato de calcio).
- 75,75 Kg. de feldespato.
- 16,75 Millones de BTU de energía.

Se requiere también dar tratamiento o eliminar lo siguiente:

- 192,12 Kg. de residuos de minería.
- 4,01 Kg. de contaminantes de aire

Al utilizar una mezcla de 50 % de vidrio reciclado (cullet) y el restante porcentaje de materia prima (bach) se obtiene los siguientes ahorros y reducción de emisiones:

- 50 % del consumo de agua.
- 79 % de residuos mineros.
- 14 % de los contaminantes del aire.

Los beneficios del reciclado del vidrio son:

- Una tonelada de calcín ahorra 130 Kg. de fuel en su fabricación debido a que funde a una temperatura más baja (reduciendo la importación de petróleo).
- Se economiza soda, al disminuir su porcentaje en la mezcla.
- Se ataca menos los materiales refractarios, ya hay volatilización de álcalis ni arrastre de polvos. Sin embargo, el vidrio roto debe controlarse como una materia prima más, a fin de evitar defectos en los artículos producidos.
- Disminución del 25 % en la energía utilizada en la fabricación.
- Disminución del 20 % en la contaminación del aire.
- Minimización de los residuos generados en un 80 %.
- Disminución del 50 % en las descargas al agua.
- Aumenta la vida media de los rellenos sanitarios, la preservación de recursos y reduce los costos de disposición.

- Una tonelada de calcín ahorra 1.200 Kg. de materias primas (evitándose la destrucción de terrenos por la minería).
- Una tonelada de calcín ahorra 1.000 Kg. de basura (reduciendo el espacio en los vertederos).
- Se reduce la contaminación del aire en un 20 %.
- Se reduce la demanda de agua hasta un 50 %.
- Se evita los problemas ecológicos de vertido incontrolado.
- Permite mantener y fomentar la estrecha relación bidireccional reciclaje-cumplimiento legislación ambiental.

El vidrio tiene tres mercados potenciales importantes: como reciclaje que se emplea para nuevos envases, o como materia prima para fabricar otros productos, tales como material de aislamiento a base de fibra de vidrio o vidrio-espuma para la industria de la construcción y en el acondicionamiento de los envases para su reutilización.

Además de las compras directas por parte de fabricantes de envases, los intermediarios también adquieren activamente vidrio en el mercado secundario, pero existen otros mercados para vidrio que no cumple con las especificaciones de la industria de las botellas. Un uso adicional del reciclaje de vidrio, es la fabricación de señalización reflejante y como aditivo para el asfalto.

Una de las principales ventajas presentadas por el vidrio, es que puede ser reciclado infinitas veces para la producción de recipientes, que sirven para envasar los más nobles productos.

El principal tipo de vidrio encontrado en la basura domiciliaria es el vidrio de envases. Esos envases de vidrio son: botellas para bebidas alcohólicas, para agua, refrescos y jugos, vasos, jarras, potes y frascos para alimentos.

En la basura domiciliaria se encuentra también el vidrio que forma parte o componente de un sin fin de otros productos domésticos, como por ejemplo, platos, ollas, ensaladeras, aceiteras, televisores, lámparas, entre otros. La composición química de estos vidrios, normalmente, es muy diferente de la del vidrio común, usado en la elaboración de envases y de vidrio plano y, por consiguiente, es muy difícil, o casi imposible, separar y aprovechar el vidrio de estos artículos. En principio, todo este vidrio podría ser reaprovechado, pero en la práctica se torna económicamente no viable.

Entonces, la mayor parte del vidrio contenido en la basura domiciliaria que se puede reaprovechar, comprende: botellas, frascos, potes y otras vasijas para productos alimenticios, cosméticos, etc.

Para los municipios ubicados en la proximidad de fábricas de vidrio, la mejor forma de realizar el reciclaje es la de quebrar los productos de vidrio (botellas, potes, frascos, etc.) y venderlos en forma de casco, directamente a las fábricas. Aunque la demanda de vidrio triturado es alta, la rentabilidad del reciclaje a menudo varía según la región del país, por los costes de recogida, procesamiento y transporte del vidrio usado hasta las fábricas.

Para lograr un mejor precio de venta de ese vidrio quebrado, se debe realizar la entrega del mismo a las industrias luego de limpiarlo (remoción de aros, metales y material inorgánico), lavarlo y mejor todavía luego de clasificarlo por colores.

Venezuela cuenta con 70 microempresas de acopio y/o tratamiento de vidrio para reciclar. Existen también programas comunitarios que facilitan el retorno del vidrio para reciclar.

El reciclaje en Venezuela hace años atrás era desarrollado por grupos marginados, los cuales contaban con el apoyo irregular de las empresas. Hoy en día la industria y el estado han creado conciencia de la importancia de estos grupos e incitan a los ciudadanos a implementar proyectos de reciclaje, los cuales hacen necesario el implemento de programas de segregación de vidrio, metales, plásticos y papeles para su comercialización y eventual reciclaje.

El reciclaje del vidrio es mucho más incipiente en nuestro país. Su historia se inicia en 1986. La proporción de vidrio reciclado alcanza aproximadamente el 20 % del total utilizando, mientras que la proporción de aluminio es de 78 % y la del plástico 1 %.

En Venezuela existen 199 centros recuperadores y recicladores de materiales, principalmente en los estados Carabobo, Lara, Mérida, Miranda, Portuguesa, Zulia y en el Distrito Federal. Estas entidades concentran el 71,35 % de los materiales recuperados. Número de centros de recuperación de materiales desechados, según entidad federal y el tipo de material recuperado. El ciclo básico para par el ciclo de reciclaje se muestra en la figura 1.1.

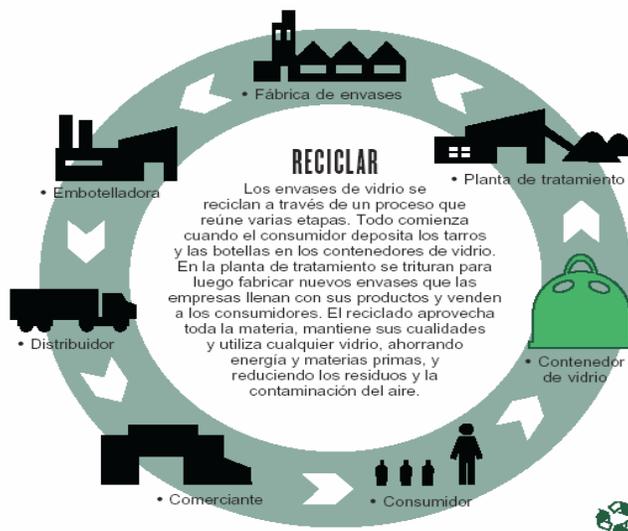


Figura 1.1 Etapas del proceso de reciclaje.

En este ciclo básico actúan los siguientes elementos para conformar de una manera efectiva un ciclo óptimo y operante, no debe confundirse con ciclos donde la fabrica de envases no retorna en los envases de vidrio desechados en nuevos envases ya que existen en el mal llamado reciclaje por rehúso.

- Fábrica de envases
- Planta de tratamiento
- Embotelladora

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General:

- Diseño de una trituradora de envases de vidrio para la industria del reciclaje.

1.2.2 Objetivos Específicos:

- Estudiar la situación del reciclaje de vidrio en Venezuela y sus necesidades tecnológicas.
- Realizar un estudio entre los diferentes métodos utilizados en la industria del reciclaje en la trituración de envases de vidrio.
- Revisar las diferentes máquinas trituradoras de envases de vidrio que existe en el mercado para el triturado de vidrio.

- Diseño, selección y dimensionamiento de los diferentes elementos y partes que integran la máquina.
- Calcular los esfuerzos a que están sometidos los distintos elementos de la máquina.
- Realizar un estudio de factibilidad de construcción de la máquina.

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La realidad ambiental es muy compleja de definir, porque existen fenómenos que están afectando constantemente a la tierra, sin embargo si nos trasladamos a nuestro contexto podemos ubicar el problema de la basura como uno de los más graves en Venezuela y particularmente en Caracas, donde las cantidades de basura que va al relleno sanitario son grandes.

La iniciativa de este trabajo parte de la necesidad que tenemos cada uno de nosotros como buenos ciudadanos de conservar y preservar la naturaleza. Esta investigación se centra en el abordaje del tema del reciclaje de vidrio, no por considerarse un tema que en la actualidad que está en boga, sino por la relevancia que constituye esta acción. El reciclaje nos beneficia a todos, es un medio para disminuir la producción de basura, ahorra energía y conserva los recursos naturales, además de crear conciencia conservacionista en nuestra sociedad.

En la actualidad en el país el proceso de reciclaje de envases de vidrio es llevado a cabo por dos grandes empresas (Owens Illinois y PRODUVISA), las cuales además de llevar a cabo el proceso se dedican a incentivar políticas para el reciclaje. Estas empresas cuentan con poco asesoramiento técnico referente a la selección de maquinaria para el triturado de envases, ya que utilizan maquinaria para la minería. El desarrollo de esta investigación trata de fomentar los conocimientos referentes a la selección de éstas maquinarias y promover el diseño de éstas en nuestro país.

1.4 LIMITACIONES

El trabajo que se presenta abarca cálculos, selección de elementos y planos detallados, no incluye el proceso de fabricación de la máquina.

Una vez definidos los objetivos, las justificaciones y las limitaciones del problema es necesario conocer los aspectos teóricos que rodean al mismo. El desarrollo de un marco teórico que exponga los antecedentes y explique el funcionamiento del sistema es fundamental para resolver el problema planteado.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

El desarrollo de cualquier trabajo tiene como punto de partida la búsqueda de información con base en el cual está estructurado. Para esto es necesario conocer los antecedentes de éste, abarcando sus orígenes, su descripción, su proceso actual de creación, su funcionamiento y los equipos o partes que conforman al mismo.

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Actualmente en Venezuela existen dos grandes empresas que se dedican a la elaboración del 90% envases de vidrio. A saber, estas son: Owens Illinois y Produvisa. El porcentaje restante es elaborado por Vidosa. Para la realización de este trabajo se hizo una visita a cada una de estas plantas, con la finalidad de conocer más a fondo el proceso de planta y las empresas que se dedican al reciclaje. A continuación se describen cada una de las empresas que fueron visitadas.

2.1.1 Owens-Illinois de Venezuela, C.A.

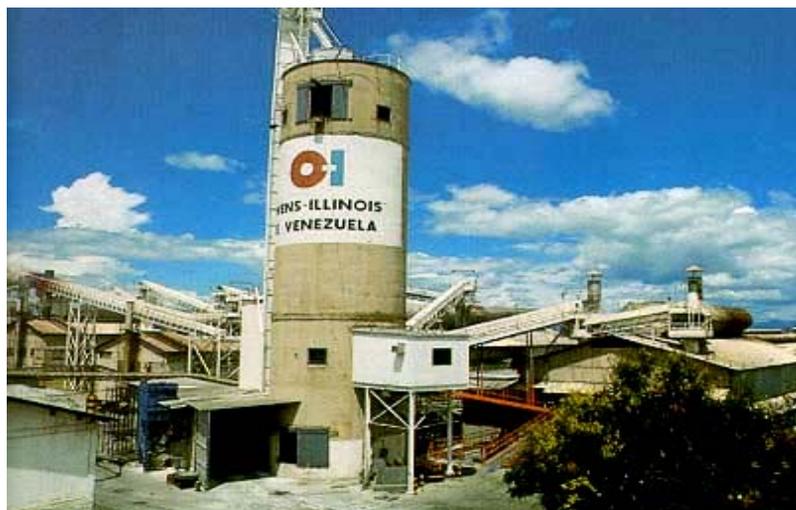


Figura 2.1 Empresa Owens Illinois

Owens Illinois esta radicada en Venezuela hace mas de 45 años y en el entendimiento del proceso de desarrollo de nuevos productos en la cultura esta compañía abarca todo lo incluido desde el desarrollo e ingeniería de su envase, pasando por las especificaciones iniciales para el mejor envase posible, hasta el decorado, diseño y proceso incluyendo las especificidades para un sistema de tapado apropiado. Owens Illinois cuenta con experimentados ingenieros y profesionales que cubren todo lo relacionado desde la generación de concepto hasta la comercialización para proyectos simples o complejos. Sus capacidades y servicios incluyen una base global de gerencia de proyectos de presencia

múltiple. Owens Illinois tiene como misión satisfacer las necesidades de sus clientes comprometidos a fabricar productos de calidad mundial, con un servicio óptimo. Posee más de 140 plantas de manufactura en los cinco continentes, sule envases de bajo costo y excelente calidad para muchas de las más reconocidas marcas y empresas de consumo masivo del mundo. Con una utilización de 1.270 Toneladas / día de materia prima y para una producción de envases por día de 4.000.000.

2.1.1.1 Historia

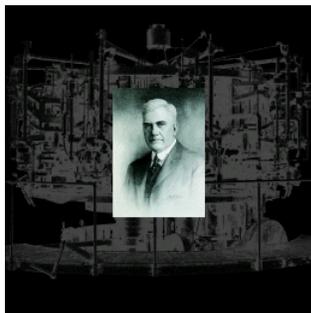


Figura 2.2 Michael J. Owens

El desarrollo más significativo en la fabricación de vidrio desde la invención de la pipa de soplado hace más de 2.000 años fue la máquina ideada por Owen Illinois la cual elaboraba a una mayor cantidad de envases con respecto a las 13.000 botellas por día y 3.000 sopladores profesionales que se requerían para realizar dicha tarea. Fue hace más de 100 años atrás que Michael J. Owens inventó la primera máquina automática revolucionando de esta manera la producción de envases de vidrio. Las actividades y avances de la empresa Owen Illinois se puede resumir en la siguiente cronología:

1903 – Michael J. Owens inventa la 1^{era} máquina automática de producción de envases de vidrio, innovación que dio paso a la creación de Owens Bottle Company.

1929 – Owens Bottle Company adquiere los activos de Illinois Glass Company, cambiando su nombre a: Owens-Illinois Glass Company.

1932 – Owens Illinois comienza por 1^{era} vez operaciones en la producción de tapas plásticas

1958 – Owens Illinois Glass fabrica su primer envase plástico soplado para químicos y artículos domésticos.

1965 – Con el objeto de reflejar un espectro más amplio de operaciones el nombre corporativo cambia de Owens Illinois Glass Company a Owens Illinois, Inc.

1972 – Aumenta dramáticamente la demanda de tapas con sistemas de seguridad para niños como resultado de los requerimientos mandatorios del FDA (Administración de Alimentos y Drogas o farmacia). Se crea la división de tapas de Owens Illinois.

1982 – Se inaugura la nueva sede de la casa matriz de Owens Illinois, Inc. en Toledo, Ohio.

1983 – La máquina de fabricación de botellas Owens fue declarada hito histórico internacional de ingeniería, 13^{avo} hito de esta índole en el mundo, por la Sociedad Americana de Mecánica.

1988 – Owens Illinois amplia sus operaciones de vidrio y plástico mediante la adquisición de Brockway, Inc.

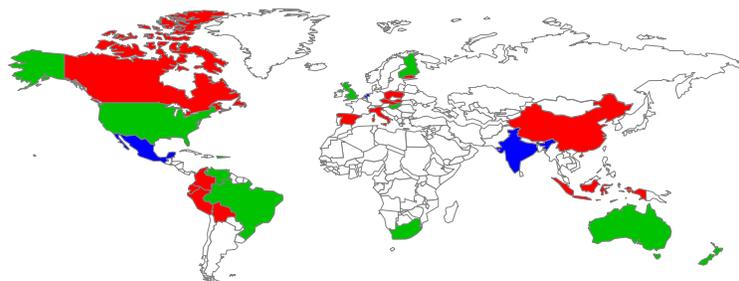
1991 – Owens Illinois completa unas ofertas públicas de acciones comunes transformándose en una compañía comercializada públicamente.

1992 – Owens Illinois adquiere Specialty Packaging Products, Inc., (SPPI), empresa norteamericana líder en la manufactura de atomizadores y tapas con sistema de bomba.

1998 Owens Illinois adquiere la división de envases vidrios y plásticos a nivel mundial, expandiéndose así las operaciones de manufactura de Owens Illinois en Australia, Nueva Zelanda, China, Indonesia, entre otros países.

2003 Owens Illinois posee más de 140 plantas de producción que se extienden en los cinco continentes.

2004 Owens Illinois completa la adquisición de *BSN*, la adición de 18 plantas en Europa y cerca de US \$ 1,5 billones en ventas hace de Owens Illinois el mayor productor de vidrio en los cuatro continentes. Vidrio: 25 Compañías en 24 países, en el área del Plástico: 24 compañías en 15 países. Principales líneas de productos (mercados): alimentos y bebidas, artículos del hogar, químicos, automotriz, cuidado personal y farmacia.



Operaciones en Vidrio y Plástico

Operación en Plástico

Operación en Vidrio

Figura 2.3 Mapa de ubicación de las plantas de Owens Illinois

2.1.1.2 Estrategias de mercado

Estrategia de integración de negocios

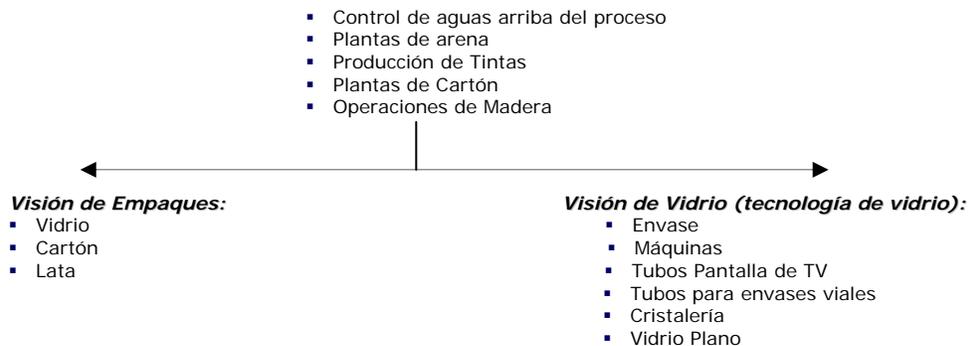


Figura 2.4 Estrategias de mercado

2.1.1.3 Evolución de productos

- Adecuación
- Aprendizaje
- Evolución
- Invención
- Practicidad
- Accesibilidad
- Seguridad
- Flexibilidad
- Calidad
- Protección
- Imagen
- Versatilidad
- Durabilidad
- Disponibilidad

Owens Illinois, Research and Development es el centro de investigaciones más grande de Ohio, y más grande en la industria de empaques existen más de 690 ingenieros trabajando en el área de investigación y desarrollo.

2.1.1.4 El vidrio proyecta el mejor futuro para Venezuela

A lo largo de más de 40 años sus productos han sido producidos bajo los más estrictos criterios de excelencia y superación. Por eso, han obtenido la certificación ISO 9002, que los acredita como la primera empresa en Venezuela, en la categoría de envases de vidrio en

recibirla. Un reconocimiento que los impulsa a seguir trabajando para afianzar aún más una empresa construida sobre el liderazgo técnico, la calidad comprobada y el servicio al futuro del país. Hoy en día el número de clientes son de 85 empresas, las cuales también unos altos niveles de exigencias de calidad.

2.1.1.5 Producción

• Envases de vidrio

- Bebidas- Licores- Alimentos
- Farmacéuticos y Químicos
- Decoración de envases

• Plásticos

- Envases
- C –pack

• Cristalería

• Vidrio Plano

2.1.1.6 clientes

- Cervecería Polar
- Alimentos Heinz
- Cervecera Nacional
- Pepsi Cola de Venezuela
- Mavesa
- Anayansi
- Kraft Foods de Vzla.
- **Novartis**
- Productos Quaker
- Ind. Láctea de Vzla.
- C. A. Ron Sta. Teresa

2.1.1.7 Visión

Es una empresa de avanzada tecnología y alto desempeño, comprometida a superar las necesidades de sus clientes, nacionales e internacionales, dedicada a fortalecer su posición de liderazgo con productos de calidad a precios competitivos estableciendo alianzas estratégicas con el firme propósito de alcanzar un alto nivel de confianza y crecimiento mutuo.

Llegar a ser la compañía de empaques líder a nivel mundial logrando un crecimiento consistente y sostenido ofreciendo productos de consumo preferidos, que permitan a

nuestros clientes contar con productos de sabor superior, saludable, de apariencia atractiva y beneficios de valor.

2.1.1.8 Política de calidad

En las empresas de Owens Illinois están comprometidos a mantener una cultura de calidad dirigida hacia sus clientes a través de:

- La elaboración de envases de vidrio que satisfagan las expectativas.
- La flexibilidad para satisfacer los pedidos.
- Una mejora continua del sistema de gestión de la calidad y el desarrollo de su personal.

En el siguiente diagrama se dan los porcentajes de la producción de envases a los diferentes ramos comerciales:

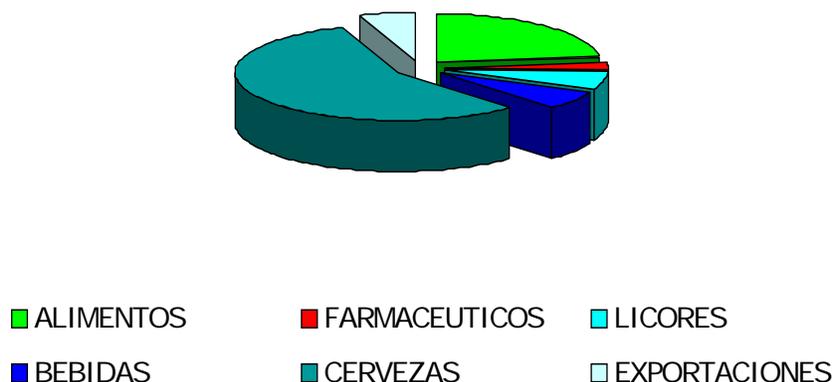


Figura 2.5 Diagrama de producción de envases

2.1.1.9 Misión

- **Liderar**

Liderar su industria en innovación, rentabilidad y crecimiento sostenido.

- **Transformar**

Transformarse en una empresa de crecimiento global, vibrante, moderna y alta intensidad.

- **Ganar**

Ser un ganador en el mercado y con la sociedad a través de la competitividad y del enfoque de negocio con altos valores éticos.

2.1.1.10 Proceso para la realización de un envase

El vidrio se trabaja cuando se encuentra en su estado plástico para conseguir distintas formas. Para lograrlo, existen cinco métodos básicos de producción que se emplean desde la antigüedad y que se han modificado para la actividad industrial: el colado, el soplado, el prensado, el estirado y el laminado.

A continuación se explica cómo se hace un recipiente:

- 1) Se vierte la masa líquida de cristal caliente dentro del molde con la forma del recipiente.
- 2) El aire empuja el material hacia abajo y se forma el cuello del objeto.
- 3) Por último se coloca la tapa y el aire empuja la masa de cristal hacia los lados.

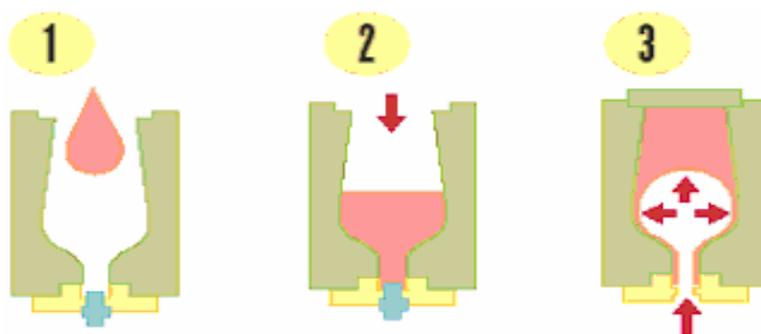


Figura 2.6 Proceso de conformado del envase

2.1.1.11 Estructura de Owens Illinois

- **Recurso Humano**
 - Total personal Activo 1.103.
- **Hornos y maquinaria**
 - La planta de Owen Illinois esta compuesta de lo siguiente: de 6 Hornos y 18 maquinarias. La línea de producción esta distribuida como se ve en la figura 2.7.

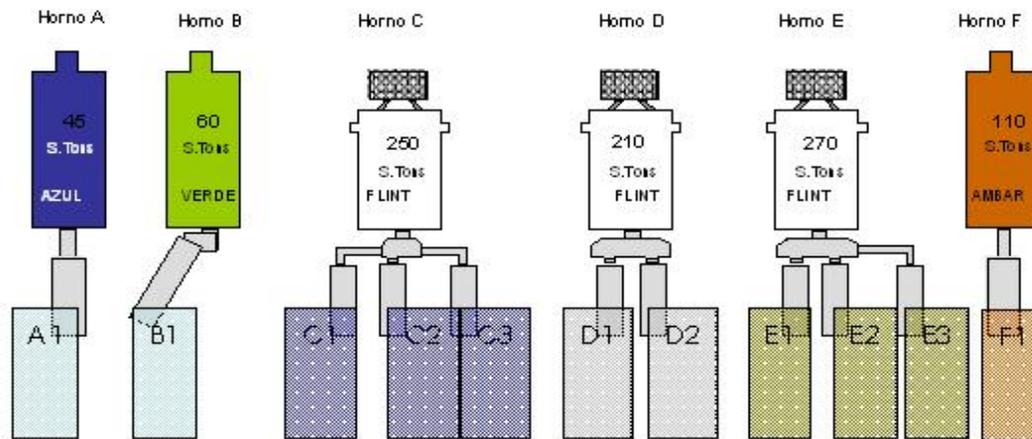


Figura 2.7 Proceso de producción

La empresa de Owens Illinois posee las siguientes maquinarias para realizar los envases:

- Soplo – Soplo (Blow & Blow)
- Soplo – Soplo Mejorado (Enhanced Blow & Blow)
- Prensa y Soplo (Press & Blow; 41 & 62 respectivamente)
- Prensa y Solplo Boca Angosta (Narrow Neck Press & Blow)
- Decorado ACL
- Plasti Shield y Polipropileno (3 Maquinas WSL)

2.1.2 Recicladora RENCY C.A



Figura 2.8 Entrada de Recicladora RENCY C.A

Esta compañía realiza las actividades de triturar y limpiar el vidrio que viene como producto del reciclaje primario, es decir de la recolección de envases por cooperativas y centros dedicados a comprar y negociar con envases recolectados en vías públicas y basureros. Este reciclaje primario es realizado por camiones que toman los envases de vidrio de los rellenos sanitarios, vertederos, compañías cerveceras y de pipotes de basura de cascos urbanos. La compañía realiza esta actividad hace mas de 40 años el trabajo de triturado y limpieza de vidrio, para Owen Illinois, posee una nómina de 35 trabajadores entre técnicos y obreros, además existen 2 ingenieros que se encargan del mantenimiento y administración del la recicladora RENCY C.A. Esta recicladora tritura un promedio de 160 toneladas diarias. Esta compañía funciona en Maracay Estado Aragua desde hace más de 45 años y es administrado por el señor Ramiro Ojeda.

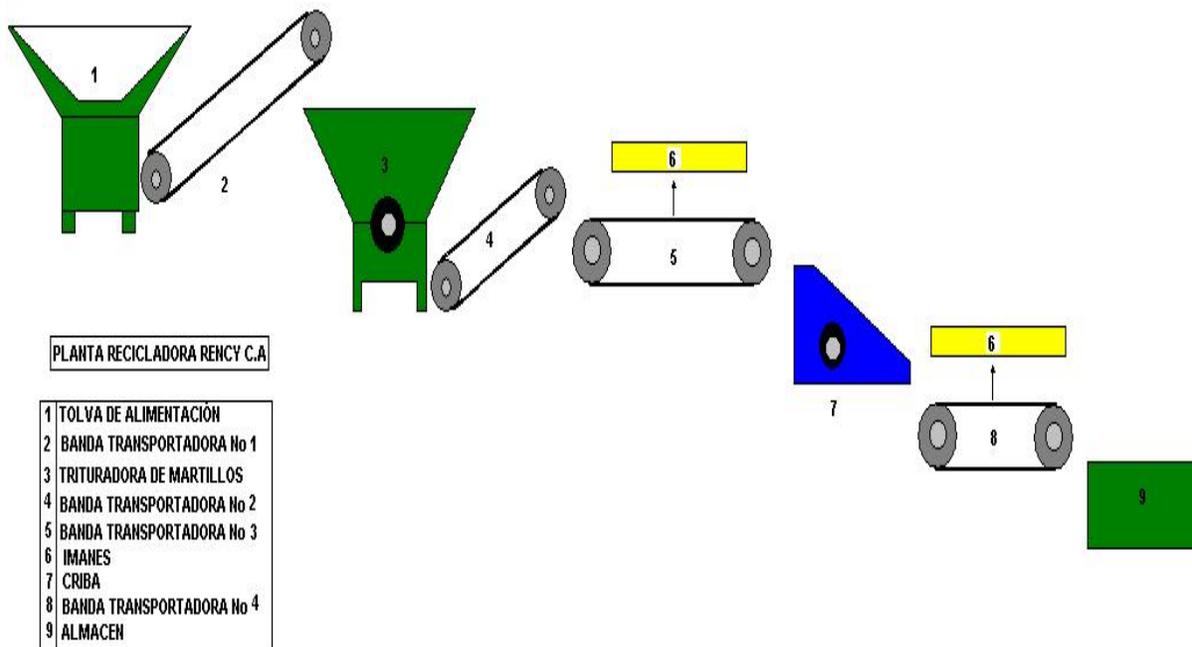


Figura 2.9 Flujograma de proceso de RENCY CA

En la figura 2.9 se puede apreciar los procesos que sigue la recicladora RENCY C.A para el triturado y limpieza del vidrio, en una primera parte una pala mecánica lleva envases de vidrio sucios provenientes de botaderos y rellenos sanitario a la tolva de alimentación (1), cuando llega a la tolva alimentación una banda transportadora (2) se encarga de subir todo el material que este allí hasta el molino de trituración que es un molino de martillos (3) donde se tritura este material, luego una nueva banda transportadora (4) se encarga de llevar el material a unos rociadores de agua que limpian con el vidrio triturado, después este material cae en otra banda transportadora (5) que posee un electroimán (6) que se encarga de separar los materiales de hierro (chapas) presente en el vidrio triturado finalmente este material libre de chapas pasa a la criba (7) con rociadores de agua la cual separa los pedazos de vidrio a un tamaño uniforme. Luego de pasar del cribado nuevamente se

transporta el vidrio triturado por una banda transportadora (8) la cual también posee un electro imán (6) el cual vuelve a revisar el material para que este libre de chapas y finalmente el vidrio triturado va a un deposito (9) donde se deja secar. Una vez seco es transportado por una pala mecánica hacia los camiones los cuales se encargan de transportar el vidrio triturado o cullet a la planta de Owens Illinois, donde se almacena y posteriormente es llevado a los hornos por tornillos sin fin, los cuales están ubicados en el silo de la empresa de Owens Illinois. El vidrio triturado o cullet que llega producto del triturado es mezclado con la materia prima virgen, en una proporción de 30 % a 40 % de cullet y el restante de materia virgen en el caso de vidrio flint y para vidrio de color ámbar suelen usarse hasta 60 % de cullet y el restante materia prima virgen.

2.1.3 PRODUCTOS DEL VIDRIO S.A



Figura 2.10 Entrada de PRODUVISA

Productos de Vidrio, S.A. (PRODUVISA) es una empresa manufacturera y comercializadora de envases de vidrio. En Venezuela, la manufactura de envases de vidrio ha estado signada por dos grandes períodos, antes y después de la década de los sesenta. Esta década, se caracterizó por la motivación del capital privado nacional y extranjero de invertir en nuevas empresas y nuevos productos, motivado por la iniciativa del Ejecutivo Nacional de establecer una política industrial, caracterizada por la sustitución de importaciones, generación de empleos y protecciones arancelarias. Lo anterior, motivó un desarrollo vertiginoso de la gran gama de posibilidades de fabricación del vidrio; desarrollo que se ha perpetuado y que hoy se mantiene. PRODUVISA tiene sus raíces en la Fábrica Nacional de Vidrio.

2.1.3.1 Historia

La elaboración de envases de vidrio comercialmente comenzó en Venezuela en el año de 1.900, con la Compañía Anónima Manufacturera de Vidrio y Cristal, siendo fundada por el General Manuel Corao Cedeño. La tecnología de esta fábrica era de origen alemán. Esta compañía mantuvo sus actividades hasta el año 1.929, cuando tuvo que cerrar debido a la crisis económica mundial sucedida en ese tiempo. En el año 1.931 la familia Corao instaló la Fábrica Nacional de Vidrio en Maiquetía, produciendo por primera vez envases de vidrio a escala industrial. Esta fábrica funcionó con éxito hasta el año 1.949, cuando por razones económicas tuvo que paralizar sus actividades. En 1.954 reinició sus labores con la inyección de mayor capital y una visión organizativa, lo cual impulsó a Inversiones Ferré C.A. a adquirirla a finales del año 1.956, cambiándole la razón social por Productos de Vidrio, S.A. Luego, en 1.963, deciden mudarse a la ciudad de Cagua, Edo. Aragua, a la Hacienda Santa Rosalía, debido a las necesidades de desarrollo que demandaba la construcción de instalaciones más acordes con la potencialidad de crecimiento y con el objetivo de alcanzar niveles más altos de productividad, lo que consigue definitivamente el 17 de Marzo de 1.966, con la inauguración de las nuevas instalaciones. A partir de esa fecha la empresa ha venido ampliando sus instalaciones. La capacidad de fundición actual es de 850 ton./día, lo que representa 2.200.000 envases/día, con 5 hornos, 11 líneas de producción, 9 máquinas de decoración y 3 etiquetadoras y equipos automáticos para selección y empaque de envases de vidrio; de la cual dedica el 15% al mercado de exportación, principalmente EE.UU., Centroamérica y el Caribe. PRODUVISA lanza al mercado envases de vidrio para cervezas, licores, refrescos, alimentos y medicinas; en sus líneas está en capacidad de ofrecer cuatro (4) coloraciones para los envases de vidrio: Flint (transparente), ámbar, verde en diversas tonalidades y azul. En 1.989 se inició el plan para desarrollar a PRODUVISA desde el punto gerencial y técnico del recurso humano y calidad del producto.

En los últimos cinco años se han realizado inversiones por el orden de los \$60 millones destinados a la adquisición de equipos. Esto ha permitido a la empresa contar con máquinas computarizadas de formación de envases de vidrio e instrumentos de impresión automática, que a la par de aumentar la capacidad instalada en un 50%, dotan a la organización de una mayor eficiencia productiva y óptima calidad de sus productos.

Actualmente sirve a las industrias productoras de: Alimentos, Cervezas, Gaseosas, Licores y Farmacéuticas, ofreciéndoles envases de calidad que satisfagan sus exigencias.

2.1.3.2 Misión

PRODUVISA como pionera en la industria del vidrio en Venezuela tiene como misión corporativa:

- Satisfacer a sus clientes internos y externos, ofreciendo la calidad exigida, un servicio eficaz, esmerada atención y costos de transferencia o precios justos. Promover el mejoramiento de la calidad de su recurso humano tanto en forma individual como colectiva. Contribuir a la conservación de los

recursos naturales no renovables, a través de la óptima utilización de éstos y estimular el reciclaje de envases de vidrio, el cual se justifica como el tipo de material de empaque más eficiente ecológicamente. Ser referencia de excelencia y así corresponder a sus trabajadores, accionistas, la comunidad y a clientes, razón de ser de la Organización.

2.1.3.3 Visión

- Ser una empresa productiva, innovadora, líder en calidad y servicio; que se destaque como una organización que estimula la creatividad de los recursos humanos, que retribuye con justicia a sus trabajadores y accionistas, contribuyendo positivamente a la conservación ambiental y al futuro del país.

2.1.3.4 Estructura Organizativa

La estructura organizativa de la empresa Productos de Vidrio, S.A. “PRODUVISA”, responde a las exigentes necesidades de rapidez y certeza de los trámites, evitando la burocratización de los procedimientos, que aletargan la oportuna toma de decisiones. Esta estructura, mostrada en los organigramas diseñados a continuación, tiende al acercamiento de los extremos y a la expansión horizontal de la organización, siempre manteniendo los niveles jerárquicos necesarios en toda empresa.

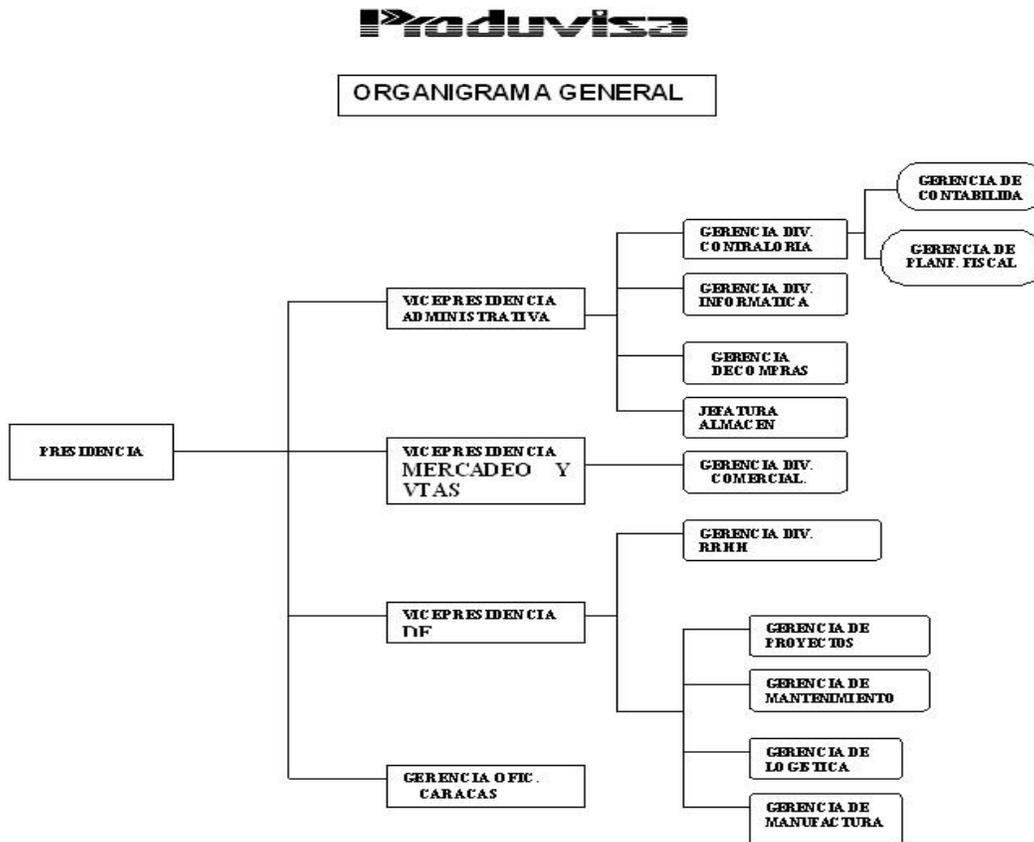


Figura 2.11 Organigrama general

Productos de Vidrio, S.A. “PRODUVISA” es una organización con un Capital Social, suscrito y pagado de mil quinientos cincuenta millones de bolívares (Bs.1.550.000.000,00) y una experiencia acumulada de más de 60 años, lo que la establece como la principal industrial fabricante de envases de vidrio del país. La calidad de sus productos, una tecnología de avanzada, pionera a nivel latinoamericano, y sobre todo un óptimo recurso humano, garantiza la satisfacción de sus clientes en el ámbito nacional e internacional.

La capacidad instalada actual de Productos de Vidrio, S.A. es de 850 TM de vidrio fundido por día, con 5 hornos que alimentan a 11 líneas de producción para producir envases en tres variedades de colores, Flint, Verde y Ámbar, y volúmenes que pueden variar desde los 0.1 litros hasta los 4 litros. Estos envases pueden ser decorados con 1, 2 y 3 colores y de igual forma despachados en cajas, bandejas o bulk a fin de satisfacer la diversidad de requerimientos de sus clientes.

En el mercado nacional la empresa controla un promedio del 45% de todos los consumos de envases de vidrio del país, siendo este predominio superior en determinados tipos de vidrio, como el caso del vidrio verde en donde el mercado depende en un 95% de la producción de Productos de Vidrio, S.A. Hoy por hoy, Productos de Vidrio, S.A. por su gran capacidad productiva y la alta calidad de sus productos, se vislumbra como el líder indiscutible en la fabricación del vidrio en el mercado Nacional y como el más seguro y constante suplidor de estos bienes, en el área de Centro América y el Caribe.

2.1.3.5 Descripción Literal del Proceso Productivo

La materia prima, nacional e importada, es pesada en una romana localizada en las instalaciones de la empresa; el peso se obtiene considerando la diferencia entre el peso del vehículo transportador cargado (peso bruto) con los insumos y el peso del mismo una vez descargado (tara). Una vez cuantificado el peso de los materiales recibidos, son descargados en tolvas de recepción y almacenes debidamente acondicionados. Para satisfacer los requerimientos diarios de insumos en la producción, la materia prima a granel es trasladada a través del túnel de transporte hacia los silos de almacenamiento, cuando se trata de materia prima reciclada, debe ser depositada con anticipación en un molidor el cual tritura este material para luego proceder a almacenarlo. Existen dos silos, el primero con una dimensión de doce (12) metros y el segundo de dieciocho (18) metros de altura; los mismos están divididos en quince (15) y diecisiete (17) Blinds o compartimientos, respectivamente, para almacenar materiales distintos.

Concluido el envase liso se procede a su decoración, para esto existe una máquina especializada que se encarga de estampar la denominación, figura o logotipo requerido para el caso; luego la botella pasa al archa de decoración y a través de la exposición al calor la pintura se adhiere a la misma, incorporándola a su estructura definitiva. Este proceso además, ofrece brillo y resistencia al decorado.

Posteriormente, el envase es sometido a un tratamiento especial lubricante para evitar que se adhieran unas con otras y además para darle el acabado terminal; finalmente, pasan a las máquinas paletizadoras que se encarga de ordenarlas en camadas de 500 botellas

aproximadamente; conformando un Bulk, los cuales pasan a las máquinas flejadoras y envolvedoras y el producto queda embalado para ser enviado a su comprador. También puede ser embalada en cajas, bandejas, etc., todo de acuerdo a las especificaciones suministradas por el adquiriente de los productos.

Merece la pena mencionar que todo el proceso es completamente automatizado, el traslado del producto, en todas las fases de la producción, se realiza por medio de un mecanismo transportador conformado por bandas metálicas, por lo tanto la mano de obra se utiliza solamente en funciones operativas y de supervisión, reduciendo al mínimo la posibilidad de error humano que conlleve a pérdidas en la producción. De la producción, no se genera ningún tipo de subproducto o desperdicio comercializable ya que todos los insumos procesados que por una u otra causa son rechazados se reciclan en su totalidad sin ningún tipo de merma o pérdida en los materiales.

La filosofía de calidad total, es utilizada en la planta de la empresa, detectando tempranamente cualquier deficiencia del envase elaborado y reciclándolo en ese mismo momento, evitando así, costos de mano de obra y carga fabril, que se incurrirían de determinarse la deficiencia al final de la línea. Este proceso continuo de revisión y control permite garantizar la calidad del producto terminado, el cual, una vez concluido se encuentra libre de errores en su fabricación.

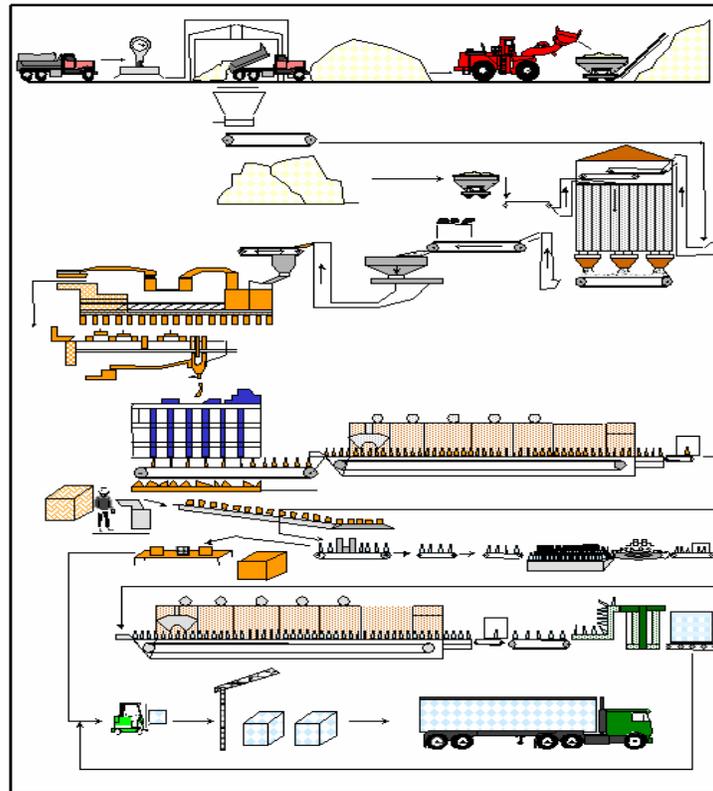


Figura 2.12 Diagrama de proceso para la elaboración de envases de vidrio

2.1.4 Recicladora SERPRO C.A



Figura 2.13 Tanque de almacenamiento de SERPRO C.A

Esta compañía es procedente de Colombia se encarga de limpiar y triturar el vidrio producto del reciclaje de envases de vidrio a la compañía de Produvisa S.A, la misma cuenta con 15 empleados entre obreros y técnicos los cuales se encargan de hacer mantenimiento y operación de dicha planta. Esta compañía esta ubicada en las mayas Estado Carabobo, funciona allí hace más de 50 años.

DIGRAMA DE LA RECICLADORA SEPRO C.A

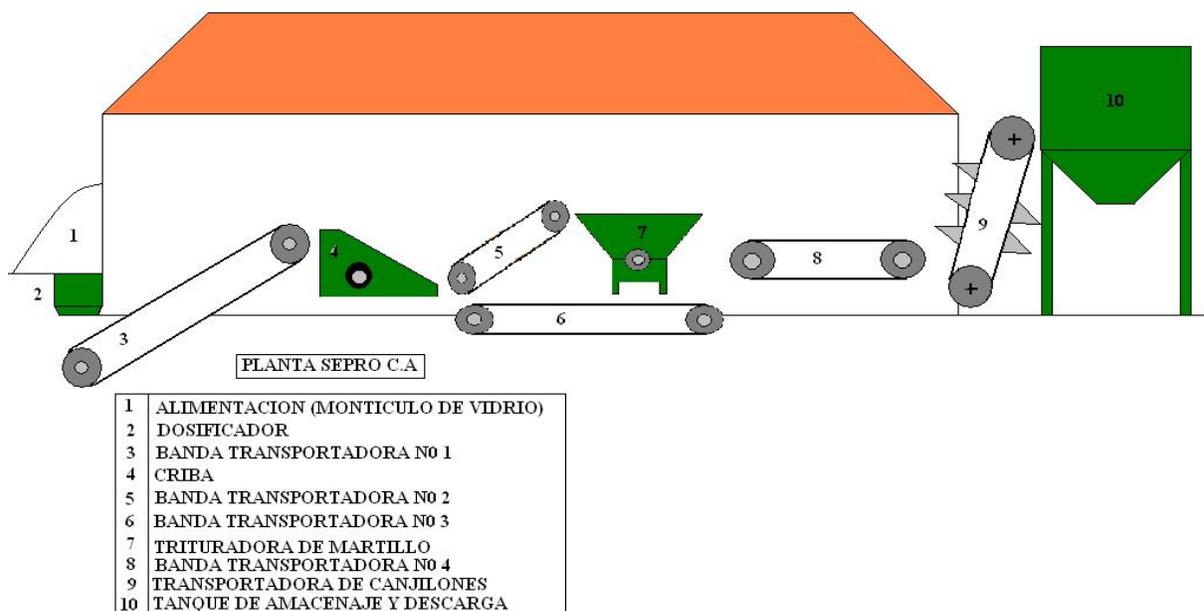


Figura 2.14 Diagrama de proceso para la elaboración de envases de vidrio

En la figura 2.14 se puede apreciar los procesos que sigue Serpro C.A para el triturado del vidrio, en una primera parte una pala mecánica lleva envases de vidrio sucios provenientes de botaderos y rellenos sanitario una parte situada al final de la compañía y forma un montículo (1), cuando llega allí un dosificador (2) se en carga de dejar los recipientes en una banda transportadora (3) la cual se encarga se subir todo el material que este allí hasta la criba (4) donde se selecciona el material que ya cumple la granulometría , luego una nueva banda transportadora (5) se encarga llevar el material que no cumple con la granulometría requerida al triturador de martillos (7), el material que ya cumple con la granulometría exigida se va por una banda transportadora(6) y se une con el material que viene del triturador de martillo(7) en una banda transportadora (8) para que se le separe todo el material de hierro (chapas), materiales menos densos (pitillos, tapas plásticas, etiquetas plásticas) y luego sea llevado para un transportador de canjilones(9) hasta un tanque de almacenamiento(10).

2.1.5 COTECNICA C.A

La empresa privada Cotecnica, administradora del vertedero controlado La Bonanza, sitio principal de disposición final de los residuos sólidos del área metropolitana de Caracas. En Venezuela, el Relleno Sanitario La Bonanza procesa cuatro millones de kilos diarios de desechos, recicla 800.000 kilos mensuales de desechos, cuenta con 70 trabajadores, cuenta la más moderna tecnología y la asistencia técnica CGEA. Los Desechos Sólidos Urbanos son aquellos que se generan en los espacios urbanizados, como consecuencia de las actividades de consumo y gestión de actividades domésticas (viviendas), servicios (oficinas, mercados, etc.) y tráfico viario (papeleras y residuos viarios de pequeño y gran tamaño). Inversiones Cotecnica ha instrumentado una importante logística compuesta por material humano, equipos de alta tecnología y una minuciosa organización para poder recolectar diariamente millones de kilos de basura en tiempo adecuado y causando un mínimo impacto ambiental. Así mismo Inversiones Cotecnica limpia cada día 1.128 Kilómetros de calles y avenidas, aparte de realizar una importante tarea con plazas, bulevares y eventos especiales en el Municipio Chacao y en el Municipio Libertador.

Inversiones Cotecnica atiende 10 Parroquias del Municipio Libertador (Sucre, Antímamo, Caricuao, Macarao, La Vega, El Paraíso, San Juan, San Agustín, Santa Teresa, El Junquito y parte de Santa Rosalía). En ellas recolecta 1.100 toneladas por día de desechos, cuenta con 1.250 trabajadores y limpia 910 Km. diarios de calles y avenidas. Para ello posee una flota variada de equipos especiales adaptados a satisfacer las diversas necesidades de los usuarios de Caracas.

Desde la fundación la toma por parte de Cotecnica se ha observado en los sitios de disposición final hay muy poco el aporte que se efectúa por parte de compañías al proceso de recuperación de materiales; apenas el 2,9 % desde La Bonanza - Caracas. Si consideramos en un poco mas de 1/3 el peso del área metropolitana de Caracas en la vida nacional, en una simple relación lineal estableceremos que difícilmente llegue a un 10% la recuperación nacional de residuos sólidos desde los sitios de disposición final.

En la recuperación de residuos sólidos, la variación de la calidad en los materiales desechados influye determinadamente en su recuperación desde los sitios de disposición final. Un ejemplo categórico se ubica en el papel, el cual al mezclarse con desperdicios de alimentos entre otros residuos y mantenerlos compactados dentro del camión recolector, absorbe gran cantidad de humedad y restos de aquellos, generando el rechazo del producto recolectado por parte de los compradores. Igual destino sufre los otros materiales

2.1.5.1 Relleno sanitario La Bonanza



Figura 2.15 Entrada del relleno sanitario La Bonanza

2.1.5.2 Tratamiento de Lixiviados en el Relleno Sanitario La Bonanza

Los lixiviados son todos aquellos líquidos que han entrado en contacto con los desechos y que al contaminarse no pueden ser vertidos nuevamente al ambiente sin pasar previamente por un tratamiento adecuado que les restituya sus características no contaminantes al ambiente. En el Relleno Sanitario la Bonanza se ha instalado por primera vez en Venezuela, no solamente un sistema de captación de lixiviados para llevarlos al sitio donde van a ser tratados sino también lagunas de tratamiento. Los lixiviados son captados en el fondo de las celdas a través de tuberías de polietileno de alta densidad y luego son conducidos a sendas lagunas de tratamiento, donde a anteriormente eran descargados sin ningún tipo de tratamiento. De un proceso de aeración y un proceso de decantación, se tratan los lixiviados que Constantemente se están analizando las nuevas tecnologías que aparecen en el mercado en los sistemas de tratamiento para analizar la conveniencia de su incorporación en el mejoramiento de los procesos.

Material	Recuperación nacional (toneladas/año 1998)	Recuperación desde el vertedero La Bonanza (toneladas/ año 1999)	%
Papel y cartón	266897	9859,94	3,694
Plástico	2000	294,96	14,748
Vidrio - botellas	216563	1353,35	0,625
Metales ferrosos	49859	3349,2	6,717
Aluminio	17809	504,01	2,830
Textiles	4800	693,71	14,452
Otros	887	85,49	9,638
Totales	558815	16140,66	52,702

Tabla 2.1 Cantidad de desechos sólidos recuperados por La Bonanza [19]

Los sistemas de tratamientos de lixiviados y de recuperación de biogas son únicos en Venezuela. Para estar dentro de los estándares de ONYX, los desechos se depositan en celdas impermeabilizadas a través de geomembranas de polietileno de alta densidad protegidas por geotextil, que garantizan que los líquidos no vayan a contaminar las aguas subterráneas. Inversiones Cotecnica recolecta en el Municipio Chacao 180 toneladas de desechos por día, para ello cuenta con 250 trabajadores y limpia 218 Km. diarios de calles y avenidas. De allí que siempre será conveniente la participación de la familia para optimizar el proceso de recuperación de materiales desechados, mediante la segregación de los diversos componentes desde el mismo hogar con el propósito de depositarlos en envases prediseñados y ubicados en sitios específicos de fácil acceso a toda la comunidad. Aquí entra en juego la participación decisiva tanto de las autoridades municipales y la empresa privada, adecuando los sitios específicos para la disposición de materiales separados.

2.1.5.3 El Biogas en el Relleno Sanitario La Bonanza

El biogas es producto de la descomposición de los desechos. El elemento más contaminante dentro de sus componentes es el gas metano. El gas metano es 21 veces más contaminante que el dióxido de carbono con relación al efecto invernadero. Es decir, que si se instala un sistema de captación del biogás y se quema, se producen emisiones que son 21 veces menos contaminantes al ambiente. En el Relleno Sanitario la Bonanza se ha instalado y está en operación la primera etapa de un sistema de captación y quemado de biogas que está procesando unos 3900 metros cúbicos por hora de biogas con un contenido medio de 35% de metano. El potencial de la Bonanza por los próximos 20 años es de unos 12000 metros cúbicos por hora y se está finalizando el diseño de la segunda etapa que permitirá captar todo este gas. Este gas se está quemando sin producir ningún valor agregado. ONYX tiene amplia experiencia en distintos Rellenos Sanitarios a través del mundo de valorización de este biogas a través de la producción de energía eléctrica. Esta energía "verde" vendría a sustituir aquella energía generada a través de combustibles fósiles preservando el ambiente.

Existe un proyecto, el cual ha sido sometido a consideración de las autoridades para aprovechar el potencial de la Bonanza el cual se estima entre 16 y 20 Megavatios, suficiente para unas 60000 personas. Como conclusión final obtenida de la "Encuesta Nacional Sobre la Recolección de Residuos Sólidos", del total de 335 municipios que conforman la división Político Territorial del país, sólo en 22 de ellos se gestionan actividades con la comunidad encaminados a la recuperación de residuos sólidos desde los hogares.

2.1.5.4 Disposición Final

La disposición final de los desechos recolectados es el eslabón final de la cadena de saneamiento ambiental. Existe en el grupo la más amplia experiencia acumulada a través de la operación de cientos de sitios de disposición final en el mundo. Estos sitios de disposición final incluyen entre otros: Rellenos Sanitarios, Plantas de Incineración, Centros de Valorización y Recuperación incluyendo el Compostaje.

Cada año ONYX elimina más de 20 millones de toneladas de residuos sólidos respetando estrictamente las regulaciones ambientales, gracias a la utilización de tecnologías de procesamiento que reducen las emisiones de líquidos y gases contaminantes.

2.1.5.5 Servicios Regulares

Son prestados en forma exclusiva por la empresa y su pago está incluido en el régimen tarifario. Incluyen la recolección de los desechos de origen doméstico, comercial e industrial y la profilaxis animal. Estos servicios contemplan el transporte de los desechos hasta el sitio de disposición final, también incluyen la limpieza de calles, avenidas y bulevares, a través de barrido manual y lavado de calles según programación especial. Instalación de cestas papeleras o contenedores de gran tamaño. Cotecnica también presta apoyo para atender desastres por eventos naturales como terremotos y emergencias.

2.1.5.6 Los Servicios Especiales

Son prestados en libre competencia y su costo no está incluido en el régimen tarifario. Se incluyen aquí la recolección de escombros, chatarras, limpieza de quebradas, mantenimiento de áreas verdes, profilaxis vegetal, limpieza con ocasión de eventos especiales y transporte de agua.

2.2 HISTORIA DEL VIDRIO

El vidrio se formó naturalmente a partir de elementos comunes presentes en la corteza terrestre mucho antes de que nadie pensara siquiera en experimentar con su composición, darle forma o apelar a las innumerables aplicaciones que tiene en la actualidad. La obsidiana, por ejemplo, es una combinación natural de óxidos fundidos por los intensos calores volcánicos y vitrificados (convertidos en vidrio) por enfriamiento rápido en contacto con el aire. Su color negro y opaco se debe al contenido relativamente elevado de

óxido de hierro. Su resistencia química y su dureza se comparan favorablemente con las de muchos vidrios comerciales.

La tecnología del vidrio ha evolucionado a lo largo de 6.000 años y algunos principios modernos son de origen muy remoto. La fabricación de los primeros vidrios sintéticos se pierde en la antigüedad y en la leyenda. La loza la inventaron los egipcios, que moldeaban figurillas de arena (SiO_2), el más conocido de los óxidos vitrificables. Se recubría con natrón, el residuo formado por las inundaciones del Nilo, compuesto principalmente por carbonato cálcico (CaCO_3), carbonato sódico (Na_2CO_3), sal común (NaCl) y óxido de cobre (II) (CuO) que, calentado por debajo de $1.000\text{ }^\circ\text{C}$, forma una película vitrificada por difusión de los fundentes CaO y Na_2O y la subsiguiente reacción en estado sólido con la arena. El óxido de cobre daba a la pieza un atractivo color azul.

Un avance trascendental en la tecnología del vidrio fue el uso de la caña de soplar, usado por primera vez en el año 100 a. C aproximadamente. Desde entonces se produjo una rápida evolución en la técnica de fabricación.

El primer vidrio era coloreado debido a la presencia de diversas impurezas, como los óxidos de hierro y cromo. El primer vidrio incoloro se produjo hace unos 1.500 años. En esa época la fabricación de vidrio se desarrolló en Roma y desde allí se extendió a muchos otros países europeos. Numerosas vidrierías se establecieron en Venecia, donde la técnica conoció un importante desarrollo. En el siglo XIII, muchas de las factorías de vidrio se trasladaron de Venecia a la cercana isla de Murano, que siguen siendo centrando en Italia la producción manual de vidrio.

En el siglo XVI se hacía vidrio en toda Europa. En la actualidad, el cristal de Bohemia de la República Checa es bien conocido por su belleza, y de las fábricas de vidrio del Reino Unido e Irlanda salen vajillas de vidrio de plomo de gran calidad. Suecia es otro centro de producción de artículos de vidrio artísticos.

En América del Norte, el primer establecimiento fabril construido fue precisamente una fábrica de vidrio. Los colonos ingleses comenzaron a producir vidrio a comienzos del siglo XVII en Jamestown, Virginia.

Hoy en día el vidrio se fabrica en todo el mundo. Muchos productos de vidrio se producen en líneas totalmente automatizadas. Aunque el vidrio es uno de los materiales más antiguos, sus propiedades son únicas y todavía no han llegado a conocerse en su totalidad.

La actual industria del vidrio abarca varios e importantes segmentos del mercado, tales como vidrio plano, vajilla doméstica y envases, vidrio óptico o de materiales de vidrio para uso científico. Los mercados del vidrio óptico y científico suelen estar muy regulados y en la mayoría de los países se hallan dominados por uno o dos proveedores. Estos mercados mueven un volumen mucho menor que los de consumo. Todos ellos se han desarrollado durante años gracias a innovaciones en la tecnología específica del vidrio o a avances en la fabricación. La industria del envase, por ejemplo, se vio impulsada por la evolución de las líneas de embotellado rápido implantadas a comienzos del siglo XX. La industria del vidrio

plano experimentó un auténtico salto hacia adelante gracias al desarrollo del proceso de vidrio flotado en los primeros años del decenio de 1960. Ambos segmentos mueven en la muchos miles de millones de dólares en todo el mundo.

2.2.1 Etimología y definición del vidrio

Bajo la amplia denominación genérica de vidrios o de cuerpos vítreos queda comprendida una gran variedad de sustancias que, aunque a temperatura ambiente tienen la apariencia de cuerpos sólidos que les proporciona su rigidez mecánica, no pueden considerarse como tales, ya que carecen de la estructura cristalina que caracteriza y define al estado sólido. Si por la estabilidad de su forma los vidrios podrían asimilarse a sólidos, desde el punto de vista de su desorden estructural sus semejanzas con los líquidos son mucho más acusadas. Este hecho, que constituye una limitación para incluir a los vidrios entre los sólidos, resulta sin embargo insuficiente para autorizar a aceptarlos como líquidos, si bien puede justificar la designación de líquidos de viscosidad infinita en muchas ocasiones se les ha aplicado.

Los cuerpos vítreos se caracterizan por una serie de propiedades generales y comunes a todos ellos. Tales características van a servir para definir a los vidrios, si bien no proporcionarán información alguna acerca de su constitución estructural. Una primera particularidad de los vidrios es de carecer de un verdadero punto de fusión o temperatura de liquidus que sólo presentan los sólidos cristalinos y que es la temperatura a la cual la fase cristalina coexiste en equilibrio con la fase fundida. Los cuerpos vítreos pasan de un modo reversible de su forma fundida en estado líquido al estado rígido o congelado sin la aparición de ninguna nueva fase en el sistema. El paso de una forma a otra transcurre, por lo tanto, sin variar el número de grados de libertad del sistema, a diferencia de la transición líquido-sólido caracterizada por la aparición de una nueva fase y la disminución consiguiente de uno de sus grados de libertad.

De la palabra latina vitrum se han derivado las voces que todas las lenguas románicas, a excepción de la rumana que ha incorporado la raíz eslava, emplean para referirse al vidrio.

En cuanto al origen de la denominación anglosajona glass o germánica glas existen algunas discrepancias, pues si bien algunas opiniones se inclinan a favor de su origen latino haciéndola derivar de la palabra glacies (hielo), de la que también proviene el término francés glace (espejo, vidrio plano pulido), otros buscan su procedencia en la palabra británica glassum con que se designaba antiguamente al ámbar.

Resulta curioso y paradójico que sea también la palabra empleada por los griegos para designar el hielo la que haya dado origen, a diferencia de la correspondiente voz latina, a la denominación casi universal de cristal que, desde el punto de vista estructural, representa un concepto tan opuesto al vidrio.

El término griego no ha dado nombre a este material en otros idiomas, pero ha servido en cambio para prestar su raíz a voces castellanas, tales como hialino o hialóideo que hacen referencia a algunas cualidades del vidrio y muy especialmente a su transparencia.

El especial comportamiento de los vidrios y las peculiaridades de su estado físico que, si bien les proporciona ciertas analogías con los sólidos cristalinos, les asemeja mucho más a los líquidos, no permite enunciar con rigor una definición basada en conceptos físicos y estructurales. Por otra parte, la complejidad de la mayoría de los vidrios y la diferente naturaleza química de los mismos impiden definirlos atendiendo a su composición. En el aspecto tecnológico sus campos de aplicación son tan diversos que tampoco es fácil llegar a una unificación de criterios desde un punto de vista unitario.

Se comprende, por lo tanto, la imposibilidad de conjugar, con la concisión y generalización que toda definición requiere, las exigencias fisicoquímicas conceptuales con la naturaleza del estado vítreo y sus aplicaciones tecnológicas. A estas limitaciones se debe que todas las definiciones propuestas resulten más o menos incompletas.

Pero entonces ¿qué son los vidrios? En realidad, no es fácil definir qué es un vidrio: paradójicamente, el gigantesco desarrollo de la tecnología del vidrio hace cada vez más difícil dar una respuesta simple o única a esta pregunta.

La mejor definición de los vidrios viene por el lado de la tecnología, es decir, describiendo su proceso de fabricación, como por otra parte es también el caso de la mayor parte de los materiales. La definición más generalmente aceptada hoy en día es, justamente una definición tecnológica, dado que el vidrio tiene un origen empírico y no científico, y dice que:

“Los vidrios son materiales sólidos que se obtienen por enfriamiento rápido de una masa fundida, impidiendo su cristalización.” Esta definición tiene, sin embargo, algunos inconvenientes: implica que para saber si un determinado material es un vidrio deberíamos conocer cómo se obtuvo, cosa que no siempre es posible. Además, no incluye ciertos vidrios especiales obtenidos por otras técnicas (por ejemplo, deposición de fase de vapor, o sol-gel), ni los vidrios cerámicos, que son materiales obtenidos por enfriamiento de una masa fundida, pero en los cuales se lleva luego a cabo una cristalización parcial controlada. Con todo, estas excepciones corresponden a vidrios muy especiales, y no invalidan, en su carácter general, la definición dada que, por otra parte, tiene grandes virtudes: relaciona el producto con el proceso de su fabricación, no liga el carácter vítreo de un material con su composición química ni con determinadas propiedades; implica que los vidrios tienen una estructura esencialmente no cristalina o amorfa., y cosa muy importante, recalca que el vidrio es un sólido.

La definición apuntada se da a veces en forma más general y sintética:

“ Los vidrios son sólidos amorfos” Esta definición es también correcta, desde el punto de vista científico, aunque no tan completa como la anterior ya que no hace ninguna referencia al proceso de fabricación, y con las mismas limitaciones en lo que se refiere a los vidrios cerámicos o parcialmente cristalizados. Pero deben además tenerse presente dos cosas: primero, que la estructura de los vidrios no es absolutamente amorfa, y segundo, que la inversa no siempre es cierta, es decir, no todo sólido amorfo es un vidrio. Los que se

dedican a estudiar la ciencia del vidrio prefieren esta última definición, en tanto que los que están implicados en la tecnología de su fabricación prefieren la anterior.

Si únicamente se consideran sus principales propiedades técnicas, el vidrio común puede definirse como un producto inorgánico amorfo, constituido predominantemente por sílice, duro, frágil y transparente, de elevada resistencia química y deformable a alta temperatura.

La definición adoptada por la A.S.T.M. C 162-80 considera que un vidrio es un producto inorgánico fundido que se ha enfriado hasta un estado rígido sin experimentar cristalización.

Según la norma venezolana COVENIN 3501:1999 NTC 3536:1993 el vidrio es:

“Un material inorgánico, no metálico, producido mediante la fusión completa de materias primas a altas temperaturas hasta lograr un líquido homogéneo, el cual se enfría posteriormente hasta alcanzar una condición rígida, esencialmente, sin llegar a la cristalización”.

2.2.2 Materias primas para la fabricación de vidrio

Las materias primas empleadas para la fabricación de vidrios convencionales pueden clasificarse, siguiendo un criterio empírico basado en el papel que desempeñan durante el proceso de fusión, en cuatro grupos principales:

- 1) Vitrificantes
- 2) Fundentes
- 3) Estabilizantes
- 4) Componentes secundarios.

Desde el punto de vista estructural, los vitrificantes corresponden a los óxidos formadores de red; los fundentes, a los óxidos modificadores, y los estabilizantes a aquellos óxidos que, bien porque pueden actuar de ambas maneras, o bien por su carácter intermedio, no son asimilables a ninguno de los grupos anteriores.

Entre los componentes secundarios se incluyen las materias primas que se incorporan en proporciones generalmente minoritarias, con fines específicos, pero cuya intervención no es esencial en lo que a la formación de vidrio se refiere. Tales componentes pueden ser afinantes, colorantes, decolorantes, opacificantes, etc.

2.2.2.1 Vitrificantes:

Bajo esta denominación genérica se agrupan todas las sustancias típicamente formadoras de vidrio. De ellas sólo se mencionarán solo las que por su más frecuente aplicación en los vidrios convencionales, revisten un mayor interés práctico. En las sustancias formadoras básicas no se toman en cuenta otras sustancias que le dan coloración al vidrio como lo son los óxidos de cromo, cobalto, de hierro.

Estas sustancias formadoras son:

- Sílice
- Anhídrido bórico
- Anhídrido fosfórico
- Otros (óxidos de arsénico, antimonio, germanio y vanadio)

2.2.2.2 Fundentes

La finalidad de este grupo de componentes es favorecer la formación de vidrio, rebajando su temperatura de fusión, y facilitar su elaboración. Los óxidos que así actúan son los modificadores de red y, dentro de ellos, son los alcalinos los que mejor cumplen este cometido. La adición de fundentes viene limitada por la estabilidad del vidrio. La incorporación de óxidos modificadores a la red vítrea determina la apertura de enlaces Si-O-Si y, por lo tanto, la creación de iones oxígeno no puente. Ello trae consigo una disminución de la cohesión del retículo que se manifiesta generalmente en un detrimento de las propiedades del vidrio (aumento del coeficiente de dilatación térmica, debilitamiento de la resistencia mecánica y de la estabilidad química, disminución de la viscosidad, mayor tendencia a la desvitrificación, etc). Entre los más utilizados podemos mencionar:

- Óxido de sodio
- Óxido de litio
- Óxido de calcio
- Óxido de magnesio
- Óxido de bario

2.2.2.3 Estabilizantes

Son aquellos óxidos que, además de estabilizar ciertas propiedades, actúan con un carácter intermedio entre el de los verdaderos formadores de red y el de los modificadores. De este amplio grupo sólo se mencionarán lo que más frecuentemente intervienen en la composición de los vidrios industriales:

- Óxido de aluminio
- Óxido de plomo
- Óxido de cinc

2.2.2.4 Componentes secundarios

En la composición de los vidrios intervienen habitualmente otros constituyentes minoritarios como lo son:

- Colorantes
- Decolorantes
- Opacificantes

2.2.2.5 Otros componentes

Aunque no puedan ser considerados como materias primas propiamente dichas, deben también citarse otros dos componentes, cuya adición a la mezcla vitrificable constituye una práctica habitual en la fabricación industrial. Se trata del agua y del denominado casco o calcíl. Ambas adiciones ejercen un efecto acelerador de las reacciones de formación del vidrio y contribuyen a mejorar su homogeneidad.

- Agua: El agua desempeña, por una parte, un papel físico como aglomerante de los granos de la mezcla, evitando la desagregación que durante las operaciones de almacenamiento, descarga y transporte podrían tener lugar por arrastre de los polvos más finos y ligeros o por segregación de los más densos. Por otra parte, actúa como disolvente de los componentes más solubles, especialmente el carbonato sódico, dando lugar a una solución alcalina que se difunde por capilaridad en la mezcla y forma una película líquida alrededor de los granos de sílice que hace más íntimo el contacto de éstos con el álcali. El porcentaje de humedad alcanza un valor óptimo entre un 4 y un 5 %. Contenidos de agua superiores serían contraproducentes, pues no sólo desvirtuarían esta función homogenizadora, sino que además requerirían un consumo inútil de energía adicional para su evaporación.
- Casco: En la fabricación de todo tipo de vidrio es conveniente, por razones económicas, introducir en la mezcla una cierta cantidad de vidrio del mismo tipo del que se desea fabricar, en forma de vidrio roto o casco de vidrio. Esta expresión es la recomendada por la Comisión Internacional del Vidrio como equivalente español del inglés cullet, del francés calcin, y del alemán Glasscherben, y es sinónimo de rezagos de vidrio y expresiones similares. El casco de vidrio que se adiciona a la misma vidriería puede tener dos orígenes: uno interno y otro externo. El interno (“casco propio”) proviene de la misma fábrica, ya que en los procesos de elaboración hay siempre un descarte de vidrio, por roturas, fallas, sobrantes, etc.; puede ser en porcentajes muy variables con respecto al vidrio que sale del horno de fusión, según el proceso de conformado y la selección más o menos rigurosa de los productos. El externo (“casco extraño”) es adquirido fuera de la fábrica, y está compuesto por desechos domiciliarios, municipales e industriales recuperados de alguna manera. Esta última práctica no es muy recomendable para los vidrios incoloros de buena calidad, dada las impurezas que contiene el casco de vidrio, pero es usual para la fabricación de vidrios para envases de color (verde y ámbar). En lo que respecta al porcentaje a utilizar, no pueden fijarse límites; suelen usarse porcentajes comprendidos entre el 10 y 40%, pero es relativamente común usar el 50 y hasta el 80 % de la carga del horno. Teóricamente, nada impide que se use el 100 % de casco de vidrio, siempre que esté debidamente purificado y su composición sea homogénea. Las aseveraciones de que un elevado porcentaje de casco hace que los productos presenten mayor fragilidad no se corresponden con la observación experimental y, por lo tanto, carecen de fundamento. La introducción de casco de vidrio juntamente con la mezcla vitrificable suele complicar los cálculos de rendimiento.

2.2.3 El proceso de elaboración del vidrio

La elaboración del vidrio es un largo y complejo proceso que comienza con la fusión de la mezcla y termina con la salida del producto frío a la desembocadura del túnel o del arca de recocido. El proceso puede considerarse dividido en seis etapas más o menos diferenciadas:

- Reacción de los componentes y formación de vidrio
- Disolución del excedente de sílice sin reaccionar
- Afinado y homogenización
- Reposo y acondicionamiento térmico
- Conformación
- Enfriamiento y recocido

2.2.3.1 Reacción de los componentes y formación de vidrio

La formación de vidrio comprende una serie de transformaciones físicas y reacciones químicas a alta temperatura, en virtud de las cuales la mezcla vitrificable se convierte en una masa vítrea.

Durante este proceso los componentes de la mezcla experimentan múltiples modificaciones que incluyen transformaciones cristalinas, la evaporación del agua de humedad, la deshidratación de las sales hidratadas, la disociación de los carbonatos y sulfatos, las reacciones entre las distintas especies químicas, su fusión y la de los productos de reacción, y su disolución en el fundido que se va formando. La simultaneidad con que se producen algunas de estas transformaciones fisicoquímicas, por una parte, y el elevado número de componentes que intervienen en los sistemas de la mayoría de los vidrios, por otra, hacen muy complejo el estudio de los equilibrios de todas estas reacciones, por lo que, para poder abordarle, es preciso referirle a sistemas parciales más sencillos.

Aunque las reacciones químicas entre los componentes de la mezcla vitrificable empiezan a producirse a bajas temperaturas, mientras éstos se hallan todavía en estado sólido, transcurren con gran lentitud hasta que alcanzan la temperatura de formación de los primeros eutécticos y tiene lugar la aparición de la fase líquida. La reacción se inicia siempre en la superficie de los granos, en los puntos de mayor actividad, donde existen cargas libres y valencias sin saturar, y es tanto más eficaz cuanto mayor sea la superficie específica de los granos y más íntimo su contacto.

2.2.3.2 Disolución del excedente de sílice

Después de haber reaccionado entre sí los componentes de la mezcla vitrificable y de haber dado lugar a la formación de una fase fundida, queda todavía un exceso de sílice sin digerir por el vidrio. Su incorporación se lleva a cabo mediante un lento proceso de disolución regido por un mecanismo de difusión. Así, pues, el tiempo que tardan los granos de arena en disolverse es directamente proporcional al cuadrado de su radio e inversamente a su coeficiente de difusión. De acuerdo con ello, parecería conveniente disminuir lo más

posible su tamaño; pero, si bien es cierto que así aceleraría su disolución, también tendría el inconveniente de que se produciría un notable y prematuro aumento de la viscosidad del fundido, sin dar tiempo a que se eliminaran parte de los gases disueltos y ocluidos en él, lo que dificultaría posteriormente su afinado. Es importante que todo el cuarzo se disuelva con relativa rapidez en el vidrio. De lo contrario, los granos tendrían a acumularse formando una capa sobre la superficie del fundido a la que llegan ascendiendo lentamente, en ocasiones arrastrados en su movimiento por las propias burbujas que se producen en su reacción y que quedan adheridas a sus bordes.

2.2.3.3 Afinado y homogenización del vidrio

Una vez disueltos en el fundido los últimos residuos sólidos de la mezcla, la masa vítrea resultante presenta todavía numerosas heterogeneidades. Al fundir los productos de reacción de los componentes y al disolverse los granos de sílice, se producen variaciones locales de la composición que constituyen pequeños recintos que dan al conjunto una estructura celular discontinua. Estas células, cuyo tamaño suele oscilar entre 1 y 3 mm, se diferencian entre sí no sólo por su composición, sino también consecuentemente por su distinta viscosidad y tensión superficial que dificultan su interdifusión y determinan que se establezcan límites interfaciales bien definidos. Los recintos de mayor tensión superficial adoptan formas convexas y por su mayor tendencia retráctil son los que presentan mayor estabilidad y los que más tardan en homogenizarse. Junto a estas inclusiones vítreas el fundido contiene una gran cantidad de gases disueltos y ocluidos que, lo mismo que aquéllas, es preciso eliminar para conseguir el grado de homogeneidad que requiere el vidrio acabado. El proceso de homogenización de la masa vítrea fundida y de eliminación de parte de los gases disueltos y de las burbujas ocluidas recibe el nombre de afinado.

Dentro de este proceso uno de los aspectos que reclama mayor atención es el de la interacción del vidrio con las fases gaseosas que se encuentran en contacto con él. Su gran importancia reside no sólo en la complejidad y diversidad de las reacciones que tienen lugar, sino también en sus repercusiones prácticas, por cuanto el equilibrio gas-vidrio determina la disolución gaseosa, la formación y eliminación de las burbujas y, en definitiva, el grado de calidad del producto obtenido.

2.2.3.4 Reposo y acondicionamiento térmico

A la etapa de afinado, en la que el vidrio fundido debe alcanzar un grado de homogenización física y química lo más perfecto posible, le sucede una etapa de reposo en la que ha de adquirir también su homogeneidad térmica. Tras el calentamiento adicional a que se le había sometido inmediatamente antes de disminuir la viscosidad y facilitar así la eliminación de los gases, tiene que ser enfriado en la zona de trabajo del horno, entre unos 300 y 350 °C, hasta que alcance uniformemente en toda su masa la temperatura adecuada al proceso de conformación a que vaya a ser sometido. Con este acondicionamiento térmico se persigue además igualar la viscosidad y, con ello, la velocidad del flujo y el reparto de materia para conseguir espesores uniformes y evitar defectos de forma.

En esta etapa disminuyen considerablemente las corrientes del fundido y éste entra en una fase de reposo. No obstante, durante ella aún puede completarse la última parte de la operación de eliminación de gases por reabsorción, al decrecer la temperatura, de las burbujas residuales que eventualmente hubieran quedado.

Con el acondicionamiento térmico concluye el proceso de fusión del vidrio y éste queda en disposición de ser extraído y moldeado en su forma definitiva.

2.2.3.5 Procedimientos de conformación y moldeo del vidrio

El comportamiento plástico-viscoso que presentan todos los vidrios a alta temperatura, permite moldearlos a lo largo de un intervalo térmico más o menos amplio, por diversos procedimientos, tales como colado, soplado, estirado, laminado y prensado. En cada caso, el vidrio debe acondicionarse térmicamente en la zona de trabajo con objeto de estabilizar su viscosidad, ya que el valor de ésta condiciona o sólo la utilización de los distintos procedimientos de moldeo, sino también la cadencia y el rendimiento de fabricación en los sistemas automáticos. Además de un valor determinado de la viscosidad, cada procedimiento requiere que el vidrio presente una cierta variación de esta magnitud en función de la temperatura. Así, por ejemplo, en un proceso de fabricación manual es deseable, en general, que el vidrio mantenga su moldeabilidad a lo largo de un intervalo de temperatura relativamente amplio. Por el contrario, en un proceso de fabricación automática, el vidrio sólo debe permanecer en estado plástico durante los pocos segundos que dura su conformación. Una vez que aquél haya tomado su forma final, debe alcanzar el estado rígido con toda la rapidez que exija su proceso de fabricación. Otra propiedad del vidrio, que desempeña un papel fundamental durante su conformación en estado plástico, es la tensión superficial. Los valores que adopta esta magnitud dentro del intervalo de moldeabilidad son relativamente elevados en comparación con los que presentan otros líquidos y fundidos y dan lugar a una fuerte retracción superficial. Este comportamiento resulta favorable para algunos procesos de fabricación y para determinados tratamientos del vidrio, como son la obtención de fibra, el estirado en forma de tubo y de varilla, el trabajo al soplete, el pulido al fuego, el redondeado de cantos y aristas, etc. Por el contrario, en otros procesos, como el de estirado de vidrio plano, las fuerzas originadas por la tensión superficial se manifiestan de forma adversa, tendiendo a producir una contracción transversal de la hoja, para evitar lo cual se requiere que ésta sea rápidamente enfriada por sus bordes al emerger el vidrio fundido.

En la fabricación manual del vidrio, el dominio de la tensión superficial resulta especialmente importante. Si bien una veces ésta juega a favor de la forma de la pieza, otras se opone a ella, y el operario debe entonces contrarrestar sus efectos, bien centrifugamente imprimiéndola un movimiento rotatorio, bien mediante sucesivos golpes de soplado o bien mediante otras manipulaciones adecuadas.

La transferencia térmica del vidrio durante su conformación requiere asimismo la mayor atención, particularmente en la fabricación automática de vidrio hueco, donde puede llegar incluso a constituir un factor limitativo en máquinas de elevadas producción, ya que, en los

escasos segundos en que el vidrio se halla en contacto con el molde, su temperatura debe descender desde unos 1.100 °C hasta unos 500 °C.

2.2.3.6 Enfriamiento y recocido del vidrio

Una vez que el vidrio ha adquirido su forma, falta todavía someterle a uno de los procesos que mayor atención y cuidado requieren: el de su enfriamiento o recocido. A lo largo de él el vidrio ha de pasar desde un estado plástico a un estado rígido con la suficiente lentitud para que su estructura se relaje lo más uniformemente posible y adquiera en todos sus puntos el mismo volumen específico. Si el enfriamiento se realiza inadecuadamente, se produce en su seno tensiones mecánicas que le hacen inservible para casi todas sus aplicaciones, pues no sólo alteran su homogeneidad física y, con ello, muchas de sus propiedades, sino que además constituyen un grave riesgo de rotura. El régimen de enfriamiento es especialmente crítico en los vidrios ópticos y en los destinados a la fabricación de termómetros. Para las aplicaciones más comunes no se requiere una relajación tan controlada y son tolerables ciertas tensiones residuales, siempre que éstas no sobrepasen de unos $0,2 \times 10^7$ N/m² en el vidrio plano y de unos $0,4 \times 10^7$ N/m² en las piezas de vidrio hueco.

2.2.4 Defectos del vidrio

En el vidrio, lo mismo que en otros materiales, pueden considerarse como defectos todas aquellas manifestaciones que, surgidas de manera accidental e indeseable, alteren su naturaleza o vayan en detrimento de sus propiedades.

La transparencia y fragilidad, que constituyen las características más peculiares del vidrio, son también las que resultan más afectadas por tales imperfecciones, ya que casi todos los defectos son causa de una disminución de la transparencia y de un aumento de la fragilidad. La transparencia, por otra parte, delata inmediatamente cualquier irregularidad del vidrio, por lo que éstas resultan mucho más ostensibles y, por lo tanto, más graves que en otros materiales.

Es obvio advertir que muchas de las irregularidades definidas como defectos deben lógicamente dejar de ser consideradas como tales cuando estén provocadas deliberadamente para conseguir un efecto decorativo o un mejoramiento técnico, como sucede en algunos vidrios desvitrificados, tensionados, etc. En estos casos, su conocimiento resulta aún más importante, ya que, si cuando se teme una aparición es necesario conocer sus causas para poder combatir las, mucho más profundamente debe dominarse el mecanismo de su formación para poder producirlas controladamente.

En términos generales, los defectos del vidrio pueden considerarse en su mayoría como faltas de homogeneidad, bien de naturaleza química, bien de carácter físico.

Las heterogeneidades químicas consisten en discontinuidades de la masa vítrea constituidas por inclusiones sólidas o gaseosas, o por la coexistencia de fases vítreas de diferente composición. Las heterogeneidades físicas son frecuentemente una consecuencia

de las anteriores, si bien pueden presentarse también en vidrios químicamente homogéneos por efecto de inadecuados tratamientos térmicos o deformaciones mecánicas posteriores.

Los defectos de homogeneidad química, llamados también defectos de fusión o de masa suelen aparecer durante la fase de elaboración del vidrio anterior al proceso de moldeo, mientras que los de carácter físico, que se producen a partir de esta etapa, sólo se manifiestan en el producto acabado.

Los defectos pueden aparecer en el vidrio no sólo a lo largo de una de las tres etapas principales de su fabricación antes mencionadas (fusión, conformación o recocido), sino también durante su almacenamiento y su servicio. De acuerdo con este criterio cabe establecer la clasificación que se muestra en la tabla 2.2, 2.3 y 2.4 en la que se resumen los principales defectos del vidrio.

DEFECTOS DE MASA O DE FUSIÓN	
Inclusiones cristalinas o piedras	Infundido Desvitrificación Burbuja de sulfato Piedra de refractario Piedra negra Piedra metálica
Inclusiones vítreas	Nódulo Lágrima Cuerda Estría Hilo Goma Onda
Inclusiones gaseosas	Burbuja Punto brillante Punto fino Picado Picado cerrado o espuma
Coloración	Mal color Color Ahumado

Tabla 2.2 Defectos de masa o de fusión [12]

DEFECTOS DE RECOCIDO O TEMPLADO	DEFECTOS DE ALMACENAMIENTO	DEFECTOS EN SERVICIO
<ul style="list-style-type: none"> • Tensionado • Chapa • Barco • Marca de pinza • Chorros de soplado 	<ul style="list-style-type: none"> • Impresión • Marca de papel • Pegado • Irisación • Chapa Hidratada • Moho 	<ul style="list-style-type: none"> • Hidratación • Alteración química • Alteración de color • Rozadura • Desconchado • Marca de golpe

Tabla 2.3 Defectos de recocido, almacenamiento y servicio [12]

DEFECTOS DE CONFORMACIÓN Y MANUFACTURA	
Defectos comunes de vidrio plano	Fisura, glasadura, martelado, desconchado, chafado, incrustación, suciedad, bisel, falsa escuadra.
Defectos comunes del vidrio plano , estirado y laminado	Peine, bardén, prismaticidad, doble imagen.
Defectos de vidrio plano estirado	Marcas de rodillo, onda azul, distorsión, picado.
Defectos de vidrio plano laminado	Huella de rodillo, golpe de rodillo, ondulación, arruga de colada, festoneado, patas de gato.
Defectos de vidrio plano desbastado y pulido	Picadura, arena, raya de ferrasa, bruñido, gris de pulido, filasa, cadena, impresión de tela, piel de naranja, raya azul, moaré.
Defectos de vidrio plano impreso	Falta de impresión, mala impresión, dibujo sinuoso, contradibujo, patas de gato.
Defectos de vidrio plano armado	Malla rota, malla deformada, malla inclinada, malla curvada, estampado, tamizado, tejadillo, punto de cadeneta, burbuja de alambre, bandera.
Defectos de vidrio plano flotado	Polvo de estaño, gota de estaño, mancha de estaño, marca de dross, martelado, distorsión, marcas de cortina, marcas de labio, hilo, cráter.
Defectos de vidrio óptico	Gris, raya, pique, piel de naranja, velo, inclusiones de moldeo, cerrada, abierta.

Tabla 2.4 Defectos de conformación y manufactura [12]

2.2.5 Propiedades de los vidrios

Las propiedades de los vidrios, lo mismo que las de cualesquiera otros materiales, dependen de sus características estructurales. Y la estructura, a su vez, se halla condicionada principalmente por la composición química y, en menor escala, también por la historia térmica.

En el caso de los sólidos cristalinos se ha desarrollado un importante aparato teórico que permite predecir, cualitativamente y en muchos casos también cuantitativamente con bastante exactitud muchas de las propiedades macroscópicas de la sustancia sobre la base del tipo de partículas (átomos, moléculas o iones) que la constituyen y a la forma en que están ordenados en la red cristalina, el tipo de enlaces entre ellas, etc. Pueden inclusive construirse modelos teóricos y hasta modelos materiales del sólido, o por lo menos del “cristal perfecto”. La presencia de imperfecciones, ya se trate de átomos diferentes (impurezas) o de irregularidades en la red cristalina (defectos), hace variar las propiedades, pero aun así pueden hacerse predicciones sobre el comportamiento del material, y éste es un campo en el que los físicos han trabajado intensamente durante los últimos años, obteniendo resultados que han trascendido con importantes consecuencias al campo tecnológico, como el caso de los materiales semiconductores, para dar un ejemplo.

Con los vidrios, o con los sólidos no cristalinos en general, el problema es mucho más complejo, dado que no existe una composición ni una estructura determinada, sino que ambas pueden variar dentro de límites muy amplios. No tiene sentido entonces hablar en este caso de impurezas ni de defectos, ni tampoco lo tiene el intentar construir vidrios modelos. Por lo tanto, y si bien se ha trabajado y se trabaja intensamente en este terreno, se está aún muy lejos de contar con una teoría de los vidrios que explique sus propiedades y permita su predicción.

Desde fines del siglo pasado se sabe que algunas propiedades de los vidrios pueden calcularse aproximadamente sobre la base de su composición, y se las denomina propiedades aditivas, como si el vidrio fuese una solución sólida. Son ejemplos típicos la densidad, el índice de refracción, el coeficiente de dilatación, el calor específico, constante dieléctrica, etc. En contraste, hay otras propiedades que, si bien dependen de la composición, no pueden calcularse de esa manera, porque dependen fuertemente de la estructura del material. Son ejemplos de estas propiedades no aditivas la viscosidad, la conductividad térmica, las pérdidas dieléctricas, etc. Por último, hay un tercer grupo de propiedades de los vidrios que si bien dependen, en última instancia, de la composición y de la estructura, están fundamentalmente determinadas, a nivel macroscópico, por el estado de la superficie del material. Son ejemplos típicos la resistencia mecánica, la resistencia al agua y a los ácidos, la reflexión de la luz, la conductividad eléctrica a temperatura ambiente, etc.

En lo que sigue se describirán en forma sucesiva las propiedades más importantes de los vidrios.

2.2.5.1 Viscosidad

Por viscosidad de un fluido se entiende el rozamiento interno o la resistencia al deslizamiento que existe entre sus moléculas.

La fuerza que se ejerce entre dos capas paralelas y contiguas de líquido es proporcional a la superficie de contacto A y al gradiente de velocidad:

$$F = \eta \times A \frac{dv}{dx} \text{ Ecuación 2.1 [25]}$$

El coeficiente η depende de la naturaleza del líquido y se denomina coeficiente de viscosidad o de rozamiento interno, y representa la fuerza de deslizamiento ejercida sobre una superficie igual a la unidad cuando el gradiente de velocidad es perpendicular a aquélla y vale también la unidad.

La viscosidad es una característica de cada material. Los materiales cuya viscosidad es, para cada temperatura, constante e independiente del valor del gradiente de velocidad, se denominan fluidos newtonianos. Los vidrios comunes fundidos pertenecen a esta clase de líquidos, y sólo algunos vidrios con composiciones especiales presentan un comportamiento anormal o no newtoniano.

La viscosidad determina el comportamiento de los vidrios dentro de un amplio margen de temperatura. Por eso, su conocimiento, además de aportar una valiosa información estructural, adquiere una significación particularmente interesante desde el punto de vista industrial, ya que condiciona en buena parte algunos aspectos de la fabricación del vidrio, tales como la fusión y el afinado, la desvitrificación, la moldeabilidad y la eficacia de los tratamientos de recocido y de relajación de tensiones.

Los factores que más influyen en la viscosidad de los vidrios son:

- Temperatura
- Tiempo
- Composición

2.2.5.2 Tensión superficial

A diferencia de las moléculas del interior de un líquido, las situadas en su superficie están sometidas a las fuerzas de cohesión de las moléculas que las rodean parcialmente. La resultante de tales fuerzas está dirigida hacia el interior del líquido perpendicularmente a su superficie. Por esta razón, las moléculas de la superficie poseen mayor energía que las del interior. Como consecuencia, la disminución de la superficie de un líquido lleva consigo un trabajo de las fuerzas de cohesión y, contrariamente, el aumento de esta superficie requiere una aportación de energía exterior. El aumento de energía ΔW necesaria para la creación de una nueva superficie unitaria S se denomina energía superficial específica o tensión superficial:

$$\sigma = \frac{\Delta W}{S} \text{ Ecuación 2.2 [25]}$$

Los factores que influyen sobre la tensión superficial son:

- Temperatura
- Composición química

2.2.5.3 Densidad

La densidad de un material se define como la cantidad de masa contenida en la unidad de volumen.

El conocimiento de la densidad de los vidrios, además de su importancia en relación con otras propiedades y con la estructura del material, tiene una gran aplicación práctica como elemento de control en la producción, ya que la variación de su valor está directamente relacionada con la variación de la composición.

Los factores que influyen sobre la densidad son:

- Composición
- Temperatura

2.2.5.4 Dilatación térmica

La dilatación que experimenta la mayoría de los materiales por acción del calor es una consecuencia del incremento de su energía interna, que determina una mayor amplitud de las vibraciones térmicas moleculares, y por lo tanto, un mayor distanciamiento entre sus constituyentes estructurales. Este aumento dimensional viene dado para cada material por un factor característico dependiente de la temperatura, denominado coeficiente de dilatación. Este puede referirse al volumen, a la superficie o a una sola dimensión.

El coeficiente de dilatación lineal medio entre dos temperaturas viene dado por la relación:

$$\alpha = \frac{(\Delta l / \Delta T)}{L} \text{ Ecuación 2.3 [25]}$$

Los vidrios experimentan variaciones de volumen con los cambios de temperatura: se dilatan cuando se calientan y se contraen cuando se enfrían. Tales dilataciones o contracciones tienen una importancia fundamental, tanto en los procesos de fabricación de los objetos de vidrio (en particular durante el conformado y el recocido), como durante su uso, especialmente cuando se los somete a choques térmicos.

Factores que influyen sobre la dilatación térmica:

- Historia térmica
- Composición

2.2.5.5 Resistencia al choque térmico

El comportamiento del vidrio frente a los cambios bruscos de temperatura es una propiedad compleja que depende de varios factores. Cuando una pieza de vidrio, se somete a un enfriamiento rápido desde una temperatura inferior a la de recocido, su baja conductividad térmica impide que el calor se disipe uniformemente y así se establece un gradiente de temperatura. Entre las capas de vidrio de la superficie, que se enfrían antes, y por lo tanto, contraen más rápido, y las del interior, se establecen tensiones de tracción cuya magnitud depende principalmente de la diferencia de temperatura y del coeficiente de dilatación térmica del vidrio. Si las tensiones así originadas sobrepasan el límite de elasticidad del vidrio, se produce rotura. La diferencia máxima de temperatura ΔT que puede soportar una varilla de vidrio viene dada por la expresión:

$$\alpha = 2 \times \sigma \times t \times \frac{(1 - \mu)}{(\alpha \times E)} \quad \text{Ecuación 2.4 [25]}$$

en la que σ representa la resistencia a la tracción; μ , la constante de Poisson; α , el coeficiente de dilatación térmica lineal, y E , el módulo de elasticidad.

2.2.5.6 Propiedades Térmicas

La fabricación de todo material vítreo es un proceso que pone en juego temperaturas elevadas. De manera que el conocimiento de las propiedades de estos materiales a altas temperaturas es de fundamental importancia. Entre estas propiedades mencionaremos el calor específico y la transmisión calorífica.

a) Calor específico: El conocimiento del calor específico de los vidrios y de su variación con la composición es de importancia para el cálculo del balance calórico en los hornos de fusión, para seleccionar los combustibles, y para el diseño de los hornos para tratamientos térmicos (recocido, templado, etc.) y de los moldes para soplado y prensado. El calor específico (o capacidad calorífica) de una sustancia es la cantidad de calor necesaria para aumentar en 1°C la temperatura de 1 g de dicha sustancia (para un intervalo de temperatura y siempre que no haya cambio de estado). Para un sólido se utiliza el calor específico a presión constante, c_p , que para los vidrios tiene valores del orden de $0,2 \frac{\text{cal}}{\text{g} \times ^\circ\text{C}}$. En el caso

de sustancias puras (por ejemplo, los óxidos que entran en la composición de un vidrio), se define el calor específico molar a presión constante (o capacidad específica molar), C_p , como el producto de c_p por el mol M .

$$C_p = c_p \times M \quad \text{Ecuación 2.5 [25]}$$

El calor específico a volumen constante, c_v , prácticamente tiene el mismo valor que c_p para un sólido, por lo menos a temperaturas bajas.

b) Transferencia de calor: La transferencia de calor en los vidrios puede tener lugar por conducción y por radiación. El mecanismo de radiación es el que predomina a altas temperaturas, mientras que a bajas temperaturas lo hace el de conducción. Para cada uno de ellos se define la conductividad térmica, k , como la cantidad de calor que se transfiere durante un tiempo t perpendicularmente a una superficie S y para un gradiente de temperatura dt/dx . Se tiene entonces que:

- conductividad térmica por conducción: k_c
- conductividad térmica por radiación: k_r
- conductividad térmica efectiva: $k = k_c + k_r$

Siendo el vidrio un material no poroso, no hay conductividad térmica por convección en el estado sólido; sí en el vidrio fundido.

La existencia simultánea de dos mecanismos hace difícil la medición de k_c y k_r por separado; generalmente lo que se mide es k . Hay distintos métodos de medición, pero ninguno exento de dificultades. La conductividad térmica por conducción en los vidrios es muy baja; el vidrio es un mal conductor del calor a bajas temperaturas. Los valores de k_c van de 0,0033 (vidrio de sílice), a 0,0022 cal/cm.s.°C (vidrio sódico-cálcico común). Cuanto mayor es el contenido de óxidos modificadores menor es k_c . Como consecuencia de los bajos valores de k_c y de k_r a la temperatura ambiente, el vidrio es un aislante térmico a esta temperatura. Sin embargo, pese a ser bajo el valor de k_r entre 0 y 40 °C, la transmisión de calor por radiación a temperatura ambiente a través de un vidrio de ventanas cuando el sol incide sobre el mismo puede ser bastante elevada. Al aumentar la temperatura, k_r aumenta notablemente, mientras que k_c aumenta muy poco, de manera que la influencia de la primera sobre k se va haciendo relativamente cada vez mayor.

2.2.5.7 Propiedades mecánicas

Por propiedades mecánicas de un material se entienden todas aquellas características relacionadas con su comportamiento frente a sollicitaciones mecánicas (tracción, compresión, impacto, vibraciones, etc.), y que en la práctica condicionan su uso como elemento estructural. En el caso del vidrio, sus propiedades mecánicas se han convertido en los últimos años en una de las áreas de investigación más activas, en particular en lo que respecta a la superación de la tradicional fragilidad de este material que ha limitado sus campos de aplicación.

El comportamiento del vidrio ante los distintos tipos de esfuerzos mecánicos a que puede encontrarse sometido durante su uso constituye en general una importante limitación para algunas de sus aplicaciones. Si bien su dureza y, como consecuencia, su resistencia al rayado lo colocan en una situación de ventaja con respecto a otros materiales, su fragilidad y su baja resistencia a la fractura no le permiten competir con muchos de ellos.

a) Elasticidad: Cuando un cuerpo se somete a la acción de una fuerza, sufre una deformación más o menos acusada. Si al cesar la fuerza aplicada el cuerpo recupera de modo totalmente reversible su forma original, se dice que presenta un comportamiento elástico, mientras que, si el cambio de forma se mantiene de modo permanente, se dice que su comportamiento es plástico.

Desde este punto de vista, el vidrio es un material elástico casi ideal, si bien la deformación elástica que sufre por aplicación de una tensión (fuerza o carga por unidad de superficie) es pequeña, y superando un determinado límite, se fractura. El vidrio cumple la Ley de Hooke, que dice que la deformación (ε) que sufre un cuerpo elástico es proporcional a la tensión aplicada (σ); la constante de proporcionalidad se denominada módulo de elasticidad.

$$\sigma = M \times \varepsilon \quad \text{Ecuación 2.6 [25]}$$

Donde:

M es el módulo de elasticidad, y su valor depende del tipo de esfuerzo aplicado, a saber:

- Tracción $M = E$, módulo de alargamiento o de Young.
- Torsión $M = G$, módulo de torsión o de esfuerzo de corte.
- Compresión $M = K$, módulo de compresibilidad.

En otros materiales, como los metales, pasado un determinado valor de la carga, denominado límite elástico, la deformación pasa a ser de tipo plástico, hasta la rotura; esto se debe a la ductilidad de los metales, que no existe en el vidrio, y el diferente comportamiento se explica por la diferente estructura molecular de dichos materiales.

Los tres módulos están relacionados entre sí por la siguiente ecuación:

$$E = 2(1 + \nu) = 3 \times (1 - (2 \times \nu)) \times K \quad \text{Ecuación 2.7 [25]}$$

Siendo ν el coeficiente de Poisson, que es igual a la relación entre la deformación lateral (contracción) y la longitudinal (alargamiento) cuando se aplica un esfuerzo de tracción, o a su inversa cuando se aplica un esfuerzo de compresión.

El elevado valor de E para el vidrio común, cercano al de los metales, indica que este material presenta deformaciones elásticas relativamente pequeñas, pero algo mayores que las que presentaría un metal bajo la misma carga. Sin embargo, la observación cotidiana enseña que el límite de rotura de un objeto de vidrio está bastante por debajo del de un objeto de metal, y que antes de romperse un objeto de vidrio sometido a un esfuerzo no se observa una deformación apreciable.

Estos hechos no están relacionados con el módulo de elasticidad, sino con otras características del objeto de vidrio, en particular el estado de su superficie. Esto hace que la

utilidad de los valores de los módulos de elasticidad de los vidrios, en la práctica, sea bastante relativa, y que en general resulta bastante difícil predecir teóricamente el comportamiento mecánico de un objeto de vidrio.

El módulo de elasticidad de un vidrio varía con su composición. Se han hecho tentativas de calcularlo a partir de esta última, aunque hasta el momento no han dado tan buenos resultados como en el caso de otras propiedades, ya que, como depende mucho de la estructura, sería necesario disponer de un modelo estructural para cada tipo de vidrio.

En lo que respecta a la influencia de la temperatura, el valor de E disminuye ligeramente al aumentar ésta; al llegar al intervalo de transformación E sufre una brusca disminución, ya que se pasa a la región viscoplástica. Al igual que el caso de otras propiedades, los valores de E medidos sobre una muestra dependen de la historia térmica previa de ésta.

b) Anelasticidad: Bajo determinadas condiciones los vidrios presentan una variación de su comportamiento elástico en función del tiempo de actuación de la carga. Este efecto puede comprobarse sometiendo una fibra a una tensión de tracción constante durante un largo intervalo de tiempo y suprimiéndola a partir de un momento dado. Para tiempos cortos, hasta un determinado valor, existe una proporcionalidad lineal entre el alargamiento de la fibra y el tiempo de actuación de la tensión (deformación instantánea). Por encima de este tiempo y hasta otro tiempo mayor ésta proporcionalidad desaparece y la velocidad de deformación va disminuyendo. En este intervalo de tiempo, el alargamiento es reversible, pero dentro de él la fibra ya no recupera instantáneamente su longitud inicial al cesar la fuerza deformadora (deformación temporal). La diferencia entre la deformación ideal y la realmente obtenida recibe el nombre de anelasticidad.

Los métodos de ensayo más comunes para la resistencia mecánica del vidrio son:

- Ensayo de compresión
- Ensayo de tracción
- Ensayo de flexión
- Ensayo de impacto

2.2.5.8 Propiedades ópticas

Las propiedades ópticas de los materiales abarcan dos tipos de fenómenos relacionados con la interacción de la radiación electromagnética o energía radiante con la materia: la desviación de la trayectoria de los rayos debida a la reflexión, refracción, y otros fenómenos conexos, y su absorción parcial al atravesar el material. El vidrio es el material por excelencia para usos ópticos.

Entre las propiedades ópticas de mayor interés podemos mencionar:

- Refracción
- Birrefringencia

- Absorción y transmisión
- Reflexión
- Absorción de luz y color

2.2.5.9 Propiedades eléctricas

A temperatura ambiente, los vidrios en general se comportan como aisladores, es decir, no son buenos conductores de la electricidad y, por lo tanto, su campo de aplicación preponderante es la electrotecnia. Las propiedades eléctricas más importantes son:

- Conductividad eléctrica
- Constante dieléctrica
- Pérdidas dieléctricas

2.2.5.10 Propiedades químicas

Entre las características del vidrio destaca su elevada resistencia química que, excepción hecha de determinados tipos de composiciones, como la de algunos boratos, fosfatos y silicatos alcalinos, le han acreditado como material insustituible para un sinnúmero de aplicaciones prácticas. No obstante sus buenas cualidades, ni siquiera los mejores vidrios pueden considerarse rigurosamente inertes, y, aunque débil, siempre tiene lugar una mayor o menor interacción entre el vidrio y los agentes químicos con los que se pone en contacto. Por su importancia técnica el tema de la atacabilidad química del vidrio ha sido siempre objeto del mayor interés científico, como lo prueba el gran número de publicaciones dedicadas a los diferentes aspectos que ofrece su estudio.

Los factores que influyen sobre la resistencia química son:

- pH
- Tiempo
- Temperatura
- Composición
- Historia térmica

2.2.6 Productos de vidrio

Las aplicaciones de los vidrios abarcan, prácticamente, todas las áreas de la actividad humana. En la ciencia y en el arte, en el trabajo y en el entretenimiento, en el ciudadano de la salud y en la guerra, innumerables objetos de vidrio cumplen las más variadas e importantes funciones. Baste echar una mirada a nuestro alrededor y extenderla en círculos cada vez más amplios para cerciorarnos de ello: el vidrio de nuestro reloj, los lentes de nuestros anteojos, el vaso en que bebemos y la botella que contiene la bebida, el cenicero, el televisor, el tubo fluorescente o la lámpara incandescente que nos ilumina, los espejos, los vidrios de las ventanas; y más allá, las luces de la calle, los semáforos, los automóviles, los carteles luminosos; y más allá aún: microscopios, telescopios, tubos de ensayo,

columnas de destilación, ventanas de protección contra radiaciones, fibras textiles, plásticos reforzados, colectores de energía solar, cables para transmisión de comunicaciones, etc.

Y si pensamos que hasta no mucho tiempo el vidrio era un material de propiedades imprevisibles y poco conocidas, que una buena parte de sus aplicaciones más importantes data apenas de los últimos decenios, y que otras tantas se están desarrollando en estos momentos, nos damos cuenta de que, en cierta manera, los vidrios están entre los materiales clave del futuro. Y este futuro se debe, fundamentalmente, al cambio cualitativo que se ha producido en la investigación y en el desarrollo tecnológico, basado en el estudio científico de su estructura y sus propiedades.

El propósito de esta parte no es hacer una enumeración exhaustiva de las aplicaciones de los vidrios y de las características de los productos de vidrio según los diferentes requerimientos. Aquí se analizará los campos de aplicación más importantes, ya sea por su especificidad (vidrios para usos ópticos y electrónicos), por su volumen de producción (vidrios planos, envases), o por su previsible importancia (vidrios cerámicos, fibras para comunicaciones), y se discutirá los criterios básicos que guían su aplicación en cada campo.

Entre las aplicaciones más comunes tenemos:

- Vidrio para ventanas: Este vidrio se representa en dos composiciones: 1) vidrio fabricado con sosa y cal y 2) vidrio para ventanas. La fórmula para el proceso de sosa-cal proviene de la industria del vidrio soplado del siglo XIX y épocas anteriores. Se hacía (y se hace) de una mezcla de sosa (Na_2O) y cal (CaO) con sílice (SiO_2) como principales ingredientes. La mezcla de ingredientes ha evolucionado empíricamente para lograr un balance entre evitar la cristalización durante el enfriado y una durabilidad química del producto final. El vidrio moderno de ventanas y las técnicas para su fabricación han requerido ligeros ajustes en composición y un control más estrecho sobre su variación. Se ha añadido magnesia (MgO) para ayudar a reducir la desvitrificación.
- Envases: En épocas anteriores se usaba el mismo vidrio de sosa-cal para fabricar botellas de vidrio soplado manualmente y otros envases. Los procesos modernos para formar envases de vidrio enfrían este material más rápidamente que los métodos antiguos. También, la importancia de la estabilidad química en los vidrios de envase se comprende mejor hoy en día. Los cambios resultantes en la composición han intentado optimizar las proporciones de cal (CaO) y sosa (Na_2O). La cal promueve la fluidez. Incrementa también la desvitrificación, pero como el enfriado es más rápido, el efecto no es tan importante como en las técnicas anteriores de procesamiento con menores velocidades de enfriamiento. Al reducir la sosa, disminuye la inestabilidad química y la solubilidad del envase de vidrio.
- Bombillas para lámparas eléctricas: El vidrio que se usa en las bombillas de luz y otros artículos de vidrio delgado (por ejemplo, copas y adornos de Navidad) tiene

una alto contenido de sosa y bajo contenido de cal; contiene también pequeñas cantidades de magnesia y alúmina. La composición química la dicta en gran parte, la economía de la producción de grandes volúmenes implicada en la manufactura de bombillas para focos. Las materias primas son baratas y apropiadas para los hornos de fusión continua que se utilizan actualmente.

- Artículos de vidrio para laboratorio: Estos artículos incluyen envases para productos químicos (por ejemplo, frascos, matraces, vasos y tubos de vidrio). El vidrio debe ser resistente al ataque químico y al choque térmico. El vidrio con alto contenido de sílice es aplicable debido a su baja expansión térmica. El nombre comercial Vicor se usa para este vidrio alto en sílice. Es un producto muy insoluble en agua y ácidos. La adición de óxido bórico produce también un vidrio con bajo coeficiente de expansión térmica, como algunos vidrios para uso de laboratorio que contienen B_2O_3 en cantidades alrededor del 13 %. El nombre comercial Pirex se usa para vidrios de borosilicato desarrollados por la Corning Works.
- Fibras de vidrio: Las fibras de vidrio se producen para numerosas aplicaciones importantes, entre las que se incluyen las fibras de vidrio para reforzar plásticos, lanas aislantes y fibras ópticas. La composición varía de acuerdo a la función. Las fibras de refuerzo más comúnmente usadas en plásticos se hacen de vidrio-E con alto contenido en CaO y Al_2O_3 , es económico y posee buena resistencia a la tensión en la forma de fibra de vidrio. Otro material para fibra de vidrio es el vidrio-S, que tiene una mayor resistencia, pero no es tan económico como el vidrio-E. La lana aislante de fibra de vidrio puede fabricarse a partir de vidrios regulares de sosa-cal-sílice. El producto de vidrio para fibras ópticas, consiste en un filamento continuo de vidrio de un alto índice de refracción rodeado por una funda de vidrio menos refrigero. El vidrio interno debe tener una alta transmitancia de la luz a fin de lograr la comunicación a largas distancias.
- Vidrios ópticos: Las aplicaciones para estos vidrios incluyen lentes para anteojos e instrumentos ópticos como cámaras, microscopios y telescopios. Para desempeñar sus funciones, los vidrios deben tener diferentes índices de refracción, pero cada lente debe ser de composición homogénea. Los vidrios ópticos se dividen generalmente en vidrios al boro y al plomo (crown glass y flint glass). El vidrio al boro tiene un índice de refracción bajo, mientras que el vidrio al plomo contiene óxido de plomo (PbO), que le da un alto índice de refracción.

2.2.6.1 Consideraciones para el diseño de productos de vidrio

El vidrio posee propiedades especiales que lo hacen apreciable en ciertas aplicaciones. Tales como:

- El vidrio es transparente y tiene ciertas propiedades ópticas que son únicas entre los materiales de ingeniería. Para aplicaciones que requieren transparencia, transmisión de luz, amplificación y propiedades ópticas, similares, el vidrio es el material a elegir.

- El vidrio es varias veces más resistente a la compresión que a la tensión; los componentes deben diseñarse para que puedan soportar esfuerzos de compresión, más no esfuerzos de tensión.
- El vidrio es frágil. Las partes de vidrio no deben usarse en aplicaciones que involucren cargas de impacto o altos esfuerzos que puedan causar fractura.
- Ciertas composiciones de vidrio tienen muy bajo coeficiente de expansión térmica y, por tanto, son tolerantes al choque térmico. Estos vidrios pueden seleccionarse para aplicaciones donde esta característica sea importante.
- Los bordes externos y las esquinas, tanto externas como internas, en las partes o piezas de vidrio deben tener un gran radio de curvatura o ser biselados, ya que las esquinas externas e internas son puntos potenciales de concentración de esfuerzos.
- A diferencia de las partes hechas con cerámicos tradicionales y nuevos, se pueden incluir roscas en el diseño de las partes o piezas de vidrio; técnicamente son factibles con los procesos de prensado y soplado. De cualquier manera, estas roscas deben ser gruesas.

2.2.7 Envases de vidrio

La expresión general “vidrio hueco” abarca todos los artículos que se fabrican por soplado, tanto por procedimientos manuales como automáticos; en cierto modo define más por lo que se excluye (los vidrios planos) que por lo que involucra. Suelen incluirse, dentro de esta denominación genérica también los artículos prensados, y los obtenidos por combinación de prensado y soplado. Los típicos productos que se incluyen en esta categoría son los envases (botellas y frascos), inclusive aquellos como las ampollas, para productos medicinales, fabricados a partir de tubo. También se incluye la casi infinita variedad de artículos de bazar, adorno, escritorio, cristalería fina, vajilla, etc., así como bulbos para lámparas incandescentes, y otros objetos para la iluminación.

Desde la más remota antigüedad se conocen los recipientes de vidrio, que alcanzaron gran difusión en la época del Imperio Romano al difundirse las técnicas del soplado con caña. Pero el uso de recipientes de vidrio como envases, garantizando la conservación de alimentos y bebidas durante largo tiempo, y facilitando su transporte y distribución, es mucho más reciente. El embotellado, de bebidas alcohólicas con fines de conservación se inició en el siglo XVII, impulsado, fundamentalmente, por la invención del tapón de corcho. Estas primeras botellas, fabricadas manualmente, eran de color muy oscuro, debido al exceso de hierro y otras impurezas contenidas en las materias primas. Dada las particulares características del material, el desarrollo de la producción mecanizada de envases de vidrio fue sumamente lento, y sólo hacia fines del siglo pasado se pudo encarar la producción automática y continua de botellas y frascos. Hoy en día, la fabricación de envases constituye, en tonelaje, la mayor producción de la industria vidriera de todo el mundo, y si bien en algunas áreas el vidrio fue sustituido parcialmente por otros materiales, en otras (en particular las industrias alimentarias, de bebidas, de productos medicinales y de

productos químicos de alta pureza), resulta prácticamente insustituible. Las plantas han llegado a un grado notable de automatización y los procesos son continuos, desde la llegada de las materias primas hasta la salida de los productos.

La función básica de un envase es proteger al producto envasado hasta el momento de su consumo. Es evidente que los cierres juegan en este sentido un papel fundamental. En envases de vidrio se usan cierres de todo tipo:

- Tapas metálicas externas, a rosca, a bayoneta o tipo “corona”, generalmente de hojalata y, en algunos casos, de aluminio o de plástico; estas tapas suelen tener juntas de corcho o de goma especial, y pueden estar recubiertas de una capa delgada de material plástico como protección.
- Tapas internas, como tapones de corcho, goma, plástico y – menos frecuentemente - de vidrio esmerilado.
- Cierres por soldadura del mismo vidrio, como el caso de las ampollas.

En la actualidad, la industria vidriera fabrica una enorme variedad de envases destinados a las más diversas aplicaciones. Ellos pueden clasificarse, en líneas generales, en:

- Botellas: envases de boca angosta, capacidad entre 100 y 1.500 ml.
- Botellones y damajuanas: ídem, capacidad entre 1,5 y 25 L.
- Frascos: de boca angosta y de boca ancha, diseños y capacidades muy variados, diámetro de la boca menor que el diámetro del cuerpo, y en general altura menor que la botella de similar capacidad.
- Tarros: diámetro de boca igual o casi igual al del cuerpo; capacidades y diseños variados. Cuando la altura es menor que el diámetro se denomina potes.

Todos estos envases pueden fabricarse con vidrios incoloros o coloreados de distintas composiciones. También se utilizan como envases: vasos, garrafas, y otras formas variadas. Los envases mencionados se fabrican por conformado a partir del vidrio fundido, y por ello se los denomina envases de primera elaboración.

Existen otros tipos de envases de vidrio, además de los mencionados, como las ampollas, los frascos-ampollas (“viales”) los tubitos y otros, que se utilizan para envasar inyectables y otros productos medicinales o que requieren una protección especial. En este caso, la fabricación parte de tubo de vidrio, y por ello se los denomina envases de segunda elaboración.

2.2.7.1 Composición de los vidrios para envases

Los envases de primera elaboración se fabrica con vidrios silicatos sódicos-cálcicos (vidrios “de soda-cal”), que es el vidrio comúnmente utilizado para alimentos y bebidas; su composición oscila dentro de los límites indicados en la tabla 2.5.

COMPONENTE	LÍMITES DE LA COMPOSICIÓN (%)
SiO ₂	70 a 75
B ₂ O ₃	0 a 1
Al ₂ O ₃	1 a 2,5
CaO	2 a 12
MgO	0 a 6
Na ₂ O	10 a 16
K ₂ O	0 a 3
BaO	0
SO ₃	0

Tabla 2.5 Composición de los vidrios silicatos sódicos-cálcicos incoloros usados para la fabricación de botellas y frascos. [12]

Como puede apreciarse, los principales componentes son la sílice (SiO₂) y los óxidos de calcio (CaO y Na₂O, respectivamente); la composición es ajustada por cada fabricante de acuerdo a las materias primas de que se dispone, tipo de horno y máquinas utilizadas, artículos por elaborar, etc. Además de estos componentes principales, el análisis químico de un vidrio revela siempre la presencia de componentes menores, algunos indicados en la tabla anterior y agregados para conferir ciertas propiedades (Al₂O₃ para aumentar la viscosidad, B₂O₃ para disminuir la temperatura de ablandamiento y de trabajo, MgO y K₂O para mejorar la resistencia química, óxidos colorantes, etc.), y otros presentes como impurezas en las materias primas.

Los envases de segunda elaboración se fabrican, por lo general, a partir de tubo de vidrio borosilicato de elevada resistencia al ataque químico, comúnmente denominados vidrios “neutros”; sus principales componentes son SiO₂ y B₂O₃, éste presente en porcentajes entre el 10 y 15 % y conteniendo porcentajes sustancialmente más bajos de Na₂O. Se fabrican con vidrio incoloro o de color ámbar.

Otros vidrios especiales que se usan para fabricar envases (por ejemplo, potes y frascos para cosméticos), o bien coloreados. En la tabla 2.6 se indican las sustancias colorantes más comunes, utilizadas en vidrios para envases, y las especies químicas responsables del color.

Las sustancias colorantes se agregan en pequeña proporción (menos del 1 %) a la mezcla de las materias primas, salvo el caso de los óxidos de hierro, que por lo común entran como impurezas de la arena y otros minerales. El color final obtenido no depende solamente de la sustancia agregada, sino también de las condiciones de fabricación (agregado de decolorantes, atmósfera reductora u oxidante, etc.). Por ejemplo un vidrio verde común (“verde botella”) tendrá una tonalidad más amarillenta cuanto más oxidado esté el hierro; un vidrio “verde esmeralda” mostrará mayor absorbancia en el ultravioleta cuanto más oxidado esté el cromo. Los vidrios color ámbar deben elaborarse en atmósfera reductora, y pueden tener una tonalidad que varía del amarillo al rojo, según las condiciones de la fusión. Se han desarrollado técnicas en las cuales el colorante se agrega con las materias

primas, sino que se añade en una concentración elevada a la composición de un vidrio base de color intenso el que, fundido en hornillos especiales, se agrega en los canales a vidrio incoloro fundido en la cuba, con agitación para asegurar homogeneidad. De esta manera, de un único horno pueden obtenerse diferentes colores; este sistema es indicado para fabricar partidas relativamente pequeñas de envases de colores especiales o poco frecuentes, y se le denomina “coloración en feeder”.

COLOR	SUSTANCIAS COLORANTES	ESPECIES QUÍMICAS
Verde botella	Óxidos de hierro (FeO y Fe ₂ O ₃)	Fe ⁺⁺ y Fe ⁺⁺⁺
Verde esmeralda	óxido de cromo (Cr ₂ O ₃) solo o con óxido de hierro; dicromato de potasio (K ₂ Cr ₂ O ₇) o Cromita (FeCr ₂ O ₄)	Cr ⁺⁺⁺ y CrO ₄ ⁼ (más Fe ⁺⁺ y Fe ⁺⁺⁺)
Ámbar	Sulfato de sodio (Na ₂ SO ₄) con carbón y óxidos de hierro	FeS ₂ ⁻ u otros sulfuros óxidos complejos de hierro
Azul	Óxido de cobalto (Co ₃ O ₄)	Co ⁺⁺

Tabla 2.6 Sustancias colorantes utilizadas para envases de vidrio [12]

2.2.7.2 Resistencia mecánica

Entre las propiedades de los envases de vidrio de mayor interés en la práctica se cuenta, en primer lugar, la resistencia mecánica. En el caso particular de la rotura de envases, debemos distinguir entre las causas de la rotura y las causas de la disminución de la resistencia mecánica.

La causa de la rotura es el esfuerzo a que se ve sometido el envase de vidrio durante su utilización (procesos de envasado manual o en líneas automáticas, transporte, uso por el consumidor). En cada operación (lavado-llenado-cerrado-esterilización-etc.) el envase se ve sometido a esfuerzos de diverso tipo (tracción, impacto, choques térmicos), que no deben superar la resistencia mecánica “normal” del mismo. Esta resistencia normal, sin embargo, puede encontrarse disminuida por diversas causas. Las causas de disminución de la resistencia mecánica son las características del envase que hacen que éste se rompa bajo esfuerzos inferiores a los considerados “normales” en cada caso particular (y cuya determinación sólo puede efectuarse en forma estadística).

Tales causas pueden agruparse en cuatro categorías, relacionadas entre sí:

- a) **Diseño del envase:** La forma geométrica idealmente más resistente será la esférica; la que más se le aproxima, dentro de lo realizable en la práctica, es la cilíndrica. Las botellas y frascos son combinaciones de ambos. Deben evitarse las secciones en ángulo, que producen una distribución desigual de los esfuerzos; por ejemplo, un frasco de sección cuadrada o rectangular, o un frasco “facetado” serán menos resistentes que uno cilíndrico. Un punto de especial importancia es la transición entre la pared y la base: deben evitarse secciones angulosas, el espesor debe estar

homogéneamente distribuido, y las transiciones de zonas de mayor espesor a zonas de menor espesor deben ser graduales. El mejor diseño es siempre aquel que permite que, ante un esfuerzo aplicado, las tensiones temporarias originadas por el mismo se distribuyan en la forma más regular posible, evitando concentraciones localizadas. Si hay concentración local de tensiones en algún punto, y ello coincide con un defecto crítico en ese punto (una fisura en la superficie), la probabilidad de rotura será muy elevada. En lo que se refiere al espesor de los envases, teóricamente una pared más gruesa debería ser más resistente que una delgada. En el vidrio no es así, dado el tipo de rotura frágil que presenta. Una pared innecesariamente gruesa entraña mayor dificultad para eliminar tensiones permanentes durante la fabricación y dificulta la obtención de un buen diseño. De manera que la creencia de que aumentando el espesor de las paredes se aumenta la resistencia del envase es errada. Justamente la tendencia actual de la industria vidriera es producir envases cada vez más livianos, con paredes más delgadas, manteniendo la misma resistencia e, inclusive, mejorándola.

- b) **Tensiones permanentes:** Las tensiones permanentes disminuyen la resistencia porque, al distribuirse las tensiones temporarias provocadas por la aplicación de un esfuerzo, pueden sumarse a ellas, provocando concentraciones locales de tensiones. No es posible, sin embargo, fabricar un envase completamente exento de tensiones, ni ello resultaría económico. Debe lograrse, entonces, que las tensiones residuales del proceso de recocido no superen ciertos límites, y que estén distribuidas en forma simétrica. La rotura por choque térmico se origina en las fuertes tensiones que se crean al enfriar bruscamente un objeto de vidrio caliente. La presencia de tensiones permanentes residuales en cantidad excesiva hará que la resistencia al choque térmico sea, en consecuencia, menor. Mencionaremos a este respecto que el proceso de templado térmico, muy utilizado en vidrios planos y vajilla de vidrio para incrementar la resistencia mecánica, no es aplicable al caso de los envases, porque requiere un espesor de pared por lo menos de 3 a 4 mm, además de la dificultad adicional de enfriar igualmente la pared externa y la pared interna. Debemos agregar aquí las tensiones producidas por los esmaltes vitrificables cuyo coeficiente de dilatación no coincide con el del vidrio del envase, creándose zonas de tensión durante su vitrificación. Esto se aprovecha en los “anillos de prerotura” aplicados en ampollas para inyectables.
- c) **Estado de la superficie:** La superficie de un objeto de vidrio presenta siempre una enorme cantidad de fisuras y microfisuras, y difiere químicamente de la masa por su interacción con la atmósfera y por rozamiento con otros cuerpos con los cuales está en contacto. El estado de una superficie depende de su historia, es decir, del método de conformado, de tratamientos térmicos y químicos posteriores al mismo, de las condiciones atmosféricas que la rodean durante sus primeras horas de vida, etc., así como del trato que se le dispense durante el uso. Dado que la rotura en el vidrio siempre tiene su origen en un punto de la superficie, es de fundamental importancia evitar la concentración de tensiones sobre los defectos de la misma. Los tratamientos de la superficie y su recubrimiento con películas protectoras se han revelado como el medio más eficaz para incrementar sustancialmente la resistencia

mecánica de los envases de vidrio. Mencionaremos los dos tratamientos que hasta el momento han tenido mayor difusión: “tratamiento en el extremo caliente” (hot end treatment), que consiste en aplicar una capa delgada de óxido de estaño a la entrada del horno de recocido, y el “tratamiento en el extremo frío” (cold end treatment), consiste en recubrir el envase con una delgada película plástica a la salida de dicho horno. En ambos casos se trata de preservar la superficie original (prístina”) del vidrio y evitar que se incorporen nuevas fisuras. En muchos casos se llevan a cabo los dos tratamientos. Ello ha permitido aumentar entre 5 y 10 veces la resistencia mecánica y al mismo tiempo disminuir el peso del envase, ya que los espesores pueden aligerarse notablemente al existir menos defectos críticos sobre la superficie. En esto se basa la nueva tecnología de los envases livianos, aplicada en un principio a envases descartables, pero ya extendida a todo tipo de envases. Esta tecnología permite disminuir el peso a menos de la mitad o de la tercera parte, pero implica la aplicación de nuevos criterios de diseño y fabricación. Uno de los problemas más difíciles que se le plantea a los usuarios de envases de vidrio es cómo poder predecir el comportamiento mecánico de un lote de envases en la línea de envasamiento. Ello sólo es posible sobre la base de métodos estadísticos y a la realización de dos tipos de ensayos. Uno de ellos se puede denominar de control de calidad, e incluye control de diseño, dimensiones y tolerancias; presencia de tensiones permanentes (con polariscopio); presencia de defectos; examen de la superficie; ensayos de resistencia a la presión interna, a la compresión axial, al impacto, al choque térmico y otros especiales, y ensayos de simulación con aparatos especiales o en la misma línea de producción.

El otro tipo de ensayo se puede denominar post-mortem, y consiste fundamentalmente en aplicar las técnicas del análisis de fractura. Ellas, cuando son correctamente aplicadas, permiten muchas veces identificar el origen de la fractura, la causa de la rotura, y las eventuales causas de disminución de la resistencia mecánica, en combinación con ensayos del primer tipo. Una de las consideraciones básicas de que se parte es que, según el esfuerzo aplicado, se tienen distintos tipos de rotura; el análisis de propagación de la fractura y el estudio de los fragmentos producidos (tanto en líneas como en los ensayos en los ensayos de distinto tipo) permiten habitualmente sacar conclusiones terminantes sobre las causas de la rotura. A ello ayuda eficazmente el mayor conocimiento posible sobre todas las condiciones que pudieron haber influido, de alguna manera, sobre la rotura en el momento y lugar en que ella se produjo, y la normalización de todos los parámetros influyentes, a fin de lograr la máxima reproducibilidad. Dado que la dispersión de los resultados en los ensayos mecánicos sobre objetos de vidrio es mucho mayor que en otro tipo de materiales, la aplicación de métodos estadísticos adecuados, es fundamental para poder efectuar predicciones.

- d) **Defectos:** Se entiende por defecto de un objeto de vidrio a toda falla de homogeneidad o solución de continuidad de masa: burbujas, piedras, cuerdas, estrías, fisuras, etc. Los defectos son concentradores de esfuerzos, y por ello disminuyen la resistencia mecánica. Tales defectos son más críticos cuanto más grandes, en mayor número, y más cercanos a la superficie. En particular, tienen gran importancia el estado de los bordes de la boca del envase: cachaduras y fisuras

disminuyen mucho la resistencia y, por ello, los bordes de la boca deben estar siempre en perfecto estado. En la figura 2.16 se ejemplifican los defectos más comunes que se encuentran en envases de vidrio; por supuesto, se los tiene también en cuenta desde el punto de vista estético y de presentación. Actualmente existen equipos de inspección automática, a base de fibras ópticas y detectores adecuados, que inspeccionan todos los envases a la salida del horno de recocido, barriendo zonas especificadas del mismo en particular la boca. Los envases que presentan fallas, como cachaduras, fisuras, grietas u otros defectos, son descartados automáticamente. Estos defectos se pueden presentar en su mayoría por mezclas de vidrio reciclado que no esta libre de impurezas, tales como metales, no metales y materia orgánica.

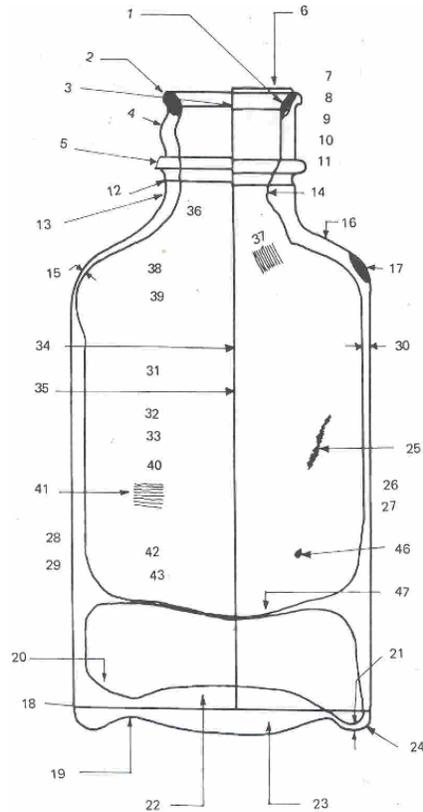


Figura 2.16 Defectos en los envases de vidrio.

1: fisuras en la boca; 2: rajadura en la boca; 3: boca descentrada; 4: boca deformada; 5: boca escamada; 6: rebaba; 7: boca rota; 8: boca mal conformada; 9: boca fisurada; 10: boca rugosa; 11: boca ovalizada; 12: costuras de la boquillera del molde; 13: cuello torcido; 14: boca estrangulada; 15: hombros delgados; 16: hombros mal soplados; 17: fisuras en el hombro; 18: costura del fondo del molde de terminado; 19: marca o rebaba del fondo del molde preparador; 20: mal reparto del fondo; 21: fondo delgado; 22: fondo grueso; 23: fondo salido o caído; 24: fisuras en el fondo; 25: fisuras por calor excesivo; 26: zonas fisuradas; 27: roturas; 28: artículo fuera de forma; 29: pegadura; 30: pared delgada; 31: martelado; 32: ondulado; 33: distribución irregular del vidrio; 34: costura del molde; 35: doble costura; 36: marca de tijera; 37: marca de cepillo; 38: mancha de aceite; 39: manchas de grafito o carbón; 40: arrugas, pliegues; 41: agujas horizontales o piel de rana; 42: burbujas; 43: cuerdas; 44: vetas coloreadas; 45: moldes y paresón sucios; 46: piedras; 47: columpio o hilo de teléfono.

2.2.7.3 Protección de las radiaciones

Otro aspecto de capital importancia en lo que respecta a la conservación del producto envasado es la protección de las radiaciones nocivas, particularmente las ultravioleta (UV) y luminosas, en el caso de productos fotosensibles. Esto se asocia, generalmente, con el color del vidrio, pero lo que hay que tener en cuenta es su espectro de transmisión, especialmente entre 300 y 550 nm, que es la región espectral más peligrosa. El proceso de deterioro fotoquímico de un sistema de envasado puede resumirse, en la forma más general posible, como sigue. Las radiaciones ópticas emitidas por una fuente (sol, lámparas incandescentes, tubos fluorescentes, etc.), inciden sobre el envase, que refleja parte de las mismas, absorbe otra parte, y, por último, transmite una tercera porción hacia el interior, donde se encuentra el sistema fotosensible. En este último se producen alteraciones de ciertas características organolépticas (color, olor, sabor), debido a la aparición de determinadas sustancias, productos de reacciones fotoquímicas inducidas o aceleradas por las radiaciones, o bien desaparición de otras, así como, por el mismo motivo, descomposición de sustancias (por ejemplo, las vitaminas), importantes desde el punto de vista alimentario. De manera que para el estudio de cada caso particular hay que tener en consideración el tipo de fuente, el tipo de vidrio, y el tipo de alimento.

Este tema se conoce desde hace mucho tiempo, pero, sin embargo, sólo en fechas relativamente recientes se ha encarado en forma racional el uso de envases de vidrio de color para proteger al producto envasado; al mismo tiempo el problema ha adquirido una nueva dimensión, a causa de las modernas prácticas de comercialización en negocios y supermercados, donde los productos permanecen expuestos, largo tiempo, a una intensa iluminación artificial. A este respecto, cabe mencionar que la radiación proveniente de tubos fluorescentes, por presentar una mayor componente ultravioleta en su espectro, es más peligrosa, potencialmente, que la de las lámparas incandescentes, y que la radiación solar directa es, en relación, la más dañina. Los productos que pueden alterarse por acción de la luz y la radiación ultravioleta son muchísimos, entre otros mencionaremos: aceites comestibles, cervezas, leche y productos lácteos, alimentos para bebés, jugos de frutas, vinos, mayonesas, productos medicinales diversos, etc. Con relación a estos últimos, muchas farmacias prescriben el uso del vidrio de color ámbar, de determinadas características de transmisión para la fabricación de ampollas para inyectables y frascos para soluciones que contengan productos fotosensibles (por ejemplo, complejos vitamínicos).

Existen vidrios que contienen óxido de cerio (CeO_2), que absorben fuertemente en el ultravioleta (o sea que serían buenos protectores de productos sensibles a estas radiaciones), pero que a la vista son incoloros. Un segundo ejemplo es el de los vidrios de color azul oscuro (con óxido de cobalto), considerados en una época como buenos protectores de la radiación, cuando en realidad su protección es mínima, ya que dejan pasar las radiaciones más perjudiciales.

También son de destacar, en este sentido, las importantes diferencias que pueden existir en los espectros de transmisión de vidrios de colores similares, como lo son el “verde botella” y el “verde esmeralda”.

Los pocos casos mencionados ejemplifican cómo la simple mención del “color” no es suficiente para especificar el poder protector del envase de vidrio. Sin embargo, es común encontrar especificaciones de este tipo en normas nacionales y extranjeras. Es de esperar que en el futuro tales especificaciones tengan una mayor precisión, a fin de que el efecto que se busca con las mismas se logre con mayor plenitud.

Para evaluar correctamente el poder protector de un vidrio coloreado con respecto a un determinado producto fotosensible, hay que determinar su espectro de transmisión (realizable en cualquier tipo de espectrofotómetro sobre una muestra de vidrio tallada en forma de plaquita de caras planas paralelas y pulidas) y relacionarlo, por un lado, con el espectro de emisión de la fuente luminosa, y por el otro, con el espectro de absorción del producto envasado. La especificación o la determinación del color de un envase puede ser útil para otros fines: estéticos, comerciales o de identificación. Existen una serie de criterios para determinar el poder protector de los envases de vidrio coloreado (algunos de los cuales permite establecer un “índice de protección”).

2.2.7.4 Resistencia química

El tercer aspecto, de fundamental importancia en el uso del vidrio como material de envasado, es su resistencia al ataque químico por parte del producto envasado. El problema se presenta, principalmente, en el caso de productos líquidos que puedan ser alterados por la cesión de componentes del vidrio del recipiente, en particular álcalis. Se han desarrollado composiciones resistentes al ataque hidrolítico, como los denominados vidrios “neutros”, o bien se recurre a tratamientos de la superficie interna (con SO_2 , $(\text{NH})_4\text{SO}_4$ o NH_4Cl , o bien siliconado), tendientes a minimizar la cantidad de álcali que pasa a la solución. Gran número de normas y farmacias establecen los ensayos que deben satisfacer los envases para determinados productos. Estas normas tienden cada vez más a indicar dos diferentes tipos de ensayo de la resistencia química de los recipientes de vidrio.

El primer tipo es el ensayo sobre el vidrio pulverizado, cuya finalidad es la de establecer el tipo de vidrio con el cual ha sido fabricado el envase, o sea clasificar el vidrio. El segundo tipo es el ensayo sobre la superficie interna del envase, con la finalidad de establecer si ésta ha sufrido algún tratamiento o alteración. Sólo la combinación de ambos ensayos permitirá al laboratorio de control la completa caracterización química de los envases que se analiza. En estos ensayos es muy importante tener en cuenta aspectos tales como la relación superficie/volumen, y la extrapolación de los resultados obtenidos en condiciones normalizadas (que por lo general especifican agua destilada o ácidos diluidos como agentes de ataque) a las situaciones reales, en que el envase se llena con mezclas de productos cuya acción sobre el vidrio puede ser de lo más variada. Por ejemplo, el caso de las soluciones de agentes complejos del Ca y el Mg (ácidos cítrico, tartárico, EDTA y ácidos orgánicos polihidroxilados en general), que incrementan el grado de ataque. Muchas normas prescriben asimismo la determinación de cesiones de componentes menores (hierro, metales pesados), de los que puede sospecharse que ejerzan alguna acción deletérea sobre los productos envasados.

Mencionaremos, finalmente, que además de la solubilización de pequeñas cantidades de componentes del vidrio por ataque químico, puede observarse, a veces, la formación de escamas (flaking), que pueden verse como minúsculas partículas brillantes que flotan en el seno del líquido. El fenómeno, que se ha observado fundamentalmente en bebidas de levado tenor alcohólico, puede tener diversas causas, que deben dilucidarse en cada caso particular, y, en general, parece deberse al desprendimiento de la película protectora de gel de sílice, insolubles en el líquido, especialmente si éste contiene elevados porcentajes de alcohol etílico. Es de hacer notar que los análisis de tales escamas revelan en todos los casos que están constituidas fundamentalmente por sílice hidratada, y que su entidad, con respecto a los efectos por su ingestión, es muchas veces despreciable frente al contenido de ácido silícico disuelto del agua común.

2.2.7.5 Elección del material del envase

En las modernas técnicas de envasado, la elección del material del envase implica la consideración de una compleja serie de aspectos, técnicos y económicos. En ambos, el vidrio presenta ventajas a veces muy apreciables con respecto a otros materiales, cuando se trata de obtener una adecuada conservación, y pese a que en ciertos campos ha sido parcialmente sustituido (en especial por los plásticos), el mejor conocimiento de sus características y el perfeccionamiento de las tecnologías de fabricación permiten predecir que se usará en una escala cada vez mayor. La amplia gama de composiciones y propiedades que brinda la industria vidriera permite seleccionar el tipo de vidrio más adecuado para cada uso particular, y, eventualmente, introducir modificaciones en composiciones y procesos existentes para lograr las características deseadas. La elevada inercia química del vidrio, su estabilidad dimensional, su resistencia térmica, su impermeabilidad, la facilidad de limpieza y esterilización, la facilidad con que puede cerrarse herméticamente, la protección de las radiaciones nocivas, la resistencia mecánica combinada con un menor peso, la transparencia que permite apreciar el contenido, su bajo costo, y el hecho de fabricarse con materias primas abundantes y baratas, hace que los envases de vidrio respondan, cada vez más, a las crecientes exigencias en cuanto a la perfecta conservación de los productos envasados que requiere la industria en bien de la alimentación y la salud de la población.

2.2.7.6 Recuperación de los envases de vidrio

Durante años, el envase de vidrio fue un producto reutilizable que se devolvió a la empresa embotelladora o envasadora para su lavado y relleno. Algunos ejemplos familiares de este proceso de recuperación son las botellas retornables de leche, refrescos y cerveza, y los frascos para determinados alimentos, como vegetales, frutas y mermeladas. Las comidas y bebidas que no se envasan en frascos y botellas se envasan en latas de hojalata.

Tradicionalmente, el calcín era el vidrio recuperado en las roturas y rechazos que se producían en los procesos de fabricación, lavado o embotellado. La era de los envases de vidrio sin depósito no retornables, y de otras formas de envases nuevos y mejorados para los alimentos (por ejemplo, envases de aluminio y plástico), enviaron la mayoría de los envases de vidrio al flujo de los residuos evacuables.

El camino en la evacuación del vidrio postconsumidor llegó con las distintas prácticas de recolección de residuos sólidos. Por lo general, los envases de vidrio recuperados y devueltos para su refabricación son el resultado de una serie de prácticas realizadas para la recuperación de los materiales, que:

- Recuperan envases de vidrio en respuesta a la legislación que prohíbe su evacuación en los vertederos, e incluye el pago de un depósito sobre el envase.
- Recuperan envases de vidrio en centros de recolección dedicados a la separación de reciclables.
- Recuperan los envases de vidrio procedentes de fuentes comerciales (por ejemplo, bares y restaurantes).
- Recuperan los envases de vidrio, a partir de reciclables mezclados, que normalmente incluyen: papel, vidrio, aluminio y plásticos.
- Recuperan envases de vidrio en plantas de procesamiento para los residuos sólidos.
- Recuperan vidrios rotos y rechazos procedentes del proceso de fabricación de envases de vidrio y de la industria envasadora.

El procesamiento de envases de vidrio está directamente relacionado con el tipo de producto que será fabricado y con el tipo de materiales que serán sustituidos por el calcín postconsumidor. En la industria del vidrio, siempre se ha introducido el calcín propio en el lote de producción, ya que se trata de una materia secundaria fiable y libre de contaminantes. Sin embargo, la reutilización del vidrio de envases postconsumidor tardó muchos años en implantarse como un segmento de la industria del reciclable.

Los requisitos básicos para emplear envases de vidrio usados en la fabricación de envases de vidrio nuevos no han cambiado desde que el calcín propio fue introducido por primera vez como un ingrediente secundario. El vidrio debe estar limpio, libre de tapas y anillos metálicos, y lo que es aún más importante, debe estar seleccionado por colores. Como consecuencia de estos criterios de fabricación, el procesamiento del vidrio ha evolucionado hasta incluir los pasos necesarios que garantizan una materia secundaria útil.

Los pasos básicos para el procesamiento del vidrio de envases son:

- Lavado inicial, separación de tapas.
- Separación por colores.
- Reducción del volumen mediante trituración o rotura.
- Preparación para su transporte al mercado.
- Beneficio propio.

2.2.7.6.1 Limpieza inicial y separación por colores:

En los programas de reciclaje domésticos, la tendencia ha sido solicitar el lavado de los envases y la separación de las tapas antes de colocar los envases en la acera o llevarlos hasta un centro de recolección selectiva. Algunos programas requieren que el residente seleccione por colores, pero la separación en la acera o la selección manual en un centro de

reciclaje son cada vez más comunes. Esto supone una mayor comodidad para el residente y, de todas formas, en el centro de reciclaje o en la estación de transferencia se realiza algún tipo de separación como medida de control. Los programas de recuperación para los reciclables mezclados pueden diseñarse de forma que incluyan a los envases de vidrio. La recuperación de las botellas y frascos de vidrio se realizan normalmente mediante cintas transportadoras y selección manual. Los envases de vidrio pueden seleccionarse sistemáticamente al mismo tiempo que se recolectan de la cinta de procesamiento. Algunas transportadoras se diseñan para que sólo con la selección manual se consiga la desviación de los envases de vidrio hasta transportadoras individuales, que dirigen los envases seleccionados por colores hacia los procesos de rotura, cribado y almacenamiento a granel.

2.2.7.6.2 Rotura y trituración del vidrio:

La rotura del vidrio no es deseable si se produce antes de la separación por colores. No es fácil separar el vidrio roto del flujo de los residuos mezclados, pasando a convertirse en un material de vidrio mezclado que no tiene valor real para los usuarios de calcín. En algunos sistemas que procesan residuos mezclados, la fracción del vidrio llega a formar parte del rechazo de grava que se vierte o incluye componente en el compost. En este material, las partículas de vidrio son útiles porque tienen las mismas propiedades físicas que la arena. Si los envases de vidrio van a recuperarse para ser vendidos a los fabricantes de envases o a otros usuarios de calcín limpio y libre de contaminantes, entonces hay que realizar una selección por colores antes de que se produzcan roturas; los anillos metálicos, las etiquetas de papel y los residuos de comida deben ser eliminados, cribados y separados del vidrio después de la rotura inicial y/o trituración, y el almacenamiento del calcín procesado debe asegurar que el material a granel se mantenga limpio hasta que se envíe al mercado.

2.2.7.6.3 Preparación y transporte:

El vidrio de envase es un material de baja densidad hasta que se rompe o tritura. Entonces se convierte en un material de alta densidad. Normalmente es necesario almacenar el vidrio, hasta acumular la cantidad suficiente de un color que posibilite su transporte rentable. Los vidrios rotos se transportan frecuentemente como material a granel en grandes contenedores. Ocasionalmente se utilizan contenedores más pequeños para transportar cantidades menores de vidrio limpio y de color uniforme hasta los usuarios de vidrio triturado de alta calidad.

2.2.7.6.4 Procesamiento final:

Los sondeos realizados en la industria indican que el vidrio de envases utilizado para refabricar frascos y botellas se procesa mediante intermediarios para cumplir los requisitos del fabricante. En la práctica, los envases seleccionados por colores se envían, enteros, rotos o triturados, hasta los usuarios finales. El lavado final se realiza en la fábrica mediante un equipo especializado que separa los materiales residuales, el plástico y las etiquetas de papel. Después, los vidrios rotos se mezclan con las materias primas utilizadas para la elaboración del vidrio.

2.2.7.7 Clasificación de los envases según su recuperación:

Los envases son:

a) Retornables:

- Botellas de vidrio ámbar para cervezas
- Botellas de vidrio blanco para refrescos
- Botellas de vidrio verde para refrescos

b) Reciclables:

- Botellas desechables one way, de vidrio blanco, ámbar y verde, para cervezas y refrescos
- Botellas para jugos y agua mineral
- Frascos y potes para productos alimenticios
- Botellas de vidrio verde y blanco para bebidas alcohólicas y vino
- Frascos para cosméticos y medicinas

c) Productos de vidrio no reciclables:

- Lámparas incandescentes
- Lámparas fluorescentes y Tubos de televisión
- Vidrios planos y espejos
- Vidrios domésticos (ollas de vidrio borosilicado y vidrios especiales)

2.2.7.8 Aplicaciones de los envases recuperados

Los envases recuperados tienen muchas aplicaciones industriales, entre las cuales podemos mencionar:

- Material de relleno
- Material abrasivo (lija)
- Materia prima para cerámica vidriada
- Elaboración de microesferas de vidrio
- Elaboración de lana de vidrio
- Elaboración de fibra de vidrio
- Elaboración de metras
- Elaboración de espuma de vidrio
- Elaboración de baldosas de vidrio
- Materia prima en la elaboración de asfalto
- Aplicaciones artísticas

2.2.7.9 Características que debe reunir el vidrio recuperado (cullet)

Los envases de vidrio ofrecen excelentes oportunidades de reciclaje. Suponiendo que ellos estén libres de cualquier suciedad u otros contaminantes, el vidrio de envases puede ser reciclado una y otra vez sin producción de residuos o pérdidas de su calidad.

El vidrio a reciclar contiene gran cantidad de impurezas, tapones de plástico y metálicos, corchos, piedras, papeles y plásticos, etc.

En estas condiciones sería prácticamente imposible la fabricación de nuevos envases ya que estos cuerpos extraños, crearían defectos en el vidrio nuevo.

Antes de que el vidrio de envases pueda ser reciclado, éste debe ser limpiado concienzudamente. Suciedad, tierra, metales u otros contaminantes terminaran causando problemas en la fábrica de vidrio. Estos pueden llegar a ser tan graves como para tener que limpiar el horno de fundición, lo que significa una gran pérdida en tiempo y dinero. Por lo tanto, es aconsejable gastar todo el tiempo necesario en limpiar los envases, si es necesario empleando detergente, agua caliente y escobillas. Las etiquetas que sean de papel pueden ser dejadas siempre y cuando su litografía no sea a base de plomo. Sin embargo las etiquetas plásticas deben ser removidas.

Es recomendable la separación de los vidrios por color, ámbar (café), verde y blanco (flint), ya que colores diferentes, así como objetos extraños presentan serios problemas de contaminación en el horno. Para ayudar al proceso de clasificación, el vidrio se puede separar por color en los puntos de recolección utilizando para ello diferentes cajas o contenedores. No se utiliza el vidrio de los cristales de automóvil, ya que contiene cierta cantidad de plásticos.

Al principio estas impurezas eran extraídas manualmente, con medios muy rudimentarios; hoy se utilizan sistemas ópticos para la extracción automática de impurezas.

Todo el vidrio se utiliza para producir vidrio nuevo y en algunos casos fibra de vidrio.

Para la producción de fibra de vidrio es necesario que el material este limpio, que no contenga residuos orgánicos de metales y materiales refractarios. Se considera que la industria de la fibra de vidrio es un gran consumidor potencial de vidrio recuperado.

En la industria del reciclaje del vidrio éste puede ser clasificado bajo tres granulometrías diferentes, a saber estas son: vidrio de menos de 10 mm de diámetro, objetos comprendidos entre 10 y 60 mm y objetos de más de 60 mm de diámetro. Una vez clasificado el vidrio en las tres granulometrías descritas, se inician tres procesos diferentes en función del tamaño:

- El producto menor de 10 mm se da por terminado y pasa a la sección de almacenamiento.

- El producto mayor de 60 mm es triturado en un molino de martillos y posteriormente cribado, separando los objetos de menor densidad (corchos, cápsulas, tapones,...) del resto. El producto obtenido se reenvía al inicio del proceso repetidas veces hasta conseguir separar el vidrio de las impurezas.
- El producto de tamaño comprendido entre 10 y 60 mm es sometido a un proceso de selección óptica. El vidrio es transportado mediante vibración a través de un canal distribuidor con cuatro salidas, por las que cae en función de su tamaño. A continuación pasa por unos canales de alimentación, donde por medio de vibraciones se orientan los trozos en la posición idónea para ser procesados por las unidades de clasificación óptica.
- Las unidades de clasificación óptica distinguen el vidrio roto destinado a ser reutilizado, de los trozos de cerámica, piedras, porcelana y metal no férreo. Cada unidad dispone de unas boquillas de expulsión por aire comprimido, gobernadas por un módulo electrónico capaz de diferenciar la opacidad o transparencia de las partículas que pasan por su campo de acción.
- Las partículas de transparencia prefijada se toman como vidrio recuperado y se envían a la sección de almacenamiento. Las partículas rechazadas son sometidas a un segundo escalón de clasificación, dando como resultado material rechazado que se envía al silo correspondiente, o material dudoso que se reenvía al inicio del proceso para su reclasificación.

En las siguientes tablas se presentan algunas especificaciones que exigen los compradores de vidrio recuperado:

Contaminante	Límite máximo	Nivel típico
Metales ferrosos	< 50 g/t	<ul style="list-style-type: none"> • Blanco < 20-40 g/t • Ámbar < 20-35 g/t • Verde < 20-35 g/t
Metales no ferrosos	< 20 g/t	<ul style="list-style-type: none"> • < 1 g/t
Cerámicas y piedras	< 20 g/t	<ul style="list-style-type: none"> • Blanco < 20-40 g/t • Ámbar < 20-35 g/t • Verde < 20-35 g/t
Materia orgánica	3000 g/t	<ul style="list-style-type: none"> • Blanco: 1000-1500 g/t • Ámbar: 1000-1800 g/t • Verde: 1200-1800 g/t
Humedad	< 2 %	< 2%
Tamaño de partícula	< 50 mm	< 50 mm

Tabla 2.7 Cantidades permisibles de contaminantes en el casco de vidrio. [17]

	Niveles permitidos de mezcla de color (%)			
COLOR	Blanco	Ámbar	Verde	Otros
Blanco	97 a 100	0 a 3	0 a 1	0 a 3
Ámbar	0 a 5	95 a 100	0 a 5	0 a 5
Verde	0 a 10	0 a 15	85 a 100	0 a 10

Tabla 2.8 Especificaciones para el vidrio seleccionado por color. [17]

CONTAMINANTE	CAUSAS PARA EL RECHAZO DE CARGAMENTOS
Férreo (metal magnético)	<ul style="list-style-type: none"> • Cualquier trozo más grande de 15 cm*15cm*30cm. • Más del 1% del cargamento más pequeño que trozos de 15 cm*15cm*30cm y más grande que 1,25 cm • Más del 0,05 % del cargamento es más pequeños que trozos de 1,25 cm.
Metal no férreo (aluminio, plomo, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> • Objetos de tamaño mayor a 2 mm en materiales de envase de vidrio (tapas, papel de aluminio) por encima de las cantidades normales inherentes a los envases de vidrio. • Objetos de tamaño mayor a 2 mm y que no son de envases de vidrio (plomo, cobre, latón) por encima del 0,5 %.
Material orgánico	<ul style="list-style-type: none"> • Materiales en envases de vidrio (etiquetas, PlastiShield) por encima de las cantidades normales inherentes a los envases de vidrio. • Materiales no en envases de vidrio (papel, madera, goma) por encima del 5%.
Material refractario	<ul style="list-style-type: none"> • Cualquier partícula en una muestra de 23 Kg mayor que el tamiz 8 USA. • Más de una partícula en una muestra de 23 Kg más pequeña que el tamiz 8 USA, pero más grandes que el tamiz 40 USA.
Selección de tamaño de vidrios rotos	<ul style="list-style-type: none"> • Más del 25 % de los vidrios rotos es más pequeños que 1,8 cm.
Otro tipo de contaminación	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidades excesivas de suciedad, grava, asfalto, hormigón, cal, basura, etc. • Cantidades excesivas de humedad. • Contaminación provocada por quemar recipientes de vidrio. • Pyrex, material a prueba de horno, vidrio plano.

Tabla 2.9 Especificaciones para contaminantes en vidrio seleccionado por color [17]

2.3 REDUCCIÓN DE TAMAÑO

Muchos materiales sólidos se presentan con dimensiones demasiado grandes para su uso por lo que se deben reducir. Con frecuencia, la reducción de tamaño de los sólidos se lleva a cabo para poder separar diversos ingredientes. En general, los términos trituración y molienda se usan para denotar la subdivisión de partículas sólidas grandes en partículas más pequeñas.

Los sólidos se reducen de tamaño mediante diversos métodos. La compresión o trituración se usa para reducir sólidos duros a tamaños más o menos grandes. El impacto produce tamaños gruesos, medianos o finos, el desgaste o frotamiento produce materiales muy finos, el corte se usa para obtener tamaños prefijados.

La evaluación de las características de las partículas es un aspecto vital del procesamiento de materiales. En algunos casos, puede ser simplemente porque el producto tiene que satisfacer una especificación de tamaño. Mucho más importante es el uso del tamaño de partícula como medida de control para los procesos de reducción de tamaño (fragmentación). En ocasiones, el material puede reducirse de tamaño para incrementar el área de superficie. Debido al costo relativamente alto de la reducción de tamaño y a las dificultades relacionadas con la separación de minerales cuando se tiene una sobrealimentación o una subliberación, es esencial lograr la reducción de tamaño en su magnitud correcta. El tamaño de la partícula se emplea comúnmente para medir el grado de liberación por la relativa facilidad con que se toma la medida.

En realidad, el tamaño no es una medida adecuada de la liberación. Normalmente las partículas procedentes de cualquier operación de reducción de tamaño tienen una gama de características, haciéndose imposible lograr una descripción precisa de tal producto, en vista de que es necesario tener en cuenta:

- El tamaño de cada partícula.
- El tamaño promedio de todas las partículas.
- La forma de las partículas.
- La gama de tamaños de partícula.
- Los minerales que ocurren en las partículas.
- La asociación de los minerales en las partículas.

Sólo las figuras geométricas regulares pueden ser descritas en forma conveniente en cuanto a su tamaño. Por ejemplo, el tamaño de una esfera se define claramente por su diámetro, y el cubo por la longitud de su borde. Un material fracturado, en cambio, aun cuando originalmente haya sido regular, está formado por partículas distintas de forma irregular que no pueden ser definidas con exactitud. Como con frecuencia es conveniente usar un solo número para describir una partícula, es necesario adoptar una descripción aproximada como si la partícula tuviera una forma definida. A este número se le conoce como el diámetro nominal d_n .

2.3.1 Teoría de fractura

Por lo general se asocia a la noción "fragmentación", el machacamiento, de sustancias sólidas mediante fuerza mecánica. Por fragmentar se entiende también la desintegración de un cuerpo en un conjunto de partículas sin alterar el estado de agregación. Las composiciones físicas y mecánica, sin embargo, pueden cambiar, en especial, si se trata de sustancias no homogéneas. La fragmentación modifica siempre el estado de dispersividad de un conjunto, es decir, su composición granulométrica. La fragmentación o trituración tiene que efectuarse en todos los procesos de transformación de sustancias en los cuales existe fase sólida.

Los preparativos tendientes a la separación, en función de sus componentes, de la respectiva sustancia, p. Ej., la concentración de minerales o la molienda de cereales, constituyen una tarea clásica de la técnica de fragmentación. Sustancias tan distintas como los minerales, las menas y el carbón, los cereales y la celulosa, fertilizantes, productos farmacéuticos, sustancias sintéticas y pigmentos colorantes, para mencionar sólo unas pocas, tienen que procesarse para las más diversas finalidades.

El estado de dispersividad de un conjunto, es decir el tamaño y la distribución de los granos, determina en muchos aspectos sus características y su comportamiento. Así, por ejemplo, representan funciones de la finura media y de la distribución de los granos la fricción interna, el comportamiento de aglomeración, la solubilidad y miscibilidad, la posibilidad de transporte así como el color y el sabor.

Como el producto molido tiene que cumplir con determinadas exigencias, el estudio sistemático de un proceso de fragmentación o trituración debiera comenzar por la determinación de la dependencia de las características esenciales del estado de dispersividad. La fragmentación representa una tarea importante también en el cuadro de la preparación de muestras de sustancias sólidas, con miras a procesos analíticos sucesivos.

2.3.1.1 Sistemas de fragmentación

En cualquier operación industrial de reducción de tamaño, la fragmentación de cualquier partícula individual ocurre simultáneamente con la de muchas otras partículas. Los productos de la fragmentación de cualquier partícula se mezclan íntimamente con los de otras partículas y no son distinguibles unos de otros. Como consecuencia, una operación industrial de reducción de tamaño puede analizarse solamente en función de la distribución de partículas de la alimentación que ha de reducirse a una distribución de partículas de producto. Sin embargo, cada partícula individual se fractura como resultado de los esfuerzos que se aplican precisamente a ella, por lo que es conveniente investigar cómo es que se fractura una partícula aislada.

Al tratar de entender los mecanismos fundamentales por los que se fracturan las partículas, en el transcurso de muchos años diversos investigadores han intentado aplicar los conceptos de la "física de la fractura" y de la "mecánica de la fractura" como se emplean en la ciencia de los materiales y en la mecánica de las rocas. Las partículas de

mineral son heterogéneas, tienen normalmente fallas tanto a macro como a microescala, y no siempre se comportan como materiales frágiles. Empero, examinando materiales bien definidos y considerando luego los efectos de la naturaleza heterogénea de las partículas de mineral, se ha logrado avanzar substancialmente hacia la descripción del proceso de fracturación.

Para asegurar que el proceso de fragmentación pueda desarrollarse sin problemas y de modo eficiente, el mecanismo de esfuerzo de la máquina de fragmentación deberá estar ajustado al comportamiento de machacamiento del material. En la práctica es cuestión de triturar materiales de los más diversos ramos industriales y procesos de producción de modo que sus características de fragmentación deben evaluarse, por supuesto, de manera diferenciada. La densidad, el grado de dureza, la consistencia y, no en último lugar, la forma geométrica del material a moler requieren por lo tanto sistemas de fragmentación o trituración distintos.

La variedad extraordinaria de las tareas de fragmentación ha hecho surgir un sinnúmero de máquinas diferentes para la fragmentación, las cuales, en cuanto al margen de granos gruesos, es decir para materiales a granel de más de 40 mm de diámetro, se denominan machacadoras o trituradoras mientras que el material correspondiente a los márgenes granulométricos inferiores se procesa por medio de los molinos.

Se habla, en general, de machacadoras para material grueso y para material fino y de molinos gruesos o finos. Debido a los mecanismos de esfuerzo presentados y descritos a continuación se han desarrollado equipos de fragmentación para satisfacer las más diversas exigencias en el área de la preparación mecánica de los sólidos. Estos mecanismos de esfuerzo están siempre relacionados íntimamente con el comportamiento de fractura del material a moler, pero, en cada caso, hay que llevar en consideración también las exigencias del usuario, es decir el planteamiento de la tarea.

2.3.1.2 Mecanismos de esfuerzo mecánico

a) Esfuerzo ejercido por presión

Esfuerzo entre dos superficies de sustancias sólidas que constituyen, por un lado, directamente las superficies de las herramientas de molienda o, por otro lado, las superficies de dos partículas vecinas. Las superficies de esfuerzo pueden moverse a su encuentro paralela o tangencialmente y ejercer así la presión necesaria. Ejemplo: Trituradoras de mandíbulas, machacadoras de palanca acodada, etc.

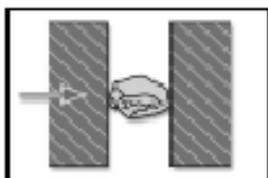


Figura 2.17 Fragmentación por presión

b) Esfuerzo ejercido por impacto

Esfuerzo ejercido en una de las superficies de un sólido. Puede ser la de una herramienta de molienda o estar constituida por otras partículas. Un esfuerzo por impacto causado ante todo por la aceleración unilateral o recíproca de partículas, originada por la energía cinética del movimiento relativo. Ejemplo: Molinos por impacto, pulverizadores por impacto de chorro de aire, etc.

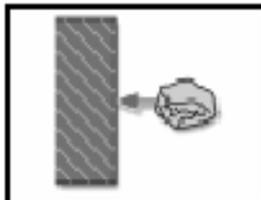


Figura 2.18 Fragmentación por impacto

c) Esfuerzo por presión y fricción

Esfuerzo entre dos superficies de sólidos, causado por la presión vertical de una superficie y el movimiento circular simultáneo horizontal, céntrico o excéntrico de la otra superficie. Ejemplo: Morteros manuales, molinos de mortero.

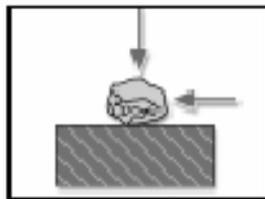


Figura 2.19 Fragmentación presión y fricción

d) Esfuerzo ejercido por cizallamiento

Esfuerzo entre dos o más superficies de sólidos debido a efectos de cizallamiento. La fragmentación se produce por medio de dos superficies que se mueven en dirección opuesta o de una superficie móvil y otra fija. Es posible un efecto adicional de impacto y percusión. Ejemplo: Cizallamiento entre la criba anular y el rotor en molinos de rotor de percusión, molinos de aspas batientes, molinos ultracentrífugas, etc.

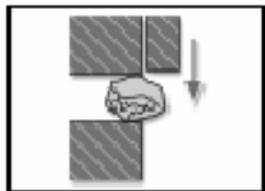


Figura 2.20 Fragmentación por cizallamiento

e) Esfuerzo por corte

Esfuerzo entre dos o más superficies dotadas de canto vivo. Los filos actúan perpendicularmente uno contra el otro. En muchos casos se trata de un canto vivo fijo y otro móvil. Ejemplo: Trituradoras, molinos de corte, etc.

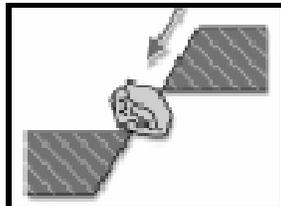


Figura 2.21 Fragmentación por corte

f) Esfuerzo ejercido por un medio rodeante

En caso de altos gradientes de cizallamiento el esfuerzo ejercido por el medio circundante, un gas o un líquido, tiene efecto sólo en materiales de baja resistencia, por ejemplo, en aglomeraciones o materiales con un bajo grado de dureza < 3 según Mohs. La desaglomeración en sustancias altamente viscosas representa un campo de aplicación típico. Ejemplo: Agitadores de altas revoluciones, tales como los de Bender, Ultraturrax, etc.

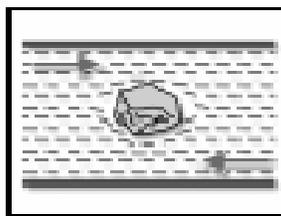


Figura 2.22 Fragmentación por medio rodante

2.3.2 Leyes energéticas

En la reducción de tamaño de los sólidos, los materiales de alimentación se pulverizan a tamaños más pequeños por medio de una acción mecánica, es decir, los materiales se fracturan. El primer paso del proceso consiste en que las partículas de la alimentación se deformen y desarrollen tensiones por acción de la maquinaria de reducción de tamaño. Este trabajo para crear esfuerzos en las partículas se almacena temporalmente en el sólido como energía de tensión. A medida que se aplica más fuerza a las partículas, la energía de tensión excede un nivel y el material se fractura en trozos más pequeños.

Cuando el material se fractura, se producen nuevas áreas superficiales. Cada nueva unidad de área de superficie requiere determinada cantidad de energía. Parte de la energía se utiliza en la creación de estas nuevas superficies, pero gran parte aparece en forma de calor. La energía requerida para la fractura está en función muy complicada del tipo de material, del tamaño, de su dureza y de otros factores.

La magnitud de la fuerza mecánica aplicada; su duración; el tipo de fuerza, tal como compresión, esfuerzo cortante e impacto; y otros factores, afectan la eficiencia y alcance del proceso de reducción de tamaño. Los factores importantes del proceso de reducción de tamaño son la cantidad de energía o potencia consumida, el tamaño de las partículas y las superficies nuevas formadas.

La cantidad de energía teórica necesaria para la reducción de un fragmento es uno de los aspectos más importantes en las operaciones de trituración.

Han sido varios los científicos que han enunciado distintas fórmulas, entre ellos Hardgrove, Gross, Zimmerley, etc., pero únicamente los tres que a continuación se mencionan son los que se ajustaban con más exactitud a la realidad.

La primera teoría fue lanzada por Rittinger en el año 1876 y en resumidas cuentas decía que la energía necesaria para una reducción de tamaño es proporcional a la nueva superficie creada. Su aplicación es bastante exacta en lo que se refiere a la trituración media. Sin embargo, para grandes finuras conduce a resultados más favorables que los que pueden medirse en la realidad.

Posteriormente, en el año 1885, Kick enuncia una nueva teoría que decía que la energía necesaria para una cierta reducción de tamaño es proporcional a la reducción de volumen de las partículas. Su aplicación se confirma únicamente para las operaciones de trituración gruesa.

En 1951 Bond publicó, bajo el nombre de Tercera Teoría, un ensayo de justificación matemática de la posición intermedia, relacionando la energía no sólo a D^2 como Rittinger, ni a D^3 como Kick, sino a $D^{2.5}$. Esta teoría parece acercarse más a la realidad que sus antecesores, pero no es aplicable a todos los materiales homogéneos, y no constituye más que una aproximación. Pese a ello, es la teoría que mejor se adapta a los casos reales.

La teoría dice que la energía necesaria para una cierta reducción de tamaño es proporcional a la nueva longitud de fisura creada y su fórmula es la siguiente:

$$P = 1,46 \times E_i \times T \times \left(\sqrt{\frac{1}{D_p}} - \sqrt{\frac{1}{d_f}} \right) \text{ Ecuación 2.7 [24]}$$

Donde:

- P : Potencia (hp)
- E_i : Índice de molturabilidad del material
- T: Velocidad de alimentación $\left(\frac{\text{ton}}{\text{min}} \right)$
- D_p : Tamaño de alimentación (ft)
- d_f : Tamaño de salida (ft)

El índice de molturabilidad de Bond ha sido determinado para diversos materiales mediante una cantidad elevada de pruebas de laboratorio. Estos valores, mostrados algunos de ellos en la tabla 2.10, deben considerarse a título indicativo. En general, se trabaja por referencia a una materia de naturaleza lo más parecida posible a la que se desea estudiar y cuyos resultados de trituración industrial ya se conocen. Esta materia testigo sirve de cierto modo para regular la máquina de pruebas, gracias a la cual se podrá establecer una relación de proporcionalidad entre las dos materias. La fórmula de Bond permite a continuación despejar las constantes correspondientes a la nueva aplicación prevista.

La resistencia de una materia a la fragmentación tiene una influencia mayor en cuanto a la cantidad de energía consumida. Esta resistencia a la fragmentación es un componente más o menos complejo de las distintas propiedades mecánicas de los materiales considerados, como la dureza, tenacidad, resistencia a la compresión, densidad, etc. Igualmente debe considerarse la abrasividad de los materiales, ya que es la causante del desgaste y, por lo tanto, de la duración de las piezas de desgaste de las máquinas.

Baritina	4,73
Yeso	6,73
Fluorita	8,91
Pirita	8,93
Cuarcita	9,58
Magnesita	9,97
Mineral plomo-zinc	10,57
Feldespato	10,8
Dolomia	11,27
Mineral de zinc	11,56
Vidrio	12,31
Caliza	12,54
Mineral de cobre	12,73
Hematites	12,93
Cuarzo	13,57
Mineral de oro	14,93
Granito	15,05
Grafito	43,56
Esmeril	56,7

Tabla 2.10 Índice de triturabilidad de algunos materiales. [24]

2.3.3 Equipo para la reducción de tamaño

Muchas materias primas requieren la reducción del tamaño de sus trozos, agregados, granos, partículas, etc., antes de que éstos puedan utilizarse en la fabricación. Los diferentes procesos de trituración y molienda persiguen esta finalidad por medios mecánicos.

En relación con esto se utilizan varios términos, siendo la diferencia entre ellos de aplicación y finalidad más bien que de principio. En general trituración se refiere a la reducción de trozos grandes a un tamaño conveniente para una reducción secundaria. Se emplea generalmente el término pulverización si el producto es un polvo fino. Molienda se utiliza con frecuencia en sentido general, pero en otros casos implica la producción de un polvo fino.

Los principios básicos de los procesos mecánicos de reducción son los tres siguientes:

- Un golpe de martillo
- La trituración por compresión
- Acción de desgarramiento o de cizallamiento

Estos principios pueden ir combinados, o no.

El golpe se obtiene por choque del material contra un martillo móvil o bola en caída, o bien lanzándolo contra una plancha de aplastamiento. La trituración se efectúa en trituradoras de mandíbulas o con tambores giratorios que fuerzan el material a través de un espacio limitado. La acción cizallante se produce cuando un diente o garra se hace pasar a través del material estacionario.

En la elección del tipo y tamaño del equipo de trituración y molienda deben tenerse en cuenta los puntos siguientes:

- Dureza y tenacidad de la materia prima
- Tamaño de los trozos tal como se reciben
- Contenido de humedad del material
- Tamaño deseado del producto final
- Cantidad de producto que se requiere
- Impurezas que pueden existir y si éstas deben rechazarse o triturarse.

Otro punto a considerar en relación con el equipo de trituración y molienda es el que se refiere a si éste se destina a una operación discontinua o continua. En el último caso la molienda puede realizarse en circuito abierto o en circuito cerrado. El método antiguo del circuito abierto implica el empleo de un caudal de alimentación lo bastante lento para que todas las partículas se reduzcan por debajo del tamaño máximo permitido. En muchas máquinas los finos producidos al principio tienen un efecto amortiguador, por lo que prolongan el tiempo y la potencia consumidos en la reducción de las últimas partículas. Si tales máquinas de molienda se conectan con un clasificador que separa las partículas suficientemente finas, y devuelve al molino las que no lo son, pueden economizarse mucha energía y emplearse mayores velocidades de alimentación. La molienda en circuito cerrado puede hacerse en húmedo y en seco, aportándose aire caliente para humedecer el material. Puede conectarse en circuitos cerrados molinos de bolas, de guijarros, de tubo, de barras y de martillos.

Los equipos para la reducción de tamaño se pueden clasificar de acuerdo con la forma en que se aplican las fuerzas, de la siguiente manera: entre dos superficies, como en la trituración y el corte; en una superficie sólida, como en el impacto; y por la acción del medio circundante como en los molinos coloidales. Una clasificación más práctica consiste en dividir los equipos en trituradores, molinos, molinos finos y cortadores.

- a) **Trituradores de quijadas:** El equipo para la reducción no muy fina de grandes cantidades de sólidos, consiste en unidades de baja velocidad llamadas trituradores; de los cuales existen varios tipos comunes. En el primer tipo, que corresponde a un triturador de quijadas, la alimentación se hace pasar entre dos quijadas pesadas o placas planas. Una de las quijadas es fija, y la otra es móvil y alternante con respecto a un punto de pivote en la parte inferior. La quijada oscila sobre el punto de pivote en el fondo de la V. El material pasa con lentitud hacia un espacio cada vez más pequeño, triturándose al desplazarse.

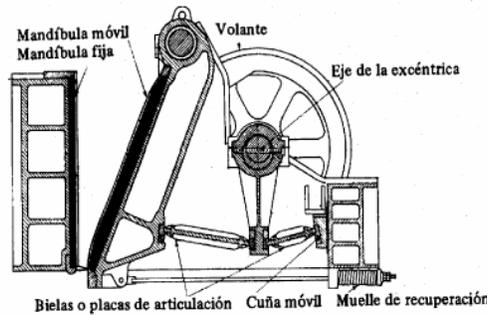


Figura 2.23 Trituradores de quijadas

- b) **Trituradores giratorios:** El triturador giratorio que se representa en la figura se ha convertido en el más predominante en el campo de la trituración de minerales duros en trozos de gran tamaño. Se podría considerar que su acción es la de un mortero manual. La cabeza trituradora móvil tiene forma de cono truncado invertido, y está en el interior de una coraza que tiene el mismo contorno. La cabeza trituradora gira excéntricamente y el material que se tritura queda atrapado entre el cono externo fijo y el cono interno giratorio.

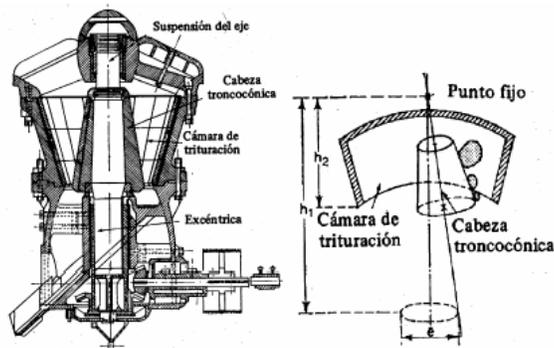


Figura 2.24 Trituradora giratoria

- c) **Trituradores de rodillo:** En la figura se muestra un modelo típico de un triturador de rodillos lisos. Los rodillos giran en sentido contrario, a velocidades iguales o diferentes. El desgaste de los rodillos suele ser un problema grave. La relación de reducción varía entre 4:1 y 2.5:1. También se usan rodillos únicos que giran contra una superficie fija, así como rodillos corrugados y dentados. Muchos productos alimenticios, que casi siempre son blandos, tales como harina, soya y almidón, se muelen con rodillos.

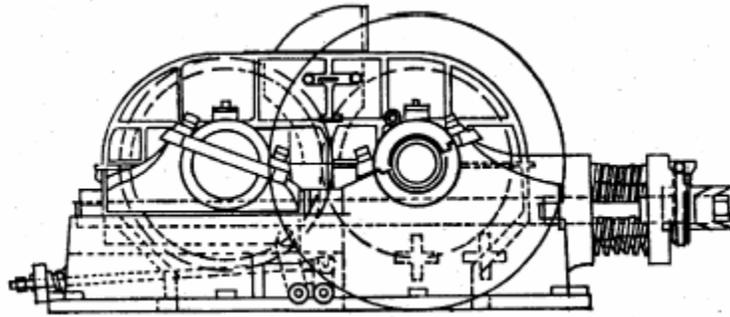


Figura 2.25 Trituradora de rodillo

- d) **Molinos de martillos:** Los molinos de martillos se usan para reducir partículas de tamaño intermedio a dimensiones pequeñas o a polvos. Con frecuencia, la alimentación entra por la parte superior de la coraza y las partículas se rompen a medida que caen por el cilindro. El material se rompe por el impacto de los martillos y se pulveriza al pasar por la estrecha abertura entre los martillos y la coraza. Por último, el polvo pasa por un tamiz o malla en el extremo de descarga.

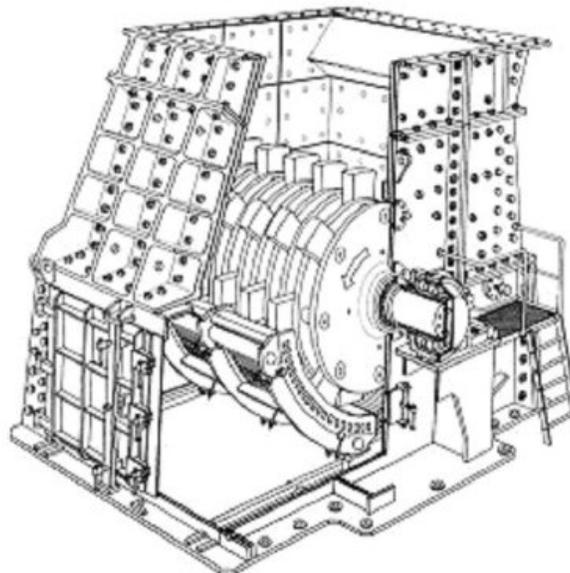


Figura 2.26 Trituradora de martillos

- e) **Molinos giratorios:** Los molinos giratorios se usan para reducir materiales a tamaños intermedios y finos. En este tipo de molinos, una coraza cilíndrica o cónica que gira sobre un eje horizontal, se carga con un medio de molienda, como bolas de acero, pedernal o porcelana, o bien cilindros sólidos de acero. La reducción de tamaño se lleva a cabo por acción del impacto y frotación de las bolas al girar el molino. En los molinos giratorios, el medio gira pegado a las paredes de la coraza durante la rotación de ésta, hasta alcanzar una altura desde la cual caen sobre las partículas. Estos molinos operan en seco o en húmedo.

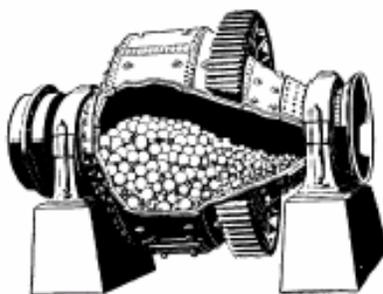


Figura 2.27 Molino giratorio

- f) El equipo para moliendas muy finas es altamente especializado. En algunos casos se usan dos discos planos, pudiendo girar ambos o uno solamente, y el material pasa entre ambos.

2.3.4 Trituradoras para envases de vidrio

Las trituradoras de vidrio pulverizan todo tipo de vidrio, normalmente, envases, en pequeños trozos, denominados calcín. El calcín es la forma preferida por los recicladores de vidrio, ya que se trata de un material más denso. Esta forma fluida simplifica el transporte y se presenta lista para el horno. Por lo tanto, las empresas vidrieras son más propensas a aceptar calcín, ya que esta forma implica un paso avanzado en el proceso de fundición.

Existen diversos tipos de trituradoras de vidrio en el mercado actual. Las trituradoras varían en complejidad desde aquellas que cuentan con un tambor de 0,2 m³ hasta unidades más sofisticadas alimentadas mediante un sistema transportador. Estas últimas incorporan cintas transportadoras que dejan caer el material sobre una serie de cuchillos giratorios, un tambor hexagonal giratorio o una serie de cadenas giratorias. Existen diversas marcas de trituradoras de vidrio alimentadas mediante una cinta transportadora.

Las trituradoras de vidrio con sistema alimentador son eléctricas. Los motores son pequeños, normalmente por debajo de los 4 CV. Como el vidrio es un material tan abrasivo, estas máquinas requieren la sustitución periódica de sus mecanismos trituradores. Por esto es necesario el cambio de piezas y llevar a cabo un mantenimiento cuidadoso.

A continuación se muestra algunas de compañías que ofrecen este tipo de máquinas trituradoras de envases de vidrio.



Figura 2.28 Trituradora de la compañía AUBEMA

COMPAÑÍA: AUBEMA
MATERIAL A TRITURAR: VIDRIO
TAMAÑO DE ALIMENTACIÓN: 5–150 mm
TAMAÑO DE CALIDA: < 2 mm
CAPACIDAD: 20 t/h
PAIS CONSTRUCTOR: EGIPTO

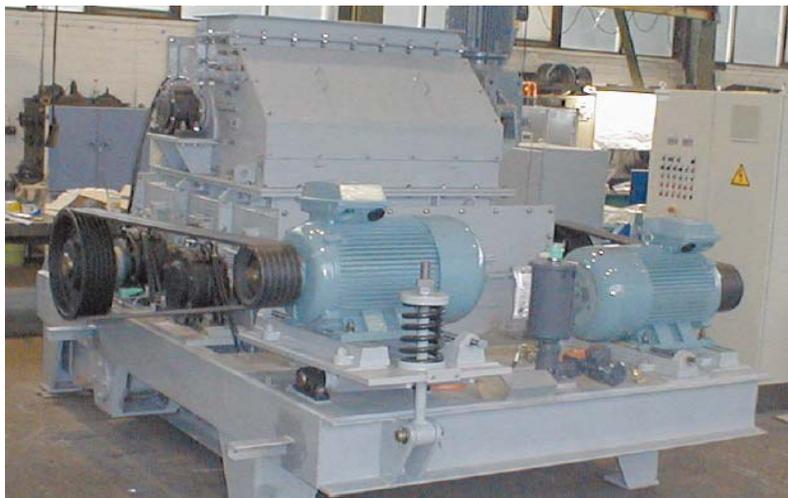


Figura 2.29 Trituradora de la compañía THREE ROLL CRUSHER

COMPAÑÍA: THREE ROLL CRUSHER
TIPO DE MATERIAL DE TRABAJO: VIDRIO
TAMAÑO DE ENTRADA < 100 mm
TAMAÑO DE SALIDA < 2,5 mm
CAPACIDAD: 20 t/h

PAIS DE CONSTRUCCIÓN: China



Figura 2.30 Equipo de trituración de ENDERS & CRUSHERS & SCREENS

COMPAÑIA: ENDERS & CRUSHERS & SCREENS
TIPO DE MATERIAL DE TRABAJO: VIDRIO
TAMAÑO DE ENTRADA < 100 mm
TAMAÑO DE SALIDA: 5-10 mm
CAPACIDAD: 40-50 t/h,
PAIS DE CONSTRUCCIÓN: China



Figura 2.31 Máquina para triturar de la compañía ANDELA

COMPAÑIA: ANDELA
TIPO DE MATERIAL DE TRABAJO: VIDRIO
TAMAÑO DE ENTRADA < 50 mm
TAMAÑO DE SALIDA: 5-8 mm
CAPACIDAD: 10 –15 t/h,
PAIS DE CONSTRUCCIÓN: EUA

2.3 TEORÍA DE DESGASTE

El desgaste puede definirse como el deterioro de la superficie debido al uso. Ocurre en una amplia variedad de operaciones, y en algunas industrias es muy elevado el gasto anual por concepto de reposición de piezas desgastadas.

El desgaste puede ser destructivo o normal; pero aun cuando sea normal puede ser más severo de lo deseable, debido a la frecuencia con que tengan que reponerse esas partes. Ningún elemento de máquina es inmune al desgaste; este fenómeno se manifiesta siempre que exista carga y movimiento.

No hay una regla general que sea válida para todas las manifestaciones del desgaste. Este fenómeno está afectado por toda una variedad de condiciones; tales como tipo y modo de la carga, velocidad, cantidad y tipo de lubricante, temperatura, dureza, acabado de la superficie, presencia de materiales extraños y naturaleza química del medio. Así como las condiciones varían en cada aplicación, también lo hacen las correspondientes manifestaciones de desgaste. Además, en la práctica, el desgaste es, generalmente, una combinación de una o más formas elementales.

Hay varios mecanismos de desgaste. Operan en diferentes proporciones, dependiendo de las condiciones mecánicas. Los principales mecanismos pueden clasificarse como:

- a. desgaste adhesivo
 - b. abrasión
 - c. oxidación y otras reacciones químicas
 - d. difusión
- 1) **Desgaste adhesivo:** Ésta es una manifestación de la teoría de la adhesión en fricción. Conforme las dos superficies de la figura # 1 se deslizan una sobre otra y ocurre la unión de las asperezas, el movimiento continuo de las superficies requiere del rompimiento de las juntas enlazadas. Cada vez que se rompe un enlace se remueve una pequeña partícula (llamada partícula de desgaste) de una de las superficies. Que la partícula de desgaste provenga de una u otra superficie depende de las resistencias relativas involucradas. El material más débil es la fuente de la mayoría de las partículas de desgaste, aunque la acción de desgaste ocurre en ambas superficies.
 - 2) **Abrasión:** La abrasión es un ataque causado por la acción de numerosas asperezas duras de una superficie que choca sobre otra. Las asperezas pueden resultar de la irregularidad y rugosidad general de la superficie más dura, o porque el material tiene empotrado en él partículas duras que sobresalen de la superficie. En cualquier caso, la acción abrasiva implica el rayado y el desgaste de la segunda superficie para formar y remover partículas de desgaste., resultando una progresiva pérdida de material. Este tipo de desgaste produce marcas de rayado longitudinal en la dirección del movimiento relativo.

- 3) **Oxidación y otras reacciones químicas:** En este mecanismo de desgaste, una delgada película superficial se forma por oxidación u otras reacciones químicas. La película es más débil que el metal base, lo cual facilita la remoción de las capas superficiales por abrasión y otras acciones de desgaste. El mecanismo se repite y desgasta gradualmente la superficie al ataque químico, la cual es removida y así sucesivamente.
- 4) **Difusión:** La difusión metálica puede ser un factor de desgaste a altas temperaturas. La difusión es un proceso de transferencia de masa, que se acelera al incrementarse la temperatura.

Otros tipos de desgaste: Otros tipos de mecanismos de desgaste incluyen el ludimiento, el desgaste por vibración (fretting) y la erosión. El ludimiento se refiere a la situación en que las partes significantes de material son arrancados de una o ambas superficies; esto se asocia por lo regular con velocidades relativamente altas y obstrucciones repentinas (soldadura) entre las superficies. El desgaste por vibración es un tipo de desgaste que ocurre cuando dos superficies vibran una contra la otra, durante este mecanismo se rompen las películas protectoras naturales que normalmente las separan y forman partículas de desgaste que desbastan las superficies. La erosión es una acción de desgaste gradual causada por el flujo de un fluido o el choque de partículas abrasivas sueltas contra la superficie. Es diferente de las formas procedentes de desgaste en el sentido de que sólo se involucra una superficie sólida.

CAPÍTULO III

3.1 MARCO METODOLÓGICO

Las máquinas constituyen hoy, como en el pasado, un pilar fundamental sobre el que se apoya toda la actividad del hombre desarrollado.

El motivo por el que se crea una nueva máquina es la existencia de su necesidad presente o previsible. El proceso de creación se inicia con la concepción de un dispositivo, que sirva para una determinada finalidad. A la idea concebida sigue el estudio de la disposición de diversas partes y de la posición y longitud de las conexiones, así como los movimientos relativos o cinemática de estas últimas y de la colocación de engranajes, pernos, resortes, levas y demás componentes de la máquina. Por modificaciones y perfeccionamientos sucesivos de las ideas, lo probable es que se llegue a varias soluciones, de las cuales se adoptará la que parezca preferible.

La práctica real de proyecto consiste en la aplicación de una combinación de principios científicos y de conocimientos adquiridos por experiencia. Rara vez un problema de diseño tiene una solución correcta. El arte del proyecto de máquinas sólo se puede aprender con muchos años de práctica.

Como pocas veces es posible utilizar una ecuación teórica para determinar una dimensión y adoptar el resultado sin más consideración, el requisito importante en esta fase del proyecto es el propio juicio o criterio. Los resultados calculados sólo proporcionan la base para adoptar decisiones eventuales.

El diseño en ingeniería es un proceso de toma de decisiones usado para desarrollar sistemas de ingeniería surgidos de necesidades humanas. Diseñar es concebir, innovar, crear; uno puede diseñar totalmente un nuevo sistema o modificar y reacomodar objetos existentes de una forma nueva para mejorar su aprovechamiento o su funcionamiento.

El diseño en ingeniería empieza por identificar una necesidad social o económica. La necesidad debe ser primeramente traducida a una idea aceptable mediante su conceptualización y hay que tomar decisiones. Después, la idea debe evaluarse en función de las leyes físicas de la naturaleza antes de tener la certeza de que es factible.

Una persona creativa casi nunca seguirá un patrón de acción para desarrollar una idea; al hacerlo así tendería a estructurar su pensamiento y podría limitar la creación de soluciones posibles. El proceso de diseño requiere de ingeniosidad creativa ilimitada y de continua tomas de decisiones de una mentalidad independiente. Sin embargo, el desarrollo total de una idea (desde la identificación de una necesidad hasta el producto final) parece proseguir indefinidamente a través de etapas reconocidas por especialistas y educadores.

Con la utilización en gran escala de la energía fácil del petróleo para el transporte de alimentos y materias primas, y con el de la electricidad, se da el gran paso para llegar a las elevadas concentraciones de población actuales basadas en una complicadísima tecnología

transformadora de materias primas de elevado consumo y baja eficacia energética, pues emplean energía no renovables, y con gran producción de residuos. El desequilibrio natural del ser humano productor y consumidor, y no reciclador, llega al máximo en nuestras sociedades actuales, netamente productoras de residuos e incapaces de reciclarlos y devolverlos al medio sin agredirlo.

Al observar esta constante, se deduce que en lo que a residuos se refiere existe una correlación entre cantidades de producción industrial y consumo (Producto Nacional Bruto, Renta Per Cápita) y generación de residuos. Esta coincidencia es el resultado de un sistema productivo, común en todos los países y que se caracteriza por un escaso nivel de desarrollo técnico en cuanto a la recuperación y reciclaje de subproductos de la fabricación y de los objetos desechados.

La reducción dimensional es un paso importante en muchos de los procesos por medio de los cuales las materias primas se convierten en productos finales acabados.

Las finalidades de reducir el tamaño de las partículas son:

- Incrementar el área de superficie disponible para las reacciones químicas en la fusión.
- Producir partículas dimensionadas de tamaño y forma requeridos.

Las máquinas de trituración tienen que ser diseñadas de acuerdo con la tarea para la que se requiere, y estas necesidades cambian a medida que el tamaño de la partícula decrece y las exigencias del cliente. Entre las exigencias más importantes podemos citar:

- Debe manejar grandes volúmenes y tener un alto grado de reducción.
- La contaminación por partículas de hierro debe ser mínima.
- Alta resistencia al desgaste.
- Fácil funcionamiento y mantenimiento.

Las ventajas que se obtendrían al diseñar una máquina para la trituración de envases de vidrio serían:

- Contribuiría a la generación de empleos de forma directa e indirecta, además de ayudar a las personas más desfavorecidas de nuestra sociedad.
- Desarrollaría nuevas tecnologías en el área de trituración que se ajuste a nuestra realidad.
- Emplearía materiales que sean de producción nacional.

3.2 BÚSQUEDA DE SOLUCIONES

Esta etapa consiste en reunir un grupo multidisciplinario para trabajar sobre el problema y cada persona va formulando ideas de forma fortuita, sistemática y directa, con base en las restricciones y la va explicando brevemente. A continuación se presenta de forma detallada las ideas generadas en varias sesiones:

- **IDEA N° 1:**

Esta primera idea consiste de un tambor cilíndrico perforado que gira alrededor de su eje de simetría y es alimentado de forma continua por un extremo mediante una tolva de boca circular. Al estar girando el tambor a una velocidad determinada provoca que la carga se mueva y se golpee una contra otra, produciendo así efectos de impacto y abrasión en la misma y provocando por consiguiente la fragmentación de la carga. Los orificios cumplen con la función de dejar pasar el material, y lo clasifica, dejando pasar solo los trozos que tienen el tamaño de partícula requerido.

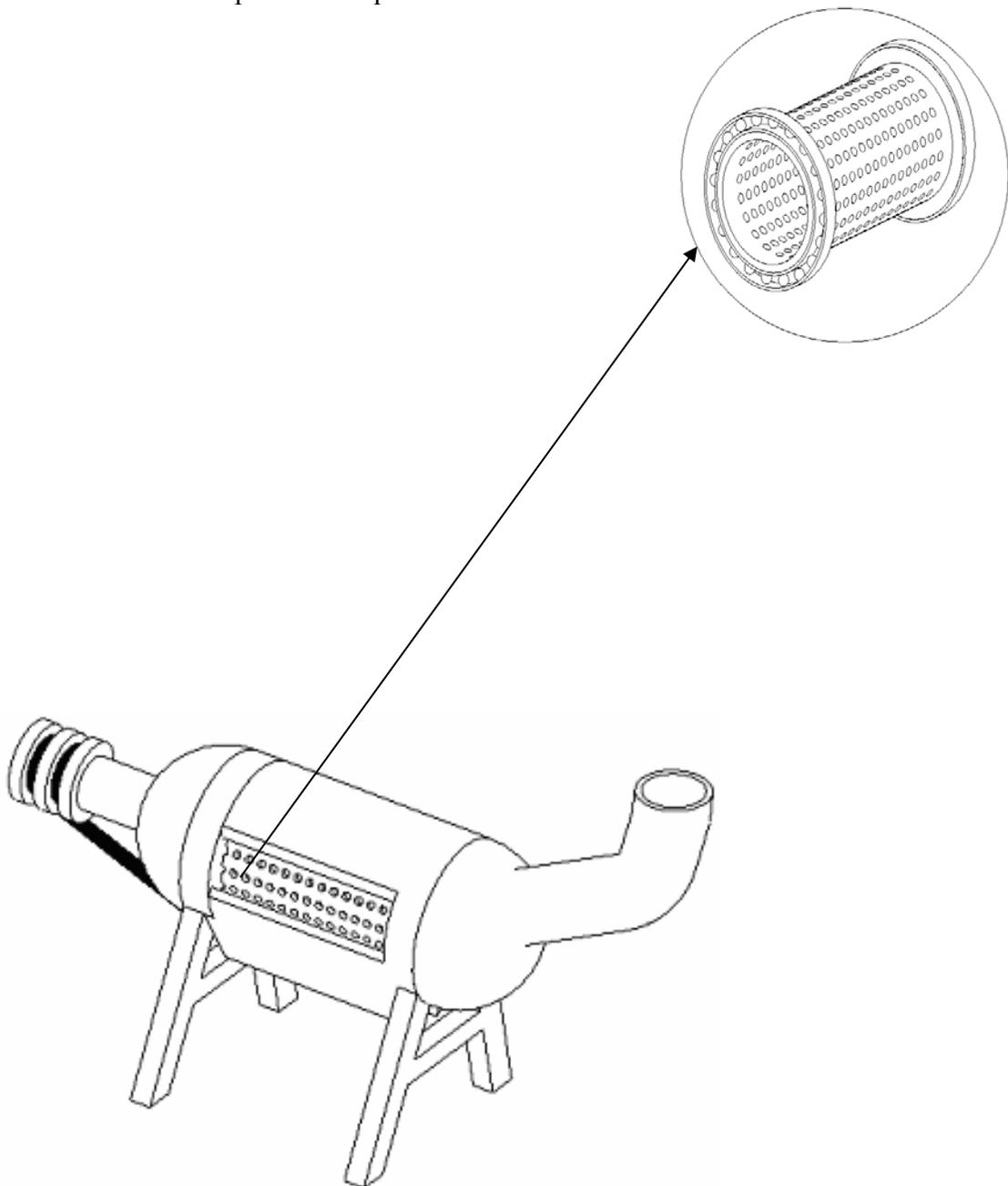


Figura 3.1 Idea N° 1

- **IDEA N° 2:**

En esta segunda idea tenemos un sistema de pistón con cabeza semi-esférica con una serie de punzones cilíndricos, el cual encaja sobre un cascarón semi-esférico perforado. La carga entra lateralmente a medida que el pistón baja y sube alternativamente aprisionando entre los pistones la carga a triturar. La trituración ocurre cuando el pistón baja y trata de encajar dentro de una semiesfera cóncava y se topa con el material a ser triturado y esto provoca la fractura del material el cual es forzado a pasar a través de los orificios que poseen el tamaño requerido.

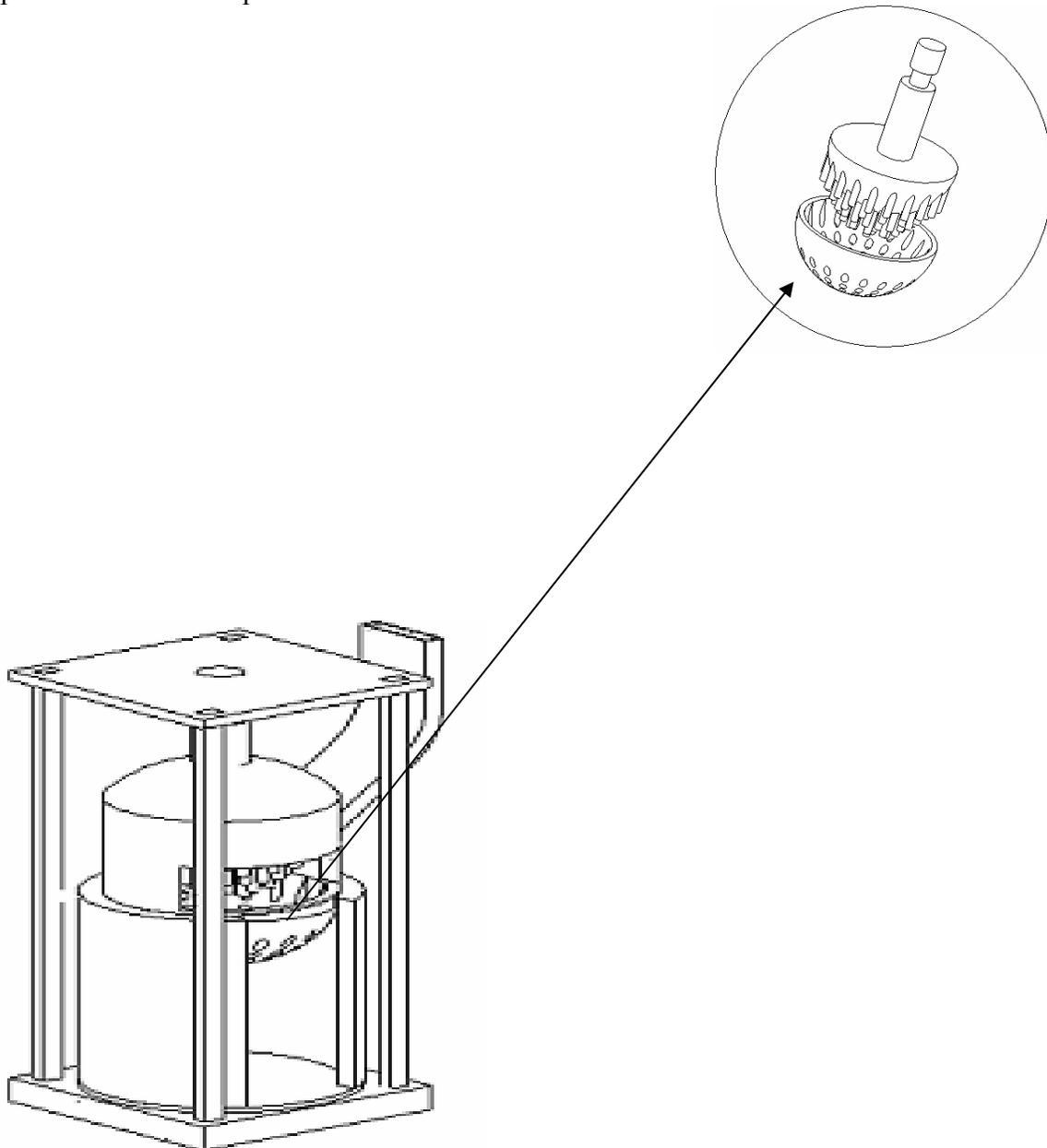


Figura 3.2 Idea N° 2

- **IDEA N° 3:**

En esta tercera idea podemos ver un sistema provisto de una serie de pistones que son accionados de forma hidráulica y con ciclos de movimientos aleatorios. El material es introducido por la parte posterior y caen dentro de la cámara de trituración. Una vez que el material entra a la cámara de triturado es golpeado o impactado por cada uno de estos pistones, sobre una superficie plana, la cual posee una serie de agujeros que cumplen con la función de dejar pasar solamente las partículas de tamaño requerido.

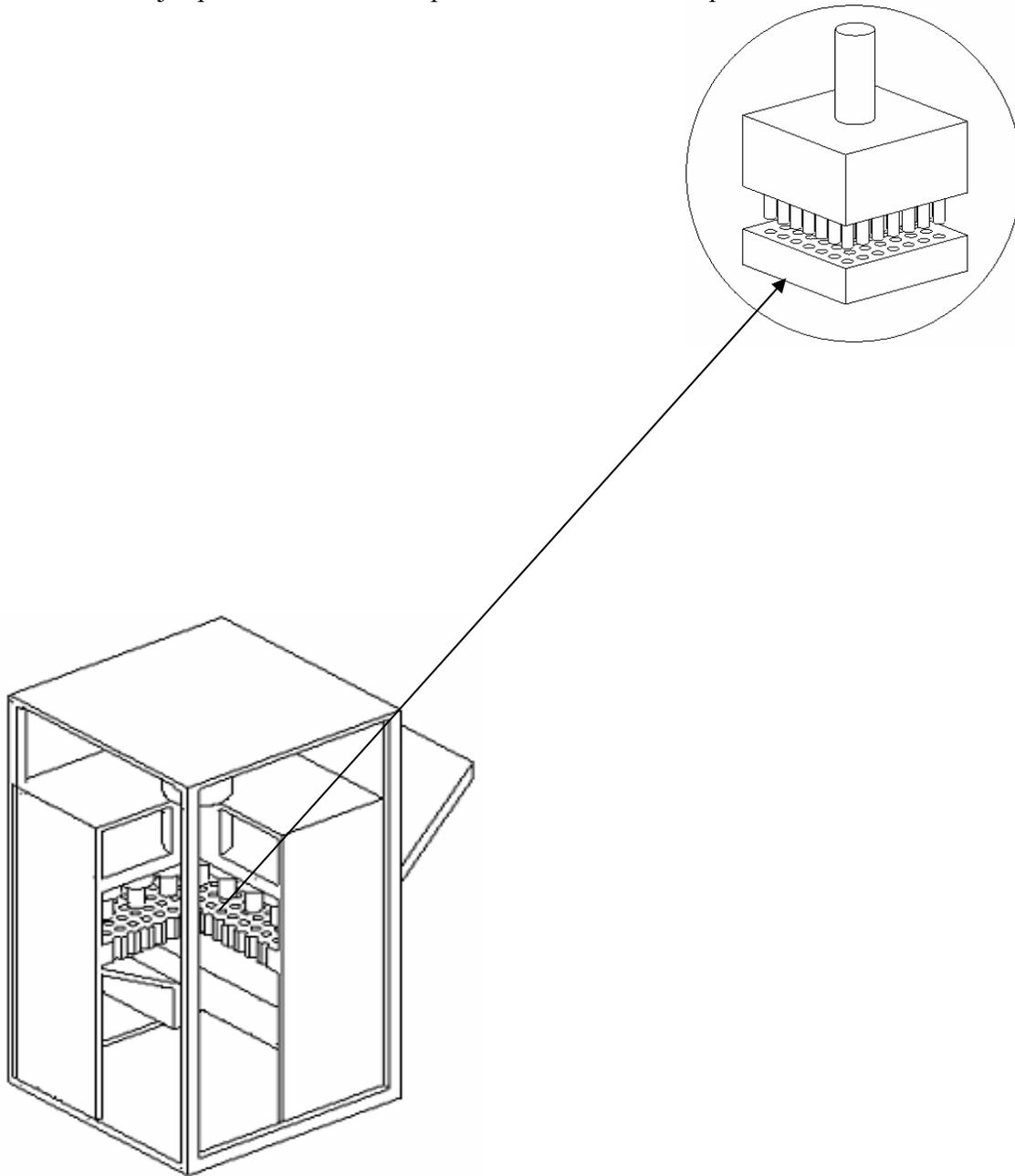


Figura 3.3 Idea N° 3

- **IDEA N° 4:**

De manera similar a la idea anterior esta idea consiste de un sistema hidráulico, el cual esta compuesto de un pistón con una serie de cilindros concéntricos que encajan de manera alterna sobre un base de cilindros también concéntrica y contra puesta al cilindro superior. Los envases son fragmentados por la acción de impacto producida por el cilindro superior sobre el inferior cuando los envases o materia a triturar son interceptados por ambos cilindros. Una vez dentro del cilindro inferior los fragmentos siguen siendo golpeados por la acción del cilindro superior hasta que los fragmentos posean el tamaño adecuado como para que pasen por una serie de orificios que tienen en la base de este cilindro.

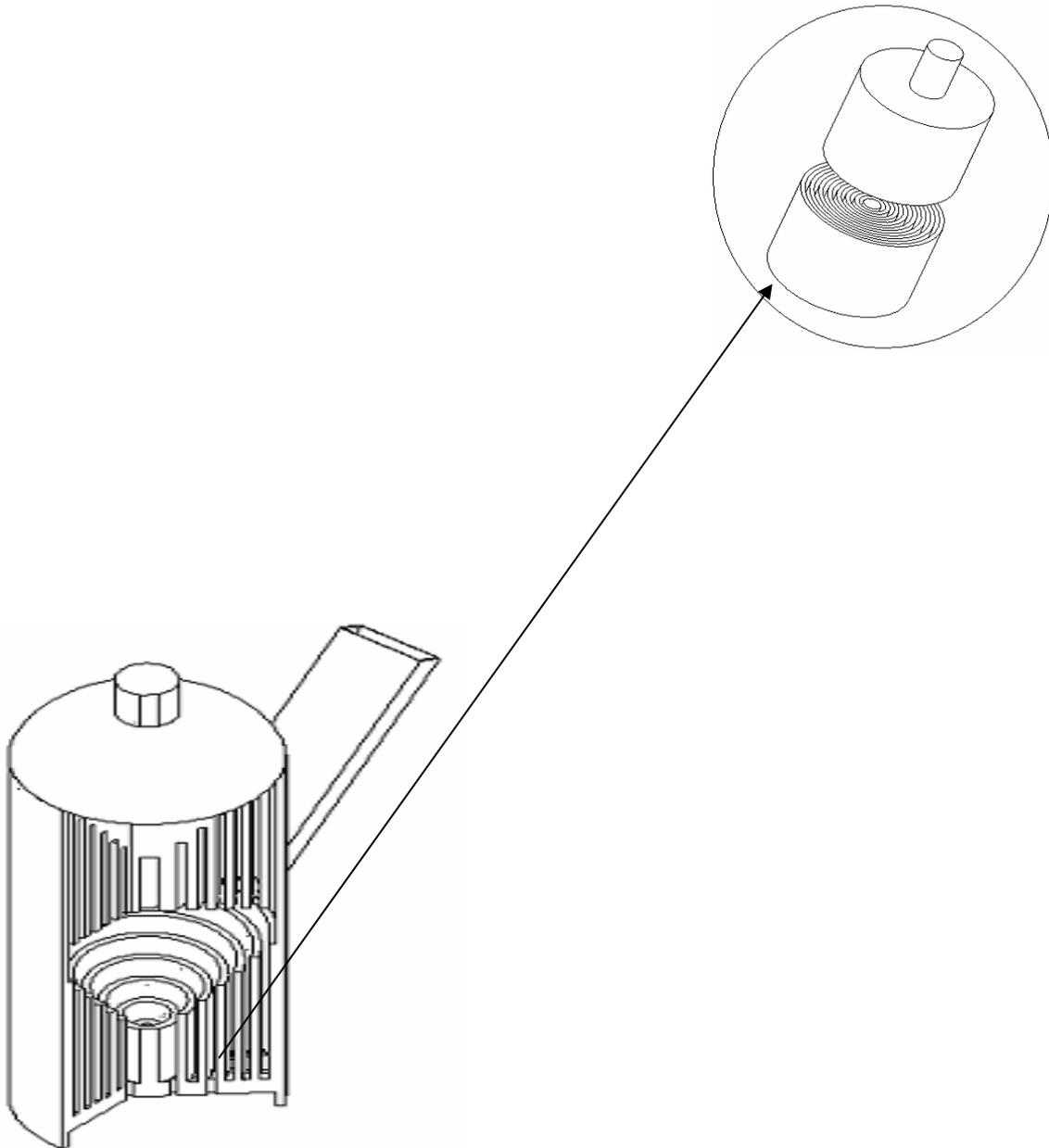


Figura 3.4 Idea N° 4

- **IDEA N° 5:**

La quinta idea es muy parecida en cuanto a la manera de accionamiento y posee como una variante que el pistón es de forma de base irregular (forma de dientes) que encaja una sobre otra. El material es fragmentado cuando la materia a triturar es golpeada y aprisionada entre los dientes por la acción alternante del pistón superior contra el inferior y cuando este material fraccionado sea triturado por un número finito de ciclos es desalojado de la cámara hacia una criba colocada en la parte frontal. Esta criba permite verificar si el material cumple con el tamaño requerido.

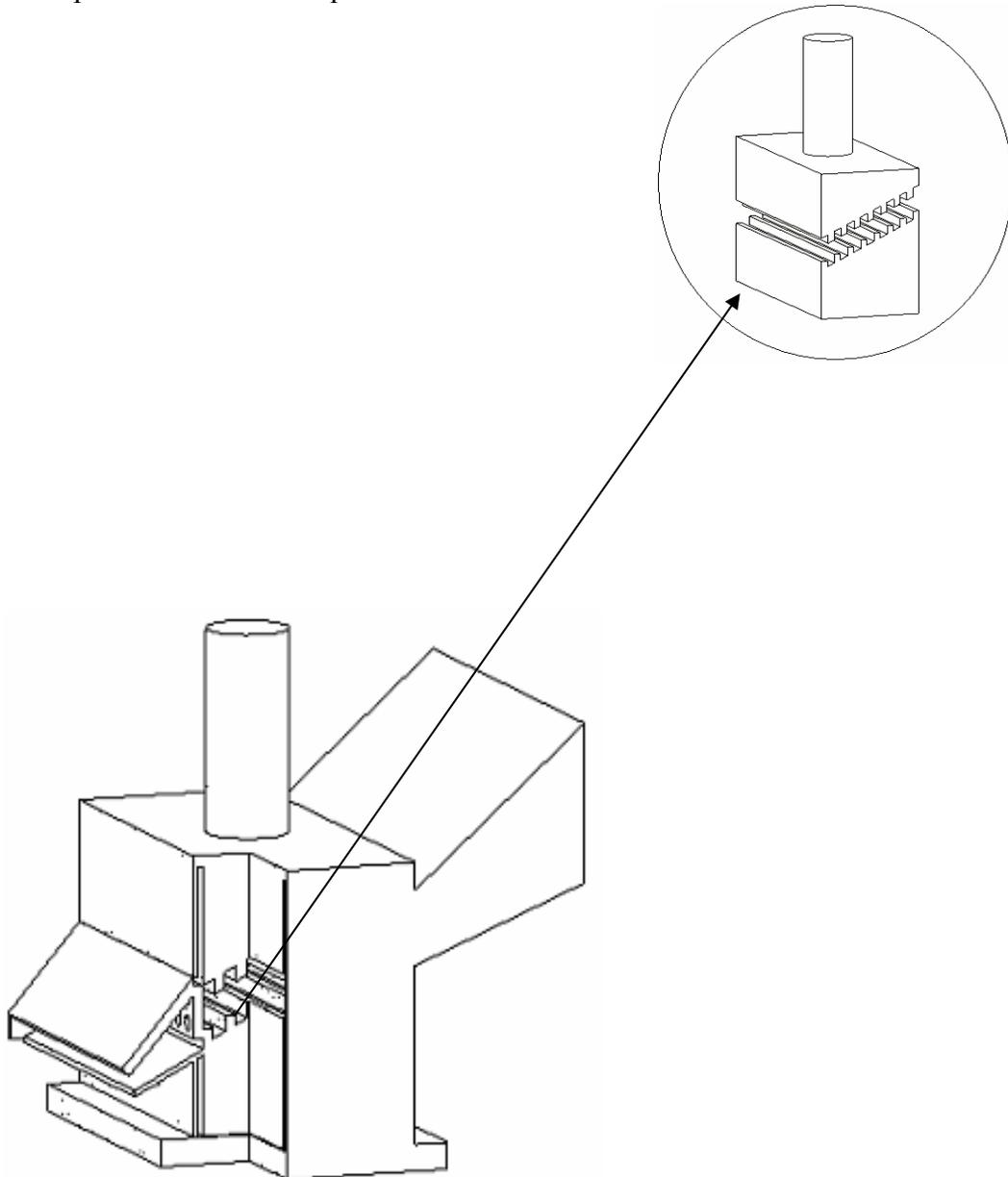


Figura 3.5 Idea N° 5

- **IDEA N° 6:**

La idea número seis posee un sistema conformado por un rotor sobre el cual esta colocado una serie de discos con aberturas. A medida que la carga baja por el rotor el número de aberturas se va incrementando. El rotor es colocado dentro de un cámara que posee discos con aberturas que también van aumentando al descender por la misma. Cuando el material es introducido por la parte superior es fracturado por la acción cizallante de los discos que giran alrededor de la cámara, y a medida que van cayendo de una etapa a otra su tamaño va disminuyendo hasta que llega a la ultima etapa donde se encuentra una criba que verifica el material triturado si cumple con las dimensiones estipuladas.

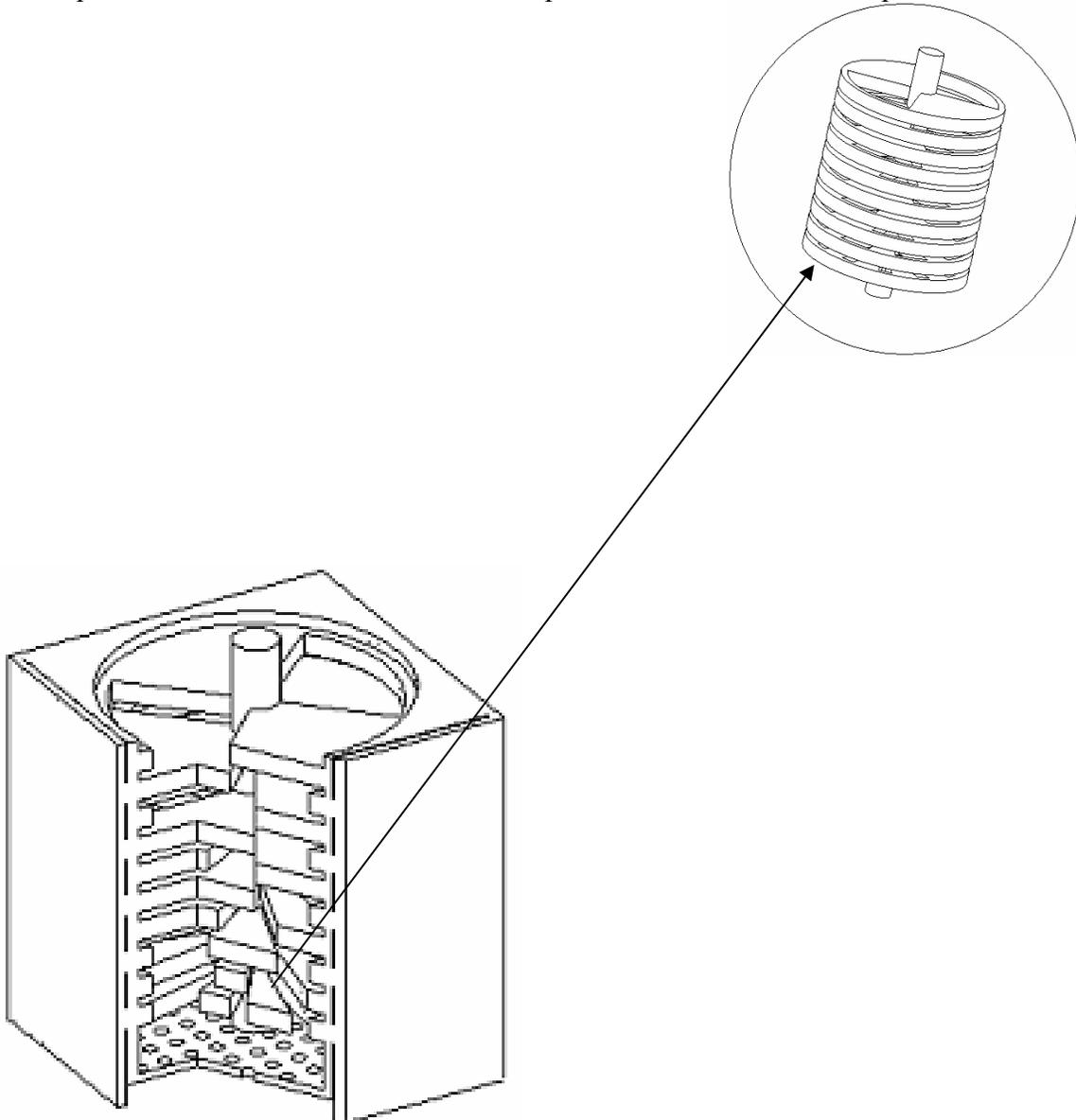


Figura 3.6 Idea N° 6

- **IDEA N° 7:**

La idea número siete consta un sistema compuesto de un rotor que posee una serie de garras fijas a su alrededor y una segunda pieza que es un bastidor el actúa como una parte fija contra la cual se realiza la trituración. El principio de trituración se basa en que cuando el material o envase es introducido por la boca de alimentación, las garras golpean a los envases sobre un bastidor ranurado, ejerciendo sobre éstos una fuerza de flexión, que provoca la rotura del envase. Una vez partido el envase los pedazos del mismo son golpeados por las garras hasta que puedan pasar por la una criba ubicada en la parte inferior.

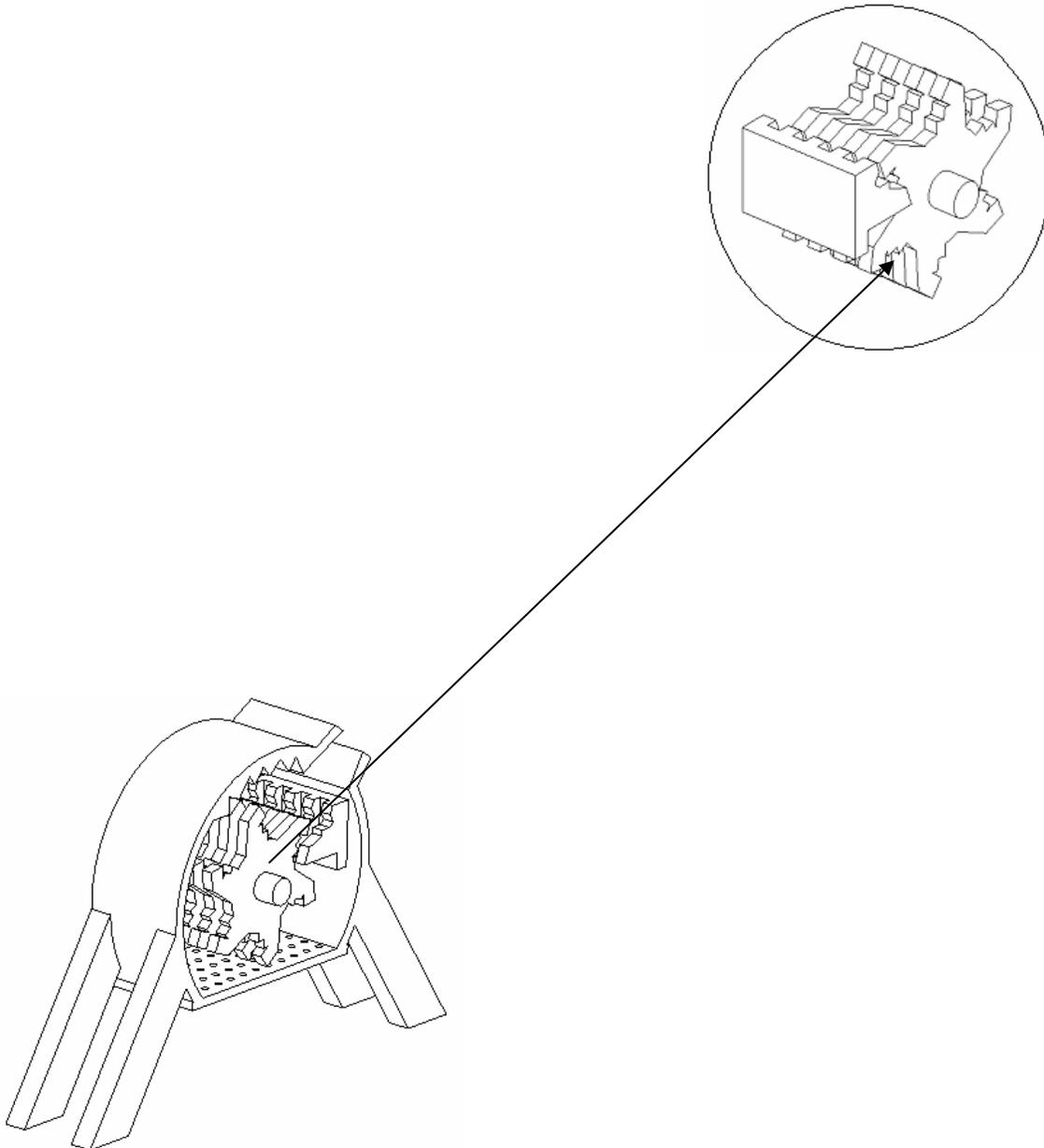


Figura 3.7 Idea N° 7

- **IDEA N° 8:**

La idea número ocho consiste de un sistema conformado por un rotor en el cual están colocados una serie de martillos a su alrededor. Los envases son introducidos por la boca de alimentación ubicada en la parte posterior y luego son golpeados por los martillos en el mismo sentido de alimentación. Dentro de la carcasa de la máquina se colocan forros o barras metálicas antidesgaste, que reciben el impacto de las partículas fracturadas que son aún impulsadas por la acción de los martillos ubicados en el rotor, la función de estos es aumentar el efecto de trituración. En la parte de abajo se coloca una criba, la cual cumple la función de clasificar el material.

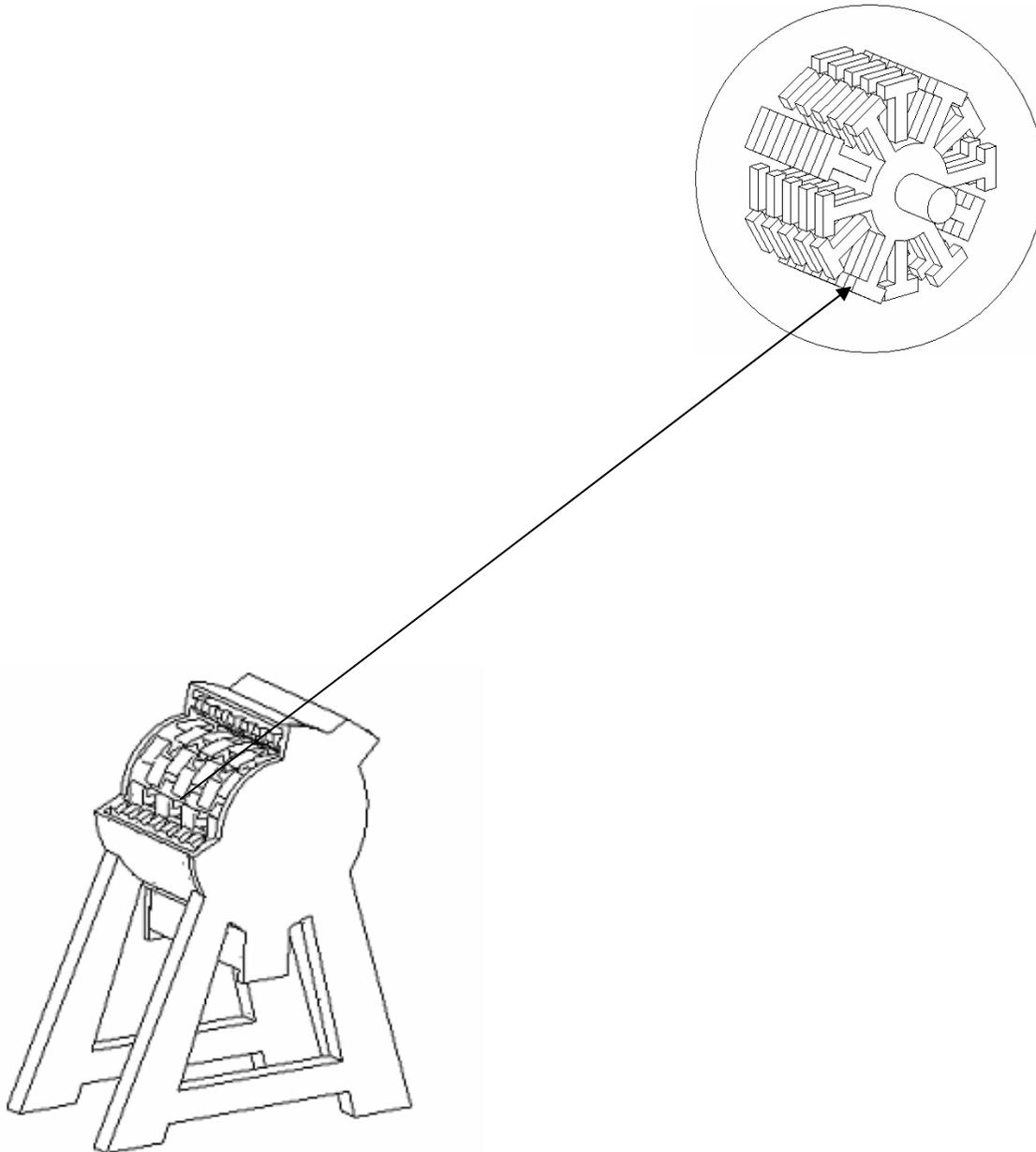


Figura 3.8 Idea N° 8

- **IDEA N° 9:**

La idea número nueve consiste en un sistema conformado por dos rodillos los cuales tienen una serie de dientes a su alrededor, estos dientes encajan unos con otros sobre la base de un cilindro y ambos rodillos giran en contraposición. Los envases que son introducidos por la parte superior se rompen por la acción de la presión ejercida por los dientes sobre los envases y los fragmentados siguen pasando por los dientes de los rodillos reduciendo su tamaño hasta pasar por una criba colocada en la parte inferior de este sistema..

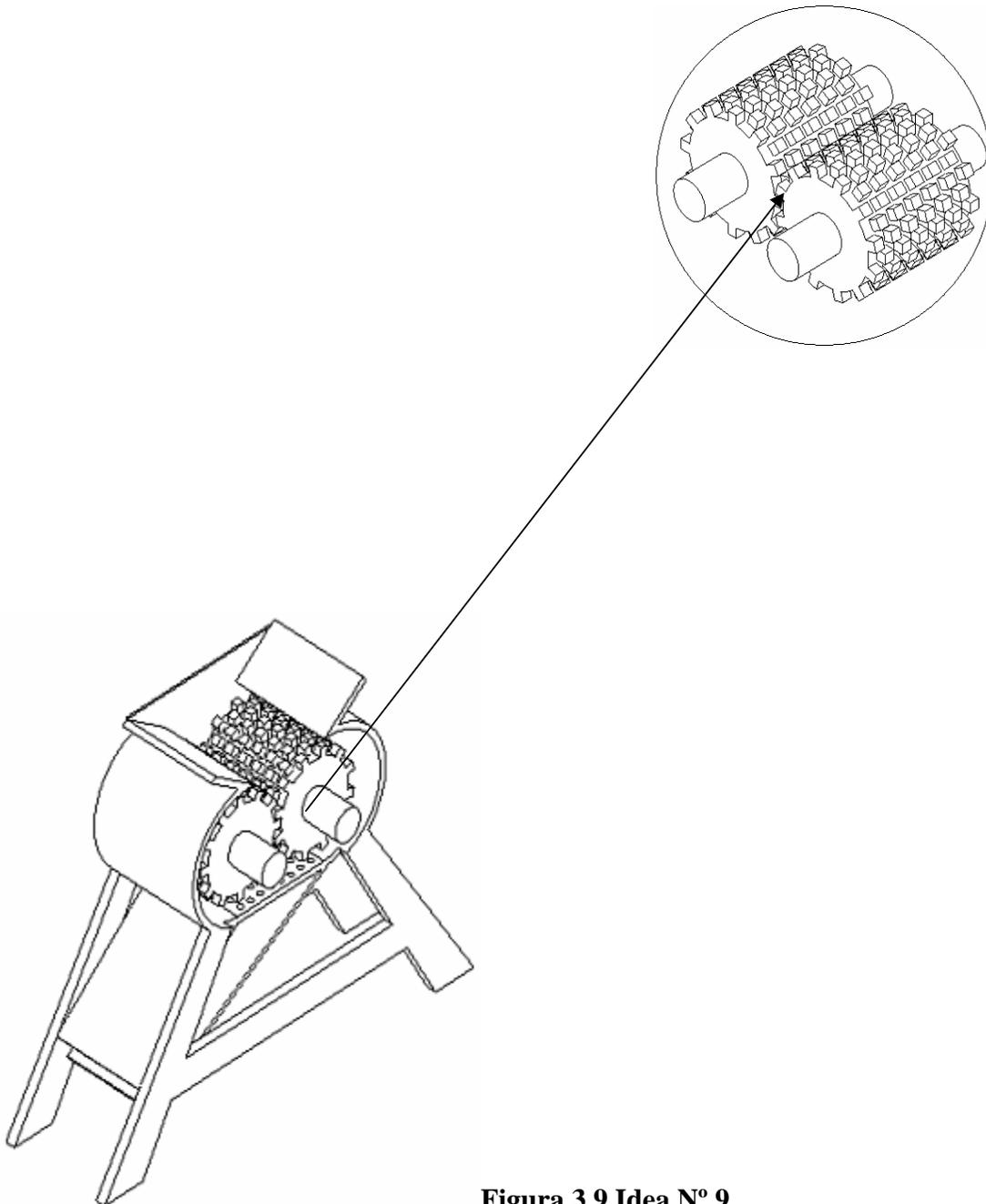


Figura 3.9 Idea N° 9

- **IDEA N° 10:**

La idea número diez consiste en un sistema de dos rotores que giran en sentidos opuestos. Los rotores son unos aros concéntricos, en los cuales van colocados una serie de cilindros a su alrededor. Los envases son introducidos por la parte de arriba, y al pasar por los anillos son golpeados por éstos y subsecuentemente siguen siendo golpeados los fragmentos hasta que al final se cumpla con las dimensiones requeridas. El material que reúne las especificaciones pasa a través de los espacios existentes de los rodillos ubicados entre los aros.

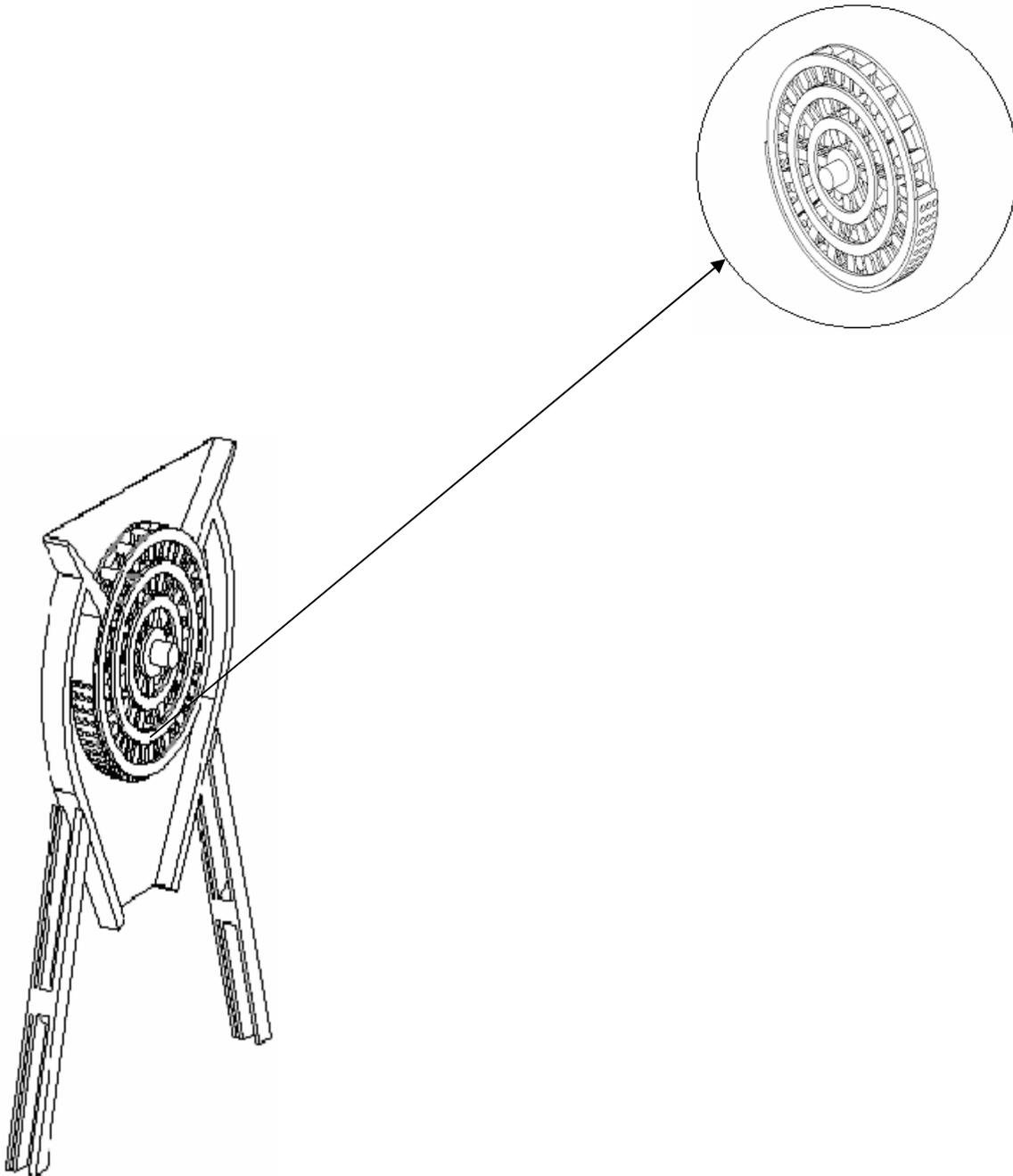


Figura 3.10 Idea N° 10

- **IDEA N° 11:**

La idea número once consiste de dos rotores cónicos que giran en sentidos opuestos, estos rotores cónicos tienen la forma de especie tornillos sinfin de sección variable. Los envases alimentados por la parte superior son triturados por la acción aplastante de las hélices que se encuentran sobre el eje del rotor, si el material no reúne las especificaciones sigue pasando por las hélices del rotor hasta que cumple con las dimensiones especificadas. Una vez que el material reúne el tamaño adecuado es transportado hacia los extremos y pasado por una criba circular.

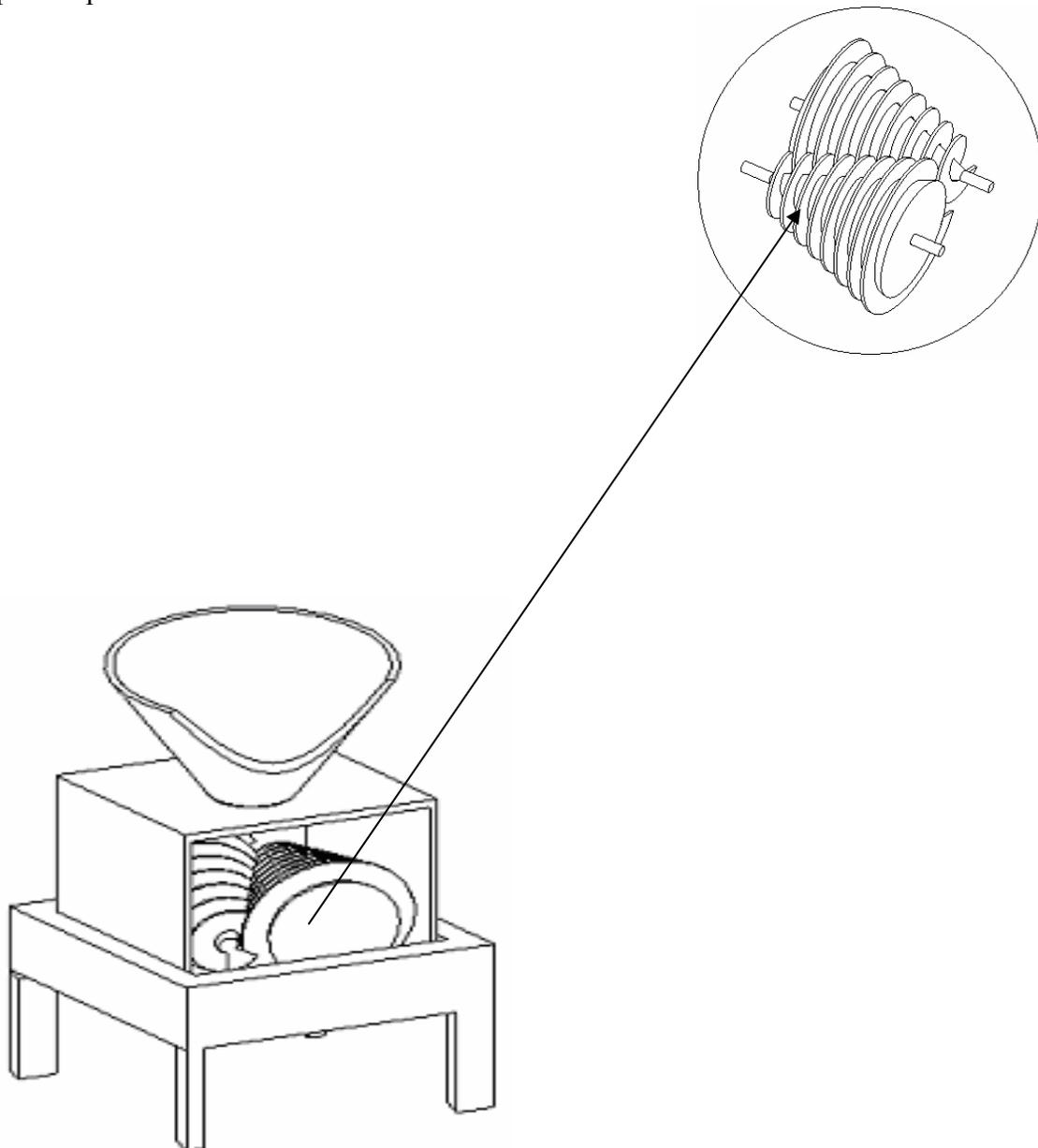


Figura 3.11 Idea N° 11

- **IDEA N° 12:**

La idea número doce consiste de un rotor troncocónico, el cual gira alrededor de su eje de forma excéntrica dentro de una carcasa de forma troncocónica invertida. El material es arrojado por la parte superior, y es fragmentado por la acción de compresión del rotor cuando éste toca las paredes de la carcasa. Si el material reúne la granulometría adecuada pasa a través de la holgura que existe entre las paredes de la carcasa y el rotor.

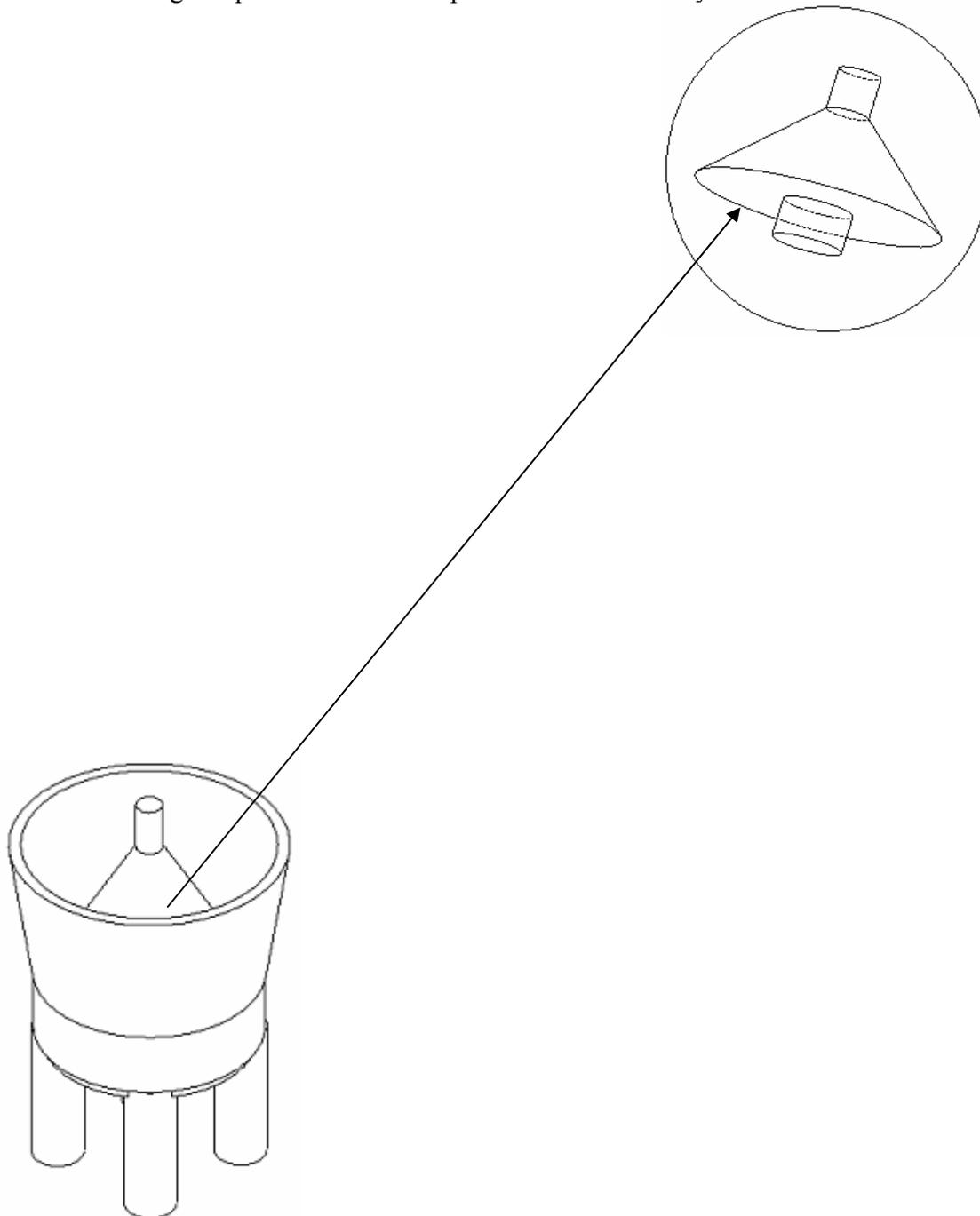


Figura 3.12 Idea N° 12

3.3 PARÁMETROS DE SELECCIÓN

Esta etapa constituye una de las más importantes ya que en ella se fijan los criterios de selección que consideramos más importantes y los cuales nos van a permitir definir cual de todas las ideas propuestas se ajustan mejor a nuestra necesidades. Estos parámetros elegidos fueron:

- Costo del equipo (C1): Es la inversión inicial necesaria para la construcción de del equipo, este incluye transporte, montaje y accesorios.
- Facilidad de construcción (C2): En este parámetro se considera la disposición para realizar la construcción de algunos componentes que integran a los diferentes sistemas, sin que esto represente mayor obstáculo, además, el tiempo de construcción, estará estrechamente relacionado con lo fácil que resulte la misma.
- Facilidad de operación (C3): Con este parámetro se evalúa que tan fácil resulta la operación de la máquina.
- Resistencia al desgaste (C4): Aquí se toma en consideración la resistencia a la abrasión, impacto y compresión que pueda tener el equipo, repercutiendo estos esfuerzos en la vida útil de la máquina.
- Seguridad (C5): Un factor de gran importancia lo representa el parámetro seguridad. Esto se refiere a que el sistema seleccionado debe estar exento de todo daño, peligro o riesgo. Por lo tanto, el sistema debe ser firme y estable, es decir, se debe garantizar la seguridad funcional de cada uno de los componentes entre sí. Esta seguridad también implica que todo lo cercano al sistema no debe estar en riesgo, lo que involucra al personal como a los equipos adyacentes.
- Tamaño y peso (C6): Al momento de la instalación del sistema seleccionado, se debe verificar el espacio que dicho sistema ocupará en la planta y la facilidad de mover el equipo con relativa sencillez.

Para realizar la evaluación de cada solución propuesta se toma en cuenta la escala de puntuación dada por las tablas 3.1 y 3.2. Luego, para obtener la matriz de decisión, se multiplica la puntuación de cada solución por el asignado a la jerarquía y se suman todos los resultados para así obtener el valor total a comparar entre los distintos sistemas.

a) Para los valores de jerarquía:

CRITERIOS	PONDERACIÓN (%)
Costo del equipo (C1)	18
Facilidad de construcción (C2)	15
Facilidad de operación (C3)	10
Resistencia al desgaste (C4)	25
Seguridad (C5)	20
Tamaño y peso	12

Tabla 3.1 Valores de jerarquía

b) Para la puntuación:

GRADO DE ACEPTACIÓN	VALOR ASIGNADO
Deficiente	1
Aceptable	2
Bueno	3
Muy bueno	4
Excelente	5

Tabla 3.2 Valores de puntuación

3.4 MATRIZ DE DECISIÓN

IDEAS CRITERIOS	C1	C2	C3	C4	C5	C6	TOTAL
IDEA N° 1	0,45	0,45	0,35	0,63	0,60	0,30	2,78
IDEA N° 2	0,36	0,30	0,30	0,25	0,40	0,24	1,85
IDEA N° 3	0,09	0,15	0,40	0,75	0,60	0,42	2,41
IDEA N° 4	0,45	0,53	0,30	0,13	0,20	0,30	1,90
IDEA N° 5	0,54	0,45	0,40	0,75	0,40	0,42	2,96
IDEA N° 6	0,27	0,23	0,30	0,50	0,50	0,24	2,04
IDEA N° 7	0,18	0,30	0,25	0,38	0,50	0,30	1,91
IDEA N° 8	0,72	0,60	0,45	0,63	0,70	0,54	3,64
IDEA N° 9	0,63	0,53	0,45	0,25	0,40	0,42	2,68
IDEA N° 10	0,36	0,30	0,30	0,50	0,30	0,12	1,88
IDEA N° 11	0,18	0,23	0,10	0,75	0,50	0,18	1,94
IDEA N° 12	0,36	0,30	0,40	1,13	0,70	0,18	3,07

Tabla 3.3 Matriz de decisión

Los resultados obtenidos en la matriz de decisión se puede observar que la idea número 8 es la más adecuada para realizar el proceso de trituración de envases de vidrio.

CAPÍTULO IV

4.1 DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINA PARA TRITURAR ENVASES DE VIDRIO

Cualquier máquina se compone de un número determinado de elementos (piezas) componentes, unos fijos y otros móviles, agrupados con una determinada forma para ejecutar tareas diferenciadas dentro de una misma máquina (formando mecanismos diversos).

Así, se encuentran máquinas muy simples, constituidas por muy pocas piezas, hasta máquinas más complejas, constituidas por decenas de miles de piezas.

A pesar de esa enorme complejidad, la realidad es que el número de componentes de las máquinas, conceptualmente diferentes, es bastante limitado (aun cuando en cada máquina puedan presentar formas y tamaños diversos).

Una agrupación típica de tales componentes es:

Elementos de unión:

- Tornillos y tuercas
- Remaches

Elementos para la transmisión de rotaciones:

- Árboles
- Engranajes
- Correas y poleas
- Cadenas y ruedas
- Cables y poleas
- Ruedas de fricción

Elementos para la transmisión de movimientos (no rotatorios):

- Manivelas
- Bielas
- Correderas (pistones)
- Levas y seguidores

Elementos de soporte:

- Bastidores
- Cojinetes de fricción
- Cojinetes de rodamientos
- Ejes

Elementos neumáticos e hidráulicos:

- Cilindros
- Válvulas
- Bombas

Elementos de los sistemas de control:

- Sensores

Igual que el número de componentes diferentes de las máquinas está limitado, también lo están los diferentes materiales con los que pueden ser construidos:

- Hierro y sus aleaciones.
- Aluminio, magnesio, cobre, etc., y sus aleaciones.
- Goma, madera, cuero, etc.
- Plásticos y fibras sintéticas, cerámicas, etc.

Es evidente que todos y cada uno de los elementos de la máquina han de ser calculados para resistir, sin fallas, todas las acciones que sobre ellos actúan.

Pues bien, el número de tales acciones está también bastante limitado, siendo las más importantes:

- Fuerzas y pares, permanentes y transitorios.
- Impactos, choques y vibraciones.
- Acciones térmicas.
- Acciones corrosivas.

El conjunto de elementos y mecanismos que constituyen todas las máquinas pueden agruparse en un conjunto de sistemas o subsistemas que de una u otra forma, con mayor o menor virtualidad, están presentes en todas las máquinas. Tales como:

- Sistemas de adquisición, transformación o generación de energía motriz.
- Sistemas de transmisión y conversión de movimientos y fuerzas.
- Sistemas de control.
- Sistemas de lubricación.

En la apreciación de una máquina para triturar, instalada en una fábrica, tienen fundamental importancia: su rendimiento, la seguridad de su funcionamiento, el grado de reducción del material, el consumo de energía y el desgaste de las piezas. Todos estos datos deben obtenerse de la práctica de su explotación, porque en ella desempeñan un papel importante la clase y la forma del material que se fragmenta.

Los índices técnicos y económicos fundamentales de los aparatos trituradores son: el grado de reducción del material y los gastos de explotación por tonelada de producción que varían en función del tipo de máquina instalada.

Los requisitos de diseño de las máquinas para reducción de tamaño cambian notablemente al cambiar el tamaño de las partículas. En prácticamente todas las máquinas, las fuerzas para lograr la fractura se aplican ya sea por compresión o por impacto. En cada caso los productos son similares y la diferencia entre las máquinas está asociada principalmente con los aspectos mecánicos de aplicación de la fuerza a los diversos tamaños de partículas. Cuando la partícula es grande, la cantidad de energía necesaria para fracturar cada partícula es grande también, aun cuando la energía por unidad de masa sea baja. Al disminuir el tamaño de la partícula, disminuye la energía necesariamente para fracturar cada partícula, pero se eleva más rápidamente la energía por unidad de masa. Consecuentemente, las trituradoras tienen que ser voluminosas y estructuralmente fuertes.

La idea de la trituración usando trituradores de impacto como una alternativa económica con respecto a las trituradoras de marcha lenta fracasó, por las condiciones extremas predominantes en la cámara de trituración y los problemas de desgaste que en ella se generaban. No se disponía de materiales de construcción apropiados. Solo al comienzo de los años 60 fue cuando se pusieron en práctica nuevas ideas en la fabricación de trituradoras adecuadas. Hoy en día, pueden emplearse con éxito en la trituración de materiales duros.

Las trituradoras de martillos (aparatos de acción a percusión) se basan en el principio de la transformación de la fuerza viva del golpe en trabajo de trituración, que constituye el resultado de la compresión del cuerpo más allá del límite de elasticidad. La energía cinética que genera cada impacto hace posible romper las partículas contra las paredes del triturador. Estos cuentan con partes de movimiento rápido que, por contacto, transfieren una porción de su energía cinética al material. Esta transferencia de energía da lugar al esfuerzo que provoca la ruptura del material. Se produce una ruptura secundaria cuando el material choca contra una placa o superficie estacionaria. Para lograr el funcionamiento óptimo, debe alimentarse de tal modo que el material penetre y reciba el impacto de los martillos, cuando se encuentre en la trayectoria circular descrito por el centro de gravedad de las cabezas de los mismos. Esto implica el establecimiento de un equilibrio entre la velocidad de caída de las partículas de alimentación, la velocidad periférica de los martillos y la profundidad de las cabezas de éstos. Si la penetración es insuficiente, los bordes exteriores de los martillos se redondean rápidamente y, en consecuencia, sólo imparten golpes de refilón; si la penetración es demasiado grande, el desgaste se concentra en los mangos y, en cualquier caso, la capacidad es inferior al máximo.

La fragmentación puede ser directa mediante los elementos trituradores, estos se mueven a altas velocidades ($15 \frac{m}{s}$ a $150 \frac{m}{s}$) sobre los materiales a tratar los cuales se desplazan a baja velocidad, o indirecta, en cuyo caso los materiales son proyectados a gran velocidad contra los yunques o placas de impacto. Habitualmente en los aparatos de fragmentación por impacto la fragmentación directa e indirecta se dan a la vez. Las trituradoras de impacto

trabajan siempre con velocidades de rotación relativamente elevadas comprendidas entre las 300 rev/min y las 2.000 rev/min.

Al disminuir el número de revoluciones disminuye el calor de fricción eventualmente producido, el cual pudiera influir térmicamente en la muestra. Grandes masas centrífugas en el rotor garantizan la trituración eficiente incluso en muestras heterogéneas, con diferentes características de ruptura. Las finuras finales alcanzables dependen de las cribas de fondo intercambiables utilizadas.

El tamaño constructivo de estas máquinas depende del rendimiento exigido y de la granulación máxima del material de partida. En caso de granulaciones de hasta 100 mm pueden alcanzarse finuras de hasta menos 3 mm ya en un solo ciclo. Las finuras finales pueden influenciarse mediante anchuras de hendidura regulables de las herramientas de molienda o de los emparrillados de criba intercambiables (cribas de fondo). Las herramientas trituradoras, es decir las superficies de esfuerzo, están hechas, en la mayoría de los casos, de distintos materiales, tales como acero al manganeso, aceros especiales templados así como de metal duro.

Los tamaños de los trituradores se expresa normalmente por las dimensiones de la abertura de entrada rectangular. Las dimensiones de los cilindros barridos por los martillos nos dan una información más precisa.

La capacidad varía de modo muy acusado y no siempre en el sentido que cabe esperar, al cambiar el carácter de la alimentación. Los datos disponibles son insuficientes para formular cualquier generalización, como no sea la de que las capacidades son más bajas para los materiales duros y tenaces que para aquéllas otras que tienen características opuestas. La humedad, en cantidad suficiente para que el material triturado resulte adherente, reduce muchísimo la capacidad de las máquinas provistas de parrillas.

El tamaño del material varía con todas las diferentes características de funcionamiento que se han mencionado y, además, con otros factores. En otras palabras, no puede predecirse con un cierto grado de seguridad sin ensayos preliminares, y aun realizando éstos cabe que varíe considerablemente en función de los cambios inevitables que se registran día a día durante el funcionamiento de la instalación.

El accionamiento al rotor se realiza en muchos de ellos mediante un motor eléctrico que transmite el movimiento al rotor mediante una transmisión por correas trapezoidales.

El reglaje de los martillos depende entre otros factores de la velocidad del rotor y más concretamente de la velocidad de la placa de impacto en su centro de percusión medida en metros por segundo.

La energía absorbida por los trituradores de impacto, con una alimentación regular, es relativamente constante y será suficiente con elegir motores cuya potencia nominal no sobrepase más del 15 % al 20 % de la potencia necesaria para la fragmentación.

La potencia consumida por estos equipos se calcula a partir de la ecuación de Bond. Esta ecuación proporciona la energía consumida por tonelada de alimentación. El campo de aplicación de dichos equipos va desde la trituración primaria de grandes bloques hasta la pulverización de distintos productos estando formados, en todos los casos, por rotores que contienen útiles de choque fijos que van girando a gran velocidad alrededor de un eje horizontal, en el interior de una cámara blindada cuya parte inferior está cerrada por una criba. De todos los tipos de trituradoras que se conocen en la industria, las de martillos han sido las menos estudiadas desde el punto de vista teórico, aunque su utilización está muy difundida.

4.2 ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA MÁQUINA TRITURADORA

Conceptualmente las trituradoras por impactos se componen de una sólida carcasa soldada, en la que gira un rotor que proyecta los envases hacia las placas de impactos (forros) que, a su vez, devuelven al rotor los triturados de tamaño superior al requerido.

Básicamente la máquina para triturar consta de tres módulos principales, los cuales se describen a continuación:

4.2.1 Rotor

Este es el principal elemento de trituración y se encarga de proporcionarle energía a las partículas entrantes para lograr su fragmentación. Consiste de un cilindro con un número determinado de ranuras alrededor de su eje. En estas ranuras van anclados o fijados los martillos, ver figura 4.1.

Las dimensiones y la forma de los martillos trituradores se eligen en función de las propiedades físicas del material que se tritura y del tamaño de los trozos, ver figura 4.2. Los martillos son realizados en fundición dándole un porcentaje de cromo-manganeso de 12 % a 14 % para que soporten el alto desgaste estos serán realizados en fundiciones Lemos C.A.

Las barras batidoras o martillos, se instalan deslizándolos por una canal mecanizada en el cilindro. Este cilindro mecanizado o rotor sirve como asiento, y evita la necesidad de tornillos y cuñas que por lo general se colocan para sujetar cada martillo individualmente sobre el rotor en otros modelos de trituradoras consultados, esto hace que el peso sea menor en el rotor y además es de fácil montaje. Debido a las altas vibraciones que se producen en la máquina en los extremos del cilindro se le realiza una pequeña ranura trapezoidal, en la cual se le fija una placa mediante unos tornillos allen, con el propósito de evitar que los martillos toquen las paredes del bastidor, ver figura 4.3.

Las ranuras que fijan las barras batidoras o rotor están ubicadas en cuatro posiciones equidistantes de golpeo en el rotor de 90° y se pueden voltear cada uno de los martillos en 180°, lo que permite cambiar los martillos una vez que ocurra el redondeo de las puntas por desgaste y economizar el reemplazo de los martillos en el rotor. Tanto el cilindro como los martillos son fabricados con materiales resistentes al desgaste y al impacto y por lo general el eje debe ser de un AISI 4041 en el caso del eje y los martillos son realizados de fundición.

El rotor se apoya sobre los rodamientos y es movido por una polea, la cual a su vez es accionada por un motor eléctrico.

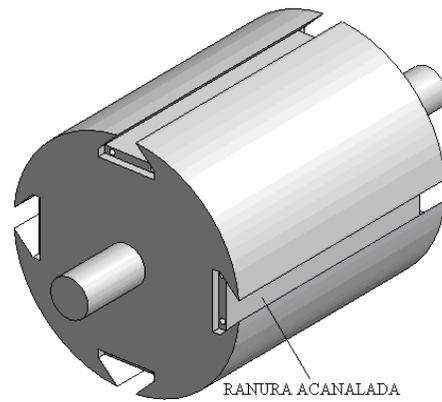


Figura 4.1 Cilindro

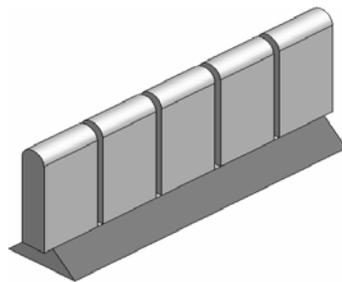


Figura 4.2 Martillos

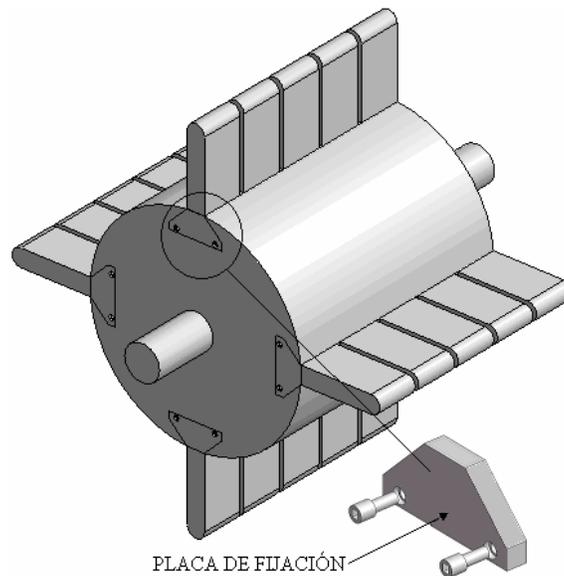


Figura 4.3 Rotor triturador (con detalle)

4.2.2 Criba

El cribado es un proceso mecánico de clasificación dimensional de materiales de forma y dimensiones variadas, mediante la colocación de estos materiales sobre unas superficies con aberturas que dejan pasar las partículas de dimensiones inferiores a las dimensiones de las aberturas, mientras que las partículas de medidas superiores son retenidas.

Este proceso se realiza porque no todos los fragmentos procedentes de la trituración se ajustan a los tamaños requeridos y por lo tanto hay que hacer una separación por dimensiones en función de su uso final.

Las aberturas de las superficies de las cribas son muy variadas y de materiales muy diferentes.

En las trituradoras se suelen utilizar cribas de acero laminado con perforaciones de 1,5 – 2,5 mm de diámetro, y un espesor de chapa de 1 a 3 mm. Las cribas delgadas son más fáciles de fabricar y más cómodas de cambiar. El material pasa más fácilmente por las cribas delgadas. Sin embargo, la vida de las cribas gruesas es notablemente más larga.

Cuando se tiene una criba situada transversalmente en las descargas, el producto no puede salir a menos que sea más pequeño que la abertura de la criba, y esto puede traducirse en que parte de la fractura tenga lugar por abrasión.

En la figura 4.4 se muestra la criba que se va a diseñar para la máquina. Ésta tiene una forma circular y sus extremos son doblados, de forma que pasen por unas ranuras hechas en los extremos de las paredes del bastidor. Este sistema hace que el proceso de reemplazo y fijación sea más cómodo y rápido. También posee unos orificios que permiten fijarla para una mayor seguridad, ver figura 4.5.

Las partículas que son superiores al tamaño requerido son arrastradas por las puntas de los martillos y las devuelven al ciclo de fragmentación, hasta que logren pasar por la criba.

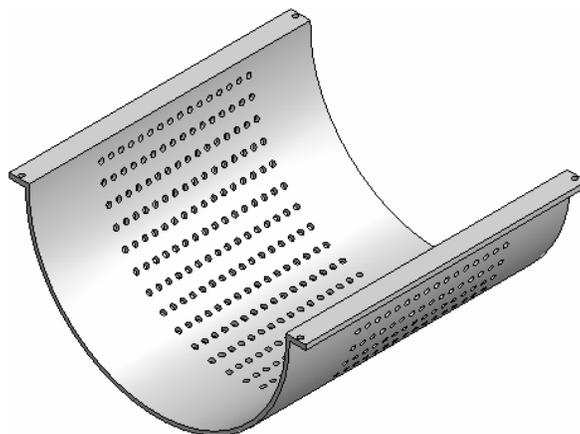


Figura 4.4 Criba semicircular

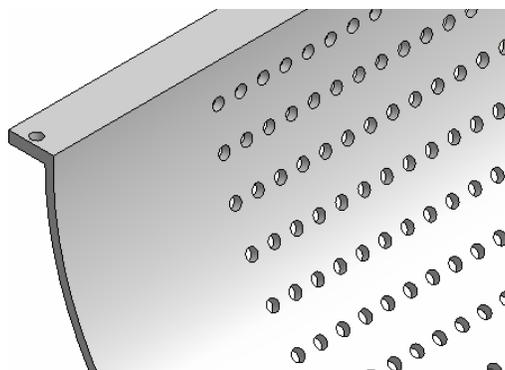


Figura 4.5 Canaletas fijadoras

4.2.3 Bastidor

El bastidor o carcasa es el cuerpo de la máquina que cumple con la función tanto de proteger su interior como de sostener los diferentes componentes y piezas que conforman la misma, tales como, rodamientos, árbol, forros de impacto, rotor triturador y criba. Por lo general se construyen con placas gruesas, para soportar el peso, la cuales van revestidas internamente de material antidesgaste. Son fijadas mediante pernos o enclaves para facilitar el desmontaje de piezas y mantenimiento en su interior. Los bastidores de las trituradoras de martillos se fabrican actualmente de chapa de acero, soldados. Son mucho más livianos que los bastidores desarmables de acero colado, que se utilizaban antes. La cámara de trituración está formada por placas antidesgaste, forros y Cribas.

En la figura 4.7 se muestra un bastidor soldado de chapa de acero AISI 1040, desmontable según un plano horizontal que pasa por el eje del árbol, y con la parte superior articulada de manera que se pueda colocar o extraer el rotor. A los efectos de disminuir el desgaste de las paredes del bastidor y protegerlas con de los golpes de los trozos de vidrios que se trituran se las reviste con unas placas de acero de alta resistencia al desgaste, ver figura 4.8. En las paredes del bastidor se dejan aberturas para la colocación de puertas y de bocas de inspección que permiten el acceso a la rejilla para su limpieza y reemplazo de los barrotes, y al cilindro para reemplazo o cambio de disposición de los martillos.

Las piezas de desgaste están fabricadas en una fundición especial para conseguir la durabilidad y resistencia al impacto. El montaje y desmontaje de estas piezas es de gran sencillez, lo cual tiene una importancia vital a la hora de mantenimiento de la trituradora.

Dentro del bastidor y en su parte superior generalmente hay un saco destinado a pescar los objetos metálicos extraños que accidentalmente se introduzcan en la trituradora (fragmentos de taladros, cabezas de martillos, bulones, tuercas, etc.) que son arrastrados por los martillos hacia arriba y arrojados dentro del saco.

Con el fin de poder intercambiar los blindajes, la forma de los mismos es cuadrada. Su diseño tiene en cuenta, por un lado, el ahorro de tiempos en los períodos de cambio y, por otro, la duración. También permite conseguir la mayor eficacia con el menor coste en tiempo y personal.

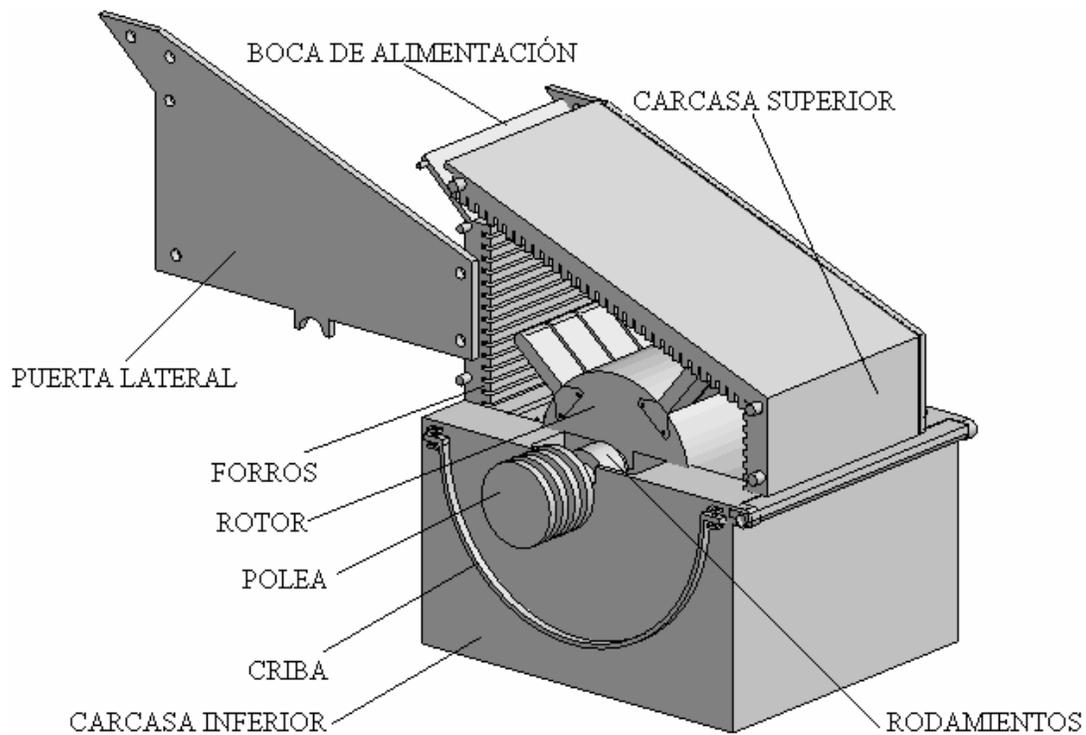


Figura 4.7 placa de reemplazo de forros

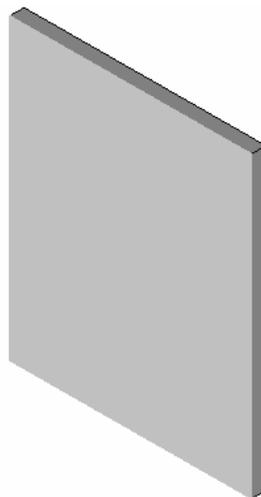


Figura 4.8 Placa Antidesgaste

Los forros o placas de impactos son de acero al cromo y molibdeno de la marca CRONOX, ver figura 4.9, realizan una segunda trituración, y éstos son sujetados mediante unas guías acanaladas que están en los extremos de las paredes del bastidor. Estos soportes, de ejecución soldada, van protegidos por placas de impacto idénticas, concebidas con gran

espesor y que pueden ser intercambiadas. Al decidir la distancia entre las placas de impacto y las barras batidoras, se define en gran medida, la granulometría resultante.

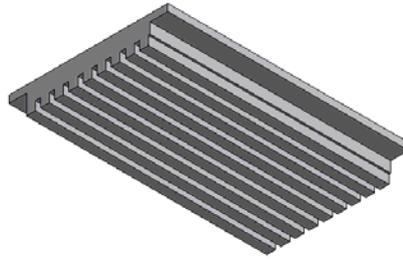


Figura 4.9 Forro

La carcasa tiene en la parte superior una boca de alimentación, la cual permite la entrada de los envases dentro de la máquina, por lo general las dimensiones de ésta ligada a la geometría de la misma.

Una vez ensamblado todo los componentes la maquina tiene la forma que se ve en la figura 4.10.

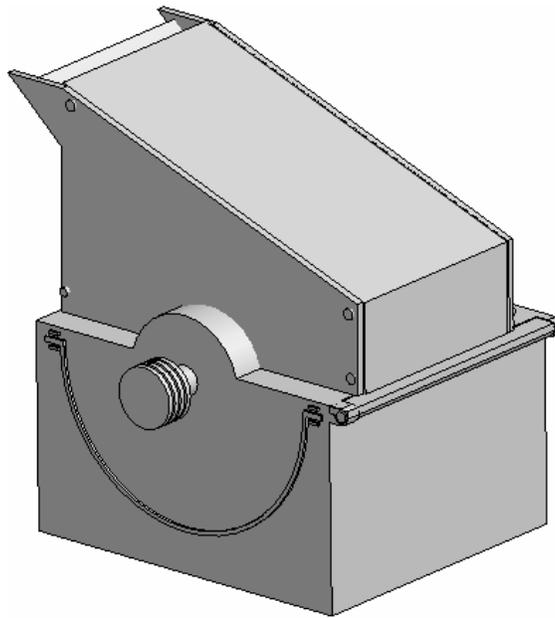


Figura 4.10 Máquina ensamblada

CAPÍTULO V

5.1 CÁLCULOS DE LOS COMPONENTES DE LA MÁQUINA

El diseño de elementos de máquinas implica la toma de decisiones a dos niveles: elección del material y la forma y dimensiones de la pieza en cuestión.

Para una toma correcta de decisiones es preciso tener en cuenta todos los factores que en ellas inciden, una muestra de estos se presenta a continuación:

a) Factores a considerar en la elección del material

No existen normas exactas para resolver el problema de cuál es el material más adecuado para un elemento de máquina concreto. Sólo la experiencia y las sugerencias que pueden encontrarse en los diferentes tratados de diseño de elementos de máquinas pueden servir de base de partida para tomar esta decisión (aun cuando existen algunas técnicas de optimización que ayudan a resolver este problema). En todo caso, es importante que se tenga una idea clara de la naturaleza de los diferentes factores involucrados en la elección de una material para construir una pieza de una máquina. Algunos de ellos son:

- Función
- Esfuerzos
- Duración
- Configuración
- Fabricación
- Costes de adquisición
- Disponibilidad en el mercado
- Limitaciones de peso
- Condiciones de trabajo

b) Factores a considerar en el dimensionamiento de las piezas

Una vez elegido el material, la segunda decisión es darle forma y dimensiones adecuadas a la pieza para que ésta cumpla la función que tiene asignada, sin fallos, durante la vida útil.

Un correcto dimensionamiento exige la consideración de múltiples factores, algunos de los cuales se señalan a continuación:

- Resistencia a los esfuerzos
- Rigidez a la deformación
- Acabado superficial
- Equilibrado
- Unión de las piezas
- Temperatura de trabajo
- Costes de fabricación
- Conformación

- Limitaciones de espacio
- Facilidad de transporte

En general, en el diseño de elementos de máquinas, se elige el material que se considera más adecuado y se calcula las dimensiones desconocidas de la pieza para que ésta no falle, dentro de unos límites de seguridad establecido, aplicando para ello las ecuaciones de diseño y de modelo matemático.

A continuación se presenta de forma detalla todos los cálculos realizados para el dimensionamiento de la máquina trituradora de envases de vidrio.

5.1.1 Materiales empleados en la construcción de la máquina

La elección del material es una fase fundamental, y casi siempre previa, al dimensionamiento de las piezas que componen las máquinas.

Sobre esta elección intervienen múltiples factores pero, en cualquier caso, y salvo raras excepciones, las posibilidades de los diferentes materiales son tan amplias, y el número de factores a considerar tan variados, que la decisión sólo puede basarse en un conocimiento profundo de los materiales existentes, sus propiedades y posibilidades, sus tratamientos, etc.

En la elección de materiales para construir máquinas es esencial conocer el comportamiento de éstos frente a agentes externos (temperatura, oxidación, etc.), además de conocer su composición química, estructura interna, etc.

En forma esquemática y a título de referencia pueden señalarse como características de los materiales las siguientes:

- Su composición química (moléculas componentes).
- Su estructura (cristalina).
- La temperatura a la que tiene lugar procesos tales como la fusión, solidificación y las transformaciones alotrópicas.
- Su constitución en el caso de los metales: martensítica, austenítica, etc.

En la construcción de elementos de máquinas se emplean todo tipo de materiales, tanto metálicos como no metálicos.

Muchos materiales empleados en la construcción de máquinas cambian drásticamente muchas de sus características cuando se les somete a tratamientos térmicos, químicos, mecánicos, etc. El conocimiento de estos tratamientos y cambios es esencial para el correcto diseño de elementos de máquinas.

El acero es quizás el material que más se utiliza en elementos de maquinaria debido a sus propiedades de alta resistencia, extrema rigidez, durabilidad y relativa facilidad de

fabricación. En el mercado se dispone de muchos tipos de acero y su clasificación no es precisa.

El término acero se refiere a una aleación de hierro, carbón, manganeso y uno o más elementos significativos. El carbón surte un efecto considerable en la resistencia, dureza y ductilidad de cualquier acero con aleaciones. Los otros elementos afectan su capacidad de endurecimiento, su dureza, resistencia a la corrosión, maquinabilidad y conservación de la resistencia a altas temperaturas. Los elementos principales de aleación presente en los distintos tipos de aceros con aleaciones son el azufre, fósforo, silicio, níquel, cromo, molibdeno y vanadio.

Los aceros modernos han sido diseñados para contar con unas excelentes propiedades mecánicas, así como unas buenas características de soldabilidad.

La soldabilidad o capacidad de un acero para aceptar la soldadura está determinada por la química del acero, en la que el carbón juega el papel dominante. Así, manteniendo el contenido de carbono lo más bajo posible y añadiendo a la aleación solamente elementos que no detraigan su capacidad para aceptar una buena soldadura, se consigue la perfecta unión del sistema.

En muchas aplicaciones un miembro estructural es utilizado para refuerzo y cubierto con un recubrimiento antidesgaste de protección. En el pasado el recubrimiento antidesgaste habría sido virtualmente imposible de soldar debido a su composición. La moderna familia de aceros enfriados y templados permite típicamente el recambio de un miembro estructural con un miembro antidesgaste que tenga unas propiedades estructurales y que puede ser fácilmente soldado.

Los aceros se pueden cortar con llama (oxicorte), y se suministran con los cantos preparados, de forma que puedan ensamblarse con precisión y soldarse sin reparaciones o huecos excesivos.

Tomando en consideración que las partes de la máquina a diseñar deben reunir una alta resistencia al impacto y al desgaste, se decidió utilizar los siguientes materiales para el diseño de la misma.

- Para el bastidor y rotor, acero AISI 1040 extruído en frío, cuyas propiedades físicas se dan a continuación:

PROPIEDAD	VALOR	
Resistencia a la tracción	80 ksi	552 MPa
Resistencia a punto cedente	71 ksi	490 MPa
Ductibilidad (elongación porcentual en 2 pulg)	12	
Dureza Brinell (HB)	160	

Tabla 5.1 Propiedades del acero AISI 1040 extruído en frío [31]

- Para los martillos, acero AISI 4140, cuyas propiedades físicas son:

PROPIEDAD	VALOR	
Resistencia a la tracción	117 ksi	807 MPa
Resistencia a punto cedente	100 ksi	690 MPa
Ductibilidad (elongación porcentual en 2 pulg)	23	
Dureza Brinell (HB)	235	

Tabla 5.2 Propiedades del acero AISI 4140 OQT 1300 [31]

Los dos aceros tienen las siguientes propiedades comunes son [31]:

- Densidad: $0,283 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^3} = 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- Módulo de elasticidad: $30 \times 10^6 \text{ psi} = 207 \text{ GPa}$
- Razón de Poisson: 0,27
- Módulo de corte: $11,5 \times 10^6 \text{ psi} = 80 \text{ GPa}$
- Coeficiente de expansión térmica: $6,5 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{F}^{-1}$

5.1.2 Cálculo de las dimensiones de la criba

La elección de una malla de cribado es a menudo una elección compleja en la que a veces la experiencia acumulada es un factor determinante, y esta experiencia se acumula sobre todo en los propios diseñadores y fabricantes de mallas y elementos de cribado en general.

Los criterios de elección de una superficie cribante es, lógicamente, una elección determinada por la función de cribado y del servicio a realizar, y estos criterios pueden resumirse en:

- Solidez (indeformabilidad, resistencia al desgaste, resistencia a las roturas por fatiga).
- Regularidad de las aberturas.
- Porcentaje elevado de superficie de paso o luz de malla con relación a la superficie total.
- Baja aptitud al colmatado o cegado (obstrucciones debidas a la humedad).
- Baja aptitud a las obstrucciones por atascamiento o enclavamiento de granos difíciles.

Existen un gran número de métodos para calcular la superficie de cribado pero, en general éstos se pueden agrupar en dos bases de cálculo completamente diferentes para hallar los cálculos de superficie de cribado.

A saber, estos son:

- a) Método de alimentación: Basado en la masa sólida por unidad de tiempo que puede alimentarse a una superficie específica de malla de una determinada luz de paso.
- b) Método pasante: Basado en la masa sólida por unidad de tiempo que pasa por una superficie específica de malla de una determinada luz de paso.

Lógicamente la capacidad específica según el primer método, basado en la alimentación a una malla, da valores mayores que el segundo basado en la masa que pasa a través de la misma.

Los buenos fabricantes han realizado numerosas experiencias para determinar la capacidad específica, fijando las condiciones de la experiencia, en especial en lo referente a la granulometría del producto de alimentación, y concretamente el porcentaje de partículas superiores al tamaño de clasificación rechazo, que forman la fracción gruesa, y el porcentaje de partículas inferiores al valor mitad de dicho tamaño de clasificación, semitamaño.

También se suele fijar en estas experiencias la eficiencia o rendimiento de clasificación alcanzado, es decir, la masa de partículas que realmente atravesó la malla, lo cual es la que se clasificó, frente a la que teóricamente debería haber pasado, es decir aquella donde el contenido de partículas inferiores al tamaño de clasificación en la alimentación. La masa de partículas finas que no atraviesa la malla, lógicamente se va con la fracción gruesa o rechazo, constituyendo los llamados desclasificados, y que obviamente están relacionados con la eficiencia, el porcentaje de pasantes, y el rechazo.

Aunque el rendimiento de cribado es un valor muy complejo de obtener, ya que depende de gran cantidad de factores, existen varias fórmulas que realizan estos cálculos. Los factores que influyen en el rendimiento de paso se pueden resumir en los siguientes:

- Factores propios de la superficie de cribado: dimensión y forma de las aberturas, perfil de la sección de paso, inclinación, superficie libre de paso, etc.
- Factores propios del producto a cribar: granulometría, coeficiente de forma, distribución de tamaños, humedad, plasticidad, etc.
- Factores propios al movimiento de la criba: frecuencia del movimiento, amplitud, coeficiente de aceleración, ángulo de trabajo, etc.
- Factores propios a las condiciones de trabajo de la criba: número de paños, ritmo de alimentación, coeficiente de disponibilidad, eficiencia, etc.

Al momento de realizar las pruebas para determinar la capacidad específica se prepara un producto de alimentación sintético con un porcentaje de rechazo y semitamaño preestablecido que en la mayoría de los métodos reputados oscila entre 25 % y 40 % para el semitamaño, siendo casi unánime el valor de 40 % para este último. La eficiencia se establece entre 9 % y 95 %. Todos los métodos de cálculo reputados incluyen factores de corrección para cubrir las diferencias del producto real de alimentación frente al considerado en la prueba del método en cuestión, y lo mismo puede decirse con respecto a

la eficiencia de cribado. Es importante considerar esto último, pues ello significa que no pueden mezclarse los factores de corrección de un método con los valores de capacidad específica de otro, y por supuesto mucho menos utilizar los valores de capacidad de un método pasante cuando se siga un método de alimentación.

Además de los factores mencionados anteriormente referidos al rechazo, semitamaño y eficiencia, deben considerarse otros factores de corrección en base a la posición del piso de cribado, a la forma de la partícula, densidad específica del producto, forma de la abertura de la malla, posición de la criba, área abierta de paso o área libre, condición de cribado, factor por riego en cribado vía húmeda, y en general cualquier otra condición que pueda afectar el rendimiento del cribado.

Lamentablemente en la mayoría de las ocasiones, al momento de realizar un cálculo se desconocen muchas de las variables y condiciones mencionadas, por lo cual la imaginación y destreza, junto con la bondad del método elegido conducen a resultados diferentes.

La fórmula para el cálculo de la superficie de alimentación en función de la alimentación es la siguiente:

$$S = \frac{T}{(B \times f_t)} \quad \text{Ecuación 5.1 [24]}$$

Donde:

- S: Superficie necesaria de cribado, expresado en m^2 .
- T: Velocidad de alimentación ($\frac{\text{ton}}{\text{h}}$).
- B: Capacidad específica o básica bien de alimentación o pasante ($\frac{\text{ton}}{m^2 \times h}$).
- f_t : Factor total de corrección de la capacidad básica (sin unidades).

Los factores que se toman en cuenta son:

1. **Forma del material:** Los valores de la capacidad básica han sido calculados separadamente para productos naturales o de forma redondeada, y para productos triturados o de forma cúbica, por lo cual primeramente hay que definir el tipo de producto, para tomar el valor correcto de las dos opciones posibles.
2. **Capacidad básica o específica, B:** Expresada en $\frac{\text{ton}}{m^2 \times h}$ de producto de densidad aparente $1,6 \frac{\text{ton}}{m^3}$ que pasa por una malla de luz determinada, de alambre de acero y con un área libre del 50 %, colocada en la primera posición de una criba instalada con una inclinación de 20°. En la siguiente tabla se recoge los valores de capacidad básica:

CAPACIDAD BÁSICA B ($\frac{\text{ton}}{\text{m}^2 \times \text{h}}$)		
Luz de malla (mm)	Triturado	Natural
0,50	2,7	3,5
0,80	3,4	4,4
1,00	3,7	4,9
1,25	4,1	5,5
2,00	5,3	7,1
4,00	8,0	10,5
5,60	10,0	13,0
6,30	10,8	14,0
8,00	12,5	16,0
10,00	14,4	18,6
12,50	16,6	21,5
16,00	19,0	25,1
20,00	22,0	29,0
25,00	26,0	33,4
31,50	30,0	37,9
40,00	34,7	42,5
50,00	39,0	47,4
63,00	44,0	52,0
80,00	49,0	57,0
100,00	56,0	63,0

Tabla 5.3 Capacidad básica o específica [24]

3. **Densidad específica aparente, ρ_a :** Los valores empíricos de la capacidad básica están basados en un producto de densidad específica $1,6 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$, por lo que cualquier otro producto de distinta densidad tendrá una capacidad proporcional a la misma, es decir, el valor de la capacidad básica deberá ser corregido por un factor f_d . Para lo cual se emplea la ecuación 5.2.

$$f_d = \frac{\rho_a}{1,6} \quad \text{Ecuación 5.2 [24]}$$

4. **Partículas superiores al tamaño de clasificación, rechazo R:** La capacidad básica considera un producto de alimentación con un 25 % de rechazo, por lo que debe corregirse la capacidad básica con un factor f_r , dado por la tabla 5.4.

R (%)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Factor f_r	1,10	1,08	1,06	1,04	1,02	1,00	0,98	0,96	0,94	0,92

Tabla 5.4 Factor de rechazo f_r [24]

5. **Partículas inferiores a la mitad del tamaño de clasificación, semitamaño:** La capacidad básica fue calculada en base a un producto conteniendo 40 % de

partículas más finas que la mitad de la luz de la malla, por eso cualquier desviación debe ser corregida aplicando un factor f_s , que se muestra en la tabla 5.5.

Semitamaño (%)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Factor f_s	0,50	0,55	0,60	0,65	0,72	0,77	0,85	0,92	1,00	1,10

Tabla 5.5 Factor de semitamaño f_s [24]

6. **Eficiencia de clasificación, E:** Los valores de capacidad básica fueron calculados en base a una eficiencia o rendimiento de cribado, E, del 94 %, es decir, el 6 % de las partículas finas que deberían haber pasado por la luz de la malla no pasaron, por lo que cualquier divergencia con esta hipótesis debe ser corregida con un factor de eficiencia, f_e , dado por la tabla 5.6.

E (%)	98	96	94	92	90	85	80
Factor f_e	0,60	0,85	1,00	1,05	1,12	1,26	1,41

Tabla 5.6 Factor de eficiencia f_e [24]

7. **Cribado en seco:** Los valores de la capacidad básica han sido obtenidos en base a un cribado en seco, o con una humedad inferior al 3 %, por lo que se establece el siguiente factor de corrección, f_h , que se muestra en la tabla 5.7.

CONDICIÓN	f_h
Humedad > 9 %	No se puede cribar en seco
6 % ≤ Humedad ≤ 9%	0,75
3 % ≤ Humedad ≤ 6%	0,85
Humedad ≤ 3%	1,00

Tabla 5.7 Factor de humedad f_h [24]

8. **Tipo de apertura de malla:** La capacidad básica ha sido calculada con malla de alambre de acero de sección de paso cuadrada, por lo que otro tipo de apertura también tendrá una repercusión en la capacidad de cribado, debiéndose aplicar un factor, f_m , dado por la tabla 5.8.

TIPO DE MALLA	f_m
Apertura cuadrada	1,0
Apertura redonda	0,8

Tabla 5.8 Factor de apertura de malla f_m [24]

Todos estos factores son agrupados en un solo factor, llamado factor total de corrección, el cual se calcula con la ecuación 5.3.

$$f_t = (f_d \times f_r \times f_s \times f_e \times f_h \times f_m) \quad \text{Ecuación 5.3[24]}$$

Los factores de corrección expuestos anteriormente permiten corregir la capacidad básica establecida en unas condiciones específicas. La capacidad básica multiplicada por todos estos factores de corrección, que se recogen en un factor total f_i , nos dará una capacidad corregida B_c . El tonelaje teórico que debe atravesar la malla T_p dividido por la capacidad básica corregida nos dará finalmente la superficie de cribado necesaria, S .

Un aspecto importante pero difícil de aplicar, es prever una superficie de cribado de manera que la capa de granos difíciles no sobrepase en espesor la dimensión de paso.

Independientemente del cálculo de la superficie necesaria, la criba debe tener una anchura mínima para que la capa de material no tenga un espesor elevado que impida la posibilidad de que las diferentes partículas tengan acceso a la malla. La mayoría de las cribas comerciales guardan una proporción longitud/anchura del orden de 2,5; por lo cual se puede emplear las siguientes ecuaciones para calcular las dimensiones lineales (ancho y largo) de la criba:

$$A_c = 1000 \times \left(\frac{S}{2,5} \right)^{0,5} \quad \text{Ecuación 5.4} \quad [24]$$

$$L_c = 2,5 \times A_c \quad \text{Ecuación 5.5} \quad [24]$$

Donde:

A_c : Ancho de la criba.

S : Superficie de la criba.

L_c : Longitud de la criba.

Para realizar el cálculo de la criba que se necesitaría para máquina se partió del método empírico de alimentación, descrito anteriormente, el cual se fundamenta en la masa sólida por unidad de tiempo que puede alimentarse a una superficie específica de malla de una determinada luz de paso.

Primeramente empezamos fijando los valores de entrada, los cuales son necesarios para realizar todos los cálculos.

Datos de entrada:

$$T = 20 \frac{\text{ton}}{\text{h}}$$

$$D_p = 1,25 \text{ cm (diámetro pasante).}$$

$$\rho = 1.7 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \text{ (densidad aparente).}$$

Teniendo éstos valores presentes procedemos a calcular las dimensiones de la criba.

Cálculo de los factores de corrección:

- Factor de corrección de densidad específica aparente

Utilizando la ecuación 5.3:

$$f_d = \frac{1,7 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}}{1,6 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}}$$

$$f_d = 1,0625$$

- Factor de corrección por partículas superiores al tamaño de clasificación, o factor (f_r) de rechazo, se tomó con un porcentaje de rechazo de R:

Asumiendo un rechazo del R=10 %, de la tabla 5.4 nos da que:

$$f_r = 1,06$$

- Factor de corrección por partículas inferiores a la mitad del tamaño de clasificación, semitamaño, f_s :

Para un 40 % y utilizando la tabla 5.5, obtenemos:

$$f_s = 1$$

- Factor de corrección por eficiencia de clasificación, f_e :

Para una eficiencia de 90 %, la tabla 5.6 nos muestra que:

$$f_e = 1,12$$

- Factor de corrección por humedad, f_h :

De la tabla 5.7, para una molienda en seco:

$$f_h = 1$$

- Factor de corrección por apertura de malla, f_m :

Para una apertura redonda la tabla 5.8 nos da que:

$$f_m = 0,8$$

Tomando en consideración todos los factores anteriores y utilizando la ecuación 5.3 para calcular el factor total de corrección, nos queda que:

- Factor total, f_t :

$$f_t = (1,0625 \times 1,06 \times 1 \times 1,12 \times 1 \times 0,8)$$

$$f_t = 1,00912$$

- Capacidad específica B:

De la tabla 5.3 la capacidad específica básica, B, para una malla de 12,5 mm pasante es de:

$$B = 16,6 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2 \times \text{h}}$$

Como el porcentaje pasante de la criba es del 90 %, tenemos que:

$$T_p = T \times 0,90$$

$$T_p = 20 \times 0,90$$

$$T_p = 18 \frac{\text{ton}}{\text{h}}$$

De la ecuación 5.1, tenemos que la superficie de cribado es igual a:

$$S = \frac{18}{(16,6 \times 1,00912)}$$

$$S = 1,074 \text{ m}^2$$

Calculamos el ancho y largo de la criba mediante las ecuaciones 5.5 y 5.6.

- Ancho de criba

$$A_c = 1000 \times \left(\frac{1,074}{2,5} \right)^{0,5}$$

$$A_c = 655,60 \text{ mm} \approx 656 \text{ mm}$$

- Longitud de la criba

$$L_c = 2,5 \times 655,60 \text{ mm}$$

$$L_C = 1639,006 \text{ mm}$$

Como la criba es semicircular, utilizamos la ecuación 5.6 para poder calcular el radio de la criba:

$$R_C = \frac{L_C}{\theta} \quad \text{Ecuación 5.6 [24]}$$

Donde:

R_C = Radio de la criba

θ = Ángulo de la criba

$$R_C = \frac{1639,006}{\pi}$$

$$R_C = 521,71 \text{ mm} \approx 522 \text{ mm}$$

Como los martillos del rotor tienen que hacer un barrido en toda la superficie de la criba, la longitud del rotor tendrá la misma longitud que la de la criba, por lo tanto, se infiere que las dimensiones de la máquina serán determinadas por las dimensiones de la criba.

5.1.3 Cálculo de la potencia de la máquina

A pesar de su naturaleza empírica, el método de Bond es todavía el más usado para el diseño de circuitos de reducción de tamaño. Siendo las razones esencialmente tres: en primer lugar, existe una vasta cantidad de información publicada disponible para equipo industrial, y ésta aumenta continuamente; segundo, el método es bastante satisfactorio para cálculos iniciales aun cuando se esté diseñando un circuito, las especificaciones de alimentación y producto en especial rara vez puede darse con suficiente confiabilidad para justificar métodos más elaborados; y finalmente, el método y sus adaptaciones aportan métodos simples para medir la eficiencia o el rendimiento de la máquina.

Los factores que son tomados en cuenta para el cálculo del consumo de energía y potencia de la máquina son:

- Tipo y composición del material de alimentación.
- Tamaño del material de alimentación.
- Caudal del material.
- Granulometría final.

Con base en trabajo experimental muy extenso, Bond determinó que el trabajo útil en la fractura que se ha aplicado a un paso dado de material fragmentado es inversamente proporcional a la raíz cuadrada del diámetro de las partículas del producto. En términos algebraicos esto se puede representar de la siguiente forma:

$$P = 1,46 \times E_i \times T \times \left(\sqrt{\frac{1}{D_p}} - \sqrt{\frac{1}{d_f}} \right) \quad \text{Ecuación 5.7 [24]}$$

Donde:

- P: Potencia (hp)
- E_i : Índice de molturabilidad del material
- T: Velocidad de alimentación ($\frac{\text{ton}}{\text{min}}$)
- d_f : Tamaño de alimentación (ft)
- D_p : Tamaño de salida (ft)

Para calcular la potencia necesaria para triturar los envases de vidrio se empleó la ecuación 5.7.

Partiendo de los siguientes datos conocidos:

- $E_i = 12,31$ (ver tabla 2.10)
- $T = 20 \frac{\text{ton}}{\text{h}}$
- $d_f = 1 \text{ ft}$
- $D_p = \frac{1}{24} \text{ ft}$
- Para la molienda en seco el valor de E_i hay que multiplicarlo por 1,34

Sustituyendo estos valores en la ecuación 5.7, nos queda que:

$$P = \left(1,46 \times 12,31 \times 1,34 \times 0,333 \times \left(\left(\frac{1}{\sqrt{\frac{1}{24}}} \right) - \left(\frac{1}{\sqrt{1}} \right) \right) \right)$$

$$P = 31,30 \text{ hp} = 23,34 \text{ kW}$$

Normalizando este resultado, obtenemos que la potencia que se necesita es igual a 35 hp.

5.1.4 Cálculo de la velocidad del rotor triturador

No existe una teoría matemática aplicable al conjunto de los distintos tipos de máquinas trituradoras de impacto. Estudios realizados de las trayectorias de las partículas en el interior de los distintos tipos de impactadores han permitido, a partir de dichas trayectorias, crear unas fórmulas matemáticas que varían en función del grado higrométrico al que se encuentra la cámara de trituración y del contenido de polvo.

Desde el punto de vista de la introducción de los productos del triturador, deben de tenerse en cuenta los equipos de alimentación central y los equipos de alimentación periférica.

En el caso de la alimentación central las partículas a fragmentar son arrastradas en un rápido movimiento de rotación por los percutores del rotor. Este movimiento les comunica una aceleración centrífuga que, teniendo en cuenta el frotamiento sobre los percutores, tendrá una velocidad de salida:

$$V_i = 1,27 \times \omega \times R_i \quad \text{Ecuación 5.8 [24]}$$

Siendo:

V_i : Velocidad de impacto

ω : Velocidad angular

R_i : radio de extremidad del percutor o radio de impacto

La energía específica (e) comunicada a la materia será calculada con la ecuación 5.9, y se calculará a un rendimiento mecánico del 81 % (o sea un 19 % de pérdida por frotamiento) la siguiente:

$$e = 0,81 \times \omega^2 \times R_i^2 \quad \text{Ecuación 5.9 [24]}$$

Tan pronto se reduce la acción centrífuga de los percutores los fragmentos del material son frenados por la resistencia del aire. Este frenado es insignificante y despreciable para las partículas de dimensión milimétrica, pero empieza a ser importante a medida que nos acercamos a la micra.

Por lo tanto, para las operaciones de machaqueo o molienda gruesa, deben de adoptarse cámaras de trituración lo más grande posible, ya que los choques de las partículas entre ellas hacen que se pierda mucha energía y, por lo tanto, es más rentable bajas concentraciones de materia. En el caso de partículas por debajo del milímetro es justamente lo contrario, siendo necesario que las distancias entre los revestimientos y el rotor no sobrepase 1 mm. Esto se debe tener en cuenta a la hora de determinar el ancho mínimo que debe darse a la superficie de los percutores.

Como conocemos la potencia de la máquina y la velocidad de alimentación de la misma se calcula el valor de la energía específica (e), mediante la ecuación 5.10.

$$e = \frac{P}{T} \quad \text{Ecuación 5.10 [24]}$$

Donde:

P: Potencia en vatios (w)

T: Velocidad de alimentación ($\frac{Kg}{S}$)

De los datos iniciales:

$$P = 35 \text{ hp} = 28,099 \times 10^3 \text{ W}$$

$$T = 20 \frac{\text{Ton}}{\text{h}} = 5,55 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

$$R_i = 0,5 \text{ m}$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación 5.10.

$$e = \frac{26,099 \times 10^3 \text{ W}}{5,55 \text{ Kg/s}}$$

$$e = 4697,91 \frac{\text{W.s}}{\text{kg}}$$

Para calcular el valor de la velocidad de impacto (V_i), la despejamos de la ecuación 5.9, y nos queda que:

$$V_i = \sqrt{\frac{e}{0,81}} \quad \text{Ecuación 5.11 [24]}$$

Sustituyendo los valores calculados anteriormente en la ecuación 5.11, obtenemos que:

$$V_i = \sqrt{\frac{4697,91 \frac{\text{W.s}}{\text{Kg}}}{0,81}} = 76,15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Calculamos el valor de la velocidad angular despejándolo la ecuación 5.8

$$\omega = \frac{V_i}{(1,27 \times R_i)} \quad \text{Ecuación 5.12 [24]}$$

Sustituyendo por valores numéricos nos da que:

$$\omega = \frac{76,15 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{(1,27 \times 0,5 \text{ m})}$$

$$\omega = 119,93 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 1145,26 \text{ rpm} \approx 1146 \text{ rpm}$$

5.1.5 Cálculo de las bandas

Los mecanismos de correas y poleas son aquellos encargados de transmitir la rotación (con una cierta potencia) entre dos árboles (paralelos o no), por medio de la fuerza de rozamiento generada entre la polea y la correa.

El mecanismo está constituido por dos poleas que pivotan sobre los correspondientes rodamientos del bastidor y que están unidos por medio del miembro flexible o correa.

La figura 5.1 muestra la disposición básica de una banda. Las observaciones importantes que se derivan de una disposición de este tipo se resumen a continuación:

1. La polea posee una ranura circunferencial sobre la que se apoya la banda, por lo que ésta recibe el nombre de polea acanalada.
2. El tamaño de una polea acanalada se indica mediante su diámetro de paso.
3. La relación de velocidad entre la polea acanalada impulsora y la que es impulsada es inversamente proporcional a la relación entre los diámetros de paso de las poleas. Por consiguiente la velocidad lineal de la línea de paso de ambas poleas acanaladas es la misma e igual a la velocidad de la banda, V_b . En consecuencia:

$$V_b = R_1 \times \omega_1 = R_2 \times \omega_2 \quad \text{Ecuación 5.13}$$

Donde

V_b : Velocidad de la banda.

R_1 : Radio de la polea del motor.

R_2 : Radio de la polea acoplada al árbol.

ω_1 : Velocidad angular de la polea acoplada al motor.

ω_2 : Velocidad angular de la polea acoplada al árbol.

No obstante, $R_1 = \frac{D_1}{2}$ y $R_2 = \frac{D_2}{2}$, siendo D_1 el diámetro de la polea acoplada al motor y D_2 el diámetro de la polea acoplada al árbol.

Así,

$$V_b = D_1 \times \frac{\omega_1}{2} = D_2 \times \frac{\omega_2}{2} \quad \text{Ecuación 5.14}$$

La relación de velocidad o de transmisión es

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{D_2}{D_1} \quad \text{Ecuación 5.15}$$

4. Las relaciones entre la longitud de paso, L , distancia central, C , y los diámetros de las poleas son:

$$L = 2 \times C + 1,57 \times (D_2 + D_1) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4 \times C} \quad \text{Ecuación 5.16 [31]}$$

$$C = \frac{B + \sqrt{B^2 - 32 \times (D_2 - D_1)^2}}{16} \quad \text{Ecuación 5.17 [31]}$$

Donde

$$B = 4 \times L - 6,28 \times (D_2 + D_1) \quad \text{Ecuación 5.18 [31]}$$

5. El ángulo de contacto de la banda en cada polea acanalada es:

$$\theta_1 = 180^\circ - 2 \times \text{sen}^{-1} \left(\frac{D_2 - D_1}{2 \times C} \right) \quad \text{Ecuación 5.19 [31]}$$

$$\theta_2 = 180^\circ + 2 \times \text{sen}^{-1} \left(\frac{D_2 - D_1}{2 \times C} \right) \quad \text{Ecuación 5.20 [31]}$$

Donde:

θ_1 : Ángulo de envolvente de polea acanalada pequeña.

θ_2 : Ángulo de envolvente de polea acanalada grande.

6. El rango nominal de distancias centrales debe ser:

$$D_2 < C < 3(D_2 + D_1) \quad \text{Ecuación 5.21 [31]}$$

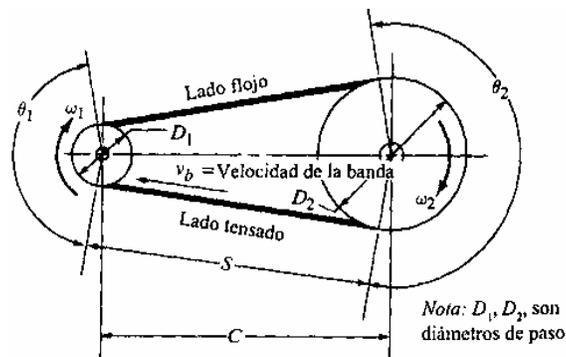


Figura 5.1 Geometría básica de un impulsor de banda. [31]

En general, puede decirse que este mecanismo se emplea siempre que se quiera transmitir el movimiento entre dos árboles, en posiciones relativas cualesquiera, cuando la distancia sea excesiva para el empleo económico de las ruedas dentadas, o cuando aun pudiendo emplear éstas, se desee cierta flexibilidad en la conexión.

Las transmisiones por correas presentan ventajas como:

- Marcha silenciosa.
- Absorben los choques y vibraciones.
- Disposición del mecanismo muy simple.
- No necesitan lubricación.
- Pueden conectar árboles en cualquier posición.
- Son económicas.
- Permiten conseguir variaciones de velocidad simples.

Generalmente, el proceso de diseño incluye los siguientes pasos:

1. Decidir:
 - Potencia a transmitir.
 - Velocidad de la polea pequeña.
 - Velocidad de la polea grande.
 - Distancia aproximada entre centros de poleas, o la máxima y mínima permisible.
 - Condiciones de funcionamiento.
 - Tipo de máquina accionada.
 - Horas de funcionamiento diarias previstas.
2. Corregir la potencia a transmitir en función de las condiciones de trabajo.
3. Selección de la sección de la correa en función de la potencia a transmitir y del número de revoluciones de la polea menor.
4. Elección de los diámetros primitivos de las poleas.
5. Cálculo de la longitud primitiva de la correa.
6. Determinación del arco de contacto.
7. Cálculo de la potencia a transmitir por correa.
8. Determinación del número de correas.
9. Velocidad de la correa.
10. Cálculo del ancho de las poleas.

Las correas son elementos de máquinas que normalmente no se fabrican en talleres que no estén especializados.

Normalmente se adaptan a las necesidades del proyecto los elementos que existen en el mercado, y que son construidos por algunas casas especializadas.

Debido a ello existe una amplia normalización mucho más importante en las correas trapezoidales, timing y de eslabones, que en las simples correas planas.

En las correas planas se construyen diferentes series de espesores y anchos, para poder adaptarse a diferentes requerimientos.

A continuación se calcula las bandas, teniendo presente los siguientes datos iniciales:

$P = 35 \text{ hp.}$

$n_1 = 1800 \text{ rpm.}$

$n_2 = 1146 \text{ rpm.}$

Horas de funcionamiento diarias = 10 horas.

Primeramente se procede a calcular la potencia de diseño. A partir de la figura 5.2, para un motor eléctrico de torque normal que funciona 10 horas al día y que impulsa una máquina trituradora, el factor de servicio es 1,40.

Tipo de máquina que es impulsada	Tipo de impulsor					
	Motores de CA: torque normal* Motores de CD: bobinado en derivación Motores: de cilindro múltiple			Motores de CA: torque alto* Motores de CD: bobinado en serie, bobinado compuesto Motores: de 4 o menos cilindros		
	<6 h por día	6-15 h por día	>15 h por día	<6 h por día	6-15 h por día	>15 h por día
Agitadores, ventiladores, ventiladores con tolva, bombas centrifugas, transportadores, ligeros	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Generadoras, herramientas para máquinas, mezcladores, transportadores, grava	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Elevadores de baldes o recipientes, máquinas textiles, molinos de martillo, transportadores, pesadas	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Trituradoras, molinos de bola, malacates, extrudidoras de hule	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8
Cualquier máquina que pueda ahogarse	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

Figura 5.2 Factores de servicios para bandas tipo V [31].

Así, la potencia de diseño (P_d) es:

$$P_d = P \times F_s \quad \text{Ecuación 5.22 [31]}$$

Donde

P_d : Potencia de diseño

F_s : Factor de servicio

Sustituyendo nos queda:

$$P_d = 1,4 \times 35 \text{ hp} = 49 \text{ hp}$$

Seleccionando la sección de la banda a partir de la figura 5.3, se sugiere utilizar una banda 3V para 49 hp a una velocidad de 1800 rpm.

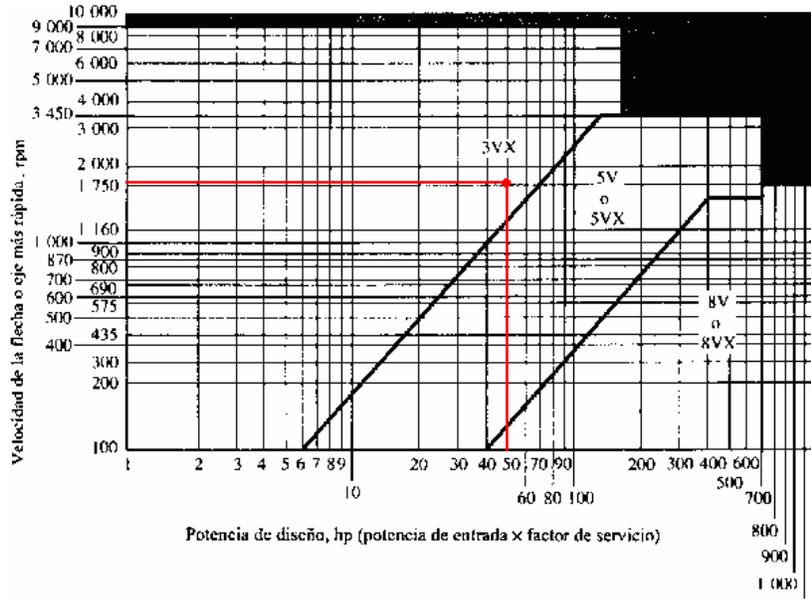


Figura 5.3 Gráfica de selección de bandas en V. [31]

Se calcula la relación nominal de velocidad o relación de transmisión (RT):

$$RT = \frac{1800 \text{ rpm}}{1146 \text{ rpm}} = 1,57$$

Calculando el tamaño de la polea acanalada impulsora que generará una velocidad de banda estándar (V_b) de $4000 \frac{\text{pies}}{\text{minuto}}$, como parámetro para seleccionar una polea acanalada estándar.

$$V_b = \frac{\pi \times D_1 \times n_1}{12}$$

Así el diámetro (D_1) que se requiere para que proporcione V_b es:

$$D_1 = \frac{12 \times V_b}{\pi \times n_1} = \frac{12 \times 4000}{\pi \times 1800} = 8,48''$$

Se selecciona los tamaños para realizar pruebas para la polea acanalada de entrada, calculando el tamaño que se desea y que tenga la polea acanalada de salida. Para esto se

selecciona un tamaño estándar para la polea acanalada de salida y calculando la relación real al igual, que la velocidad de salida. Las pruebas son indicadas en la tabla 5.9.

Tamaño de la polea acanalada impulsora estándar D_1	Tamaño aproximado de la polea acanalada que es impulsada $(1,57 \times D_1)$	Polea acanalada estándar más cercana D_2	Velocidad de salida real (rpm)
6,85	10,75	10,55	1168
7,95	12,48	13,95	1025
10,55	16,56	18,95	1002
13,95	21,90	24,95	1006

Tabla 5.9 Tabla de selección de diámetros para una banda 3 V.

De la tabla 5.9 se obtiene que:

- $D_1 = 6,85''$
- $D_2 = 10,55''$
- $n_1 = 1800 \text{ rpm}$
- $n_2 = 1168 \text{ rpm}$

Se determina el valor de la potencia especificada (P_e) de la figura 5.4. Para una polea de $6,85''$ a 1800 rpm , la potencia especifica es de $8,3 \text{ hp}$.

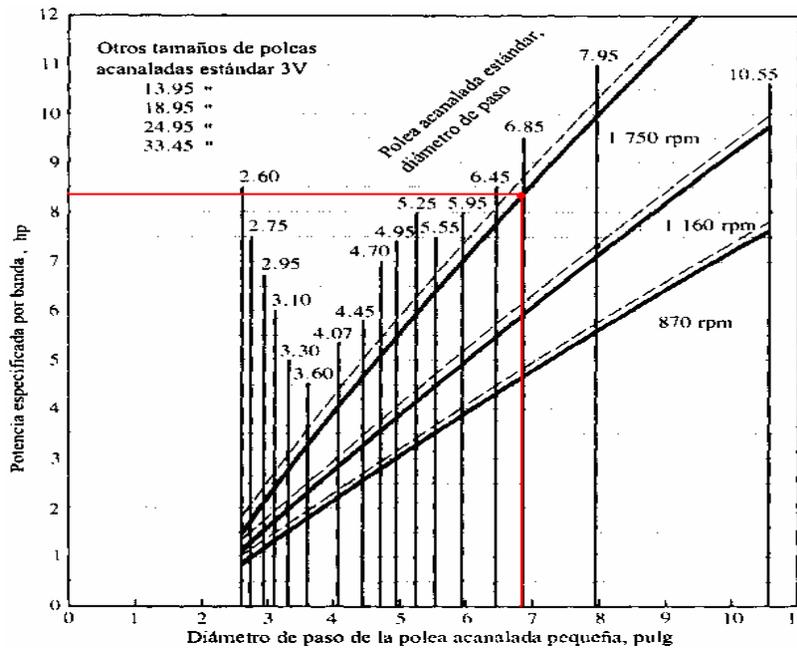


Figura 5.4 Factor de servicio para bandas 3 V. [31]

Se fija una distancia central C de $40''$. Utilizando la ecuación 5.21 tenemos el rango nominal de distancias centrales el cual es de:

$$10,55'' < C < 52,2''$$

A partir de la ecuación 5.16 se calcula la longitud de banda que se necesita:

$$L = 2 \times 40 + 1,57 \times (6,85 + 10,55) + \frac{(10,55 - 6,85)^2}{4 \times 40}$$

$$L = 2 \times 40 + 1,57 \times (17,4) + \frac{(3,7)^2}{4 \times 40} = 107,40''$$

De la figura 5.5 se selecciona una longitud de banda estándar y se calcula la distancia central real resultante a partir de la ecuación 5.17.

3V, 5V y 8V (pulg)				
Sólo 3V	3V y 5V	3V, 5V y 8V	5V y 8V	Sólo 8V
25	50	100	150	375
26.5	53	106	160	400
28	56	112	170	425
30	60	118	180	450
31.5	63	125	190	475
33.5	67	132	200	500
35.5	71	140	212	
37.5	75		224	
40	80		236	
42.5	85		250	
45	90		265	
47.5	95		280	
			300	
165			315	
			335	
			355	

Figura 5.5 Longitudes Estándar de bandas en V [31]

La longitud de banda estándar que más se aproxima es $106''$. Por consiguiente a partir de la ecuación 5.18 se calcula B .

$$B = 4 \times (106) - 6,28 \times (6,85 + 10,55) = 314,728''$$

$$C = \frac{314,728 + \sqrt{(314,728)^2 + 32 \times (6,85 + 10,55)^2}}{16}$$

$$C = 40,28''$$

Se calcula el ángulo de la envolvente de la polea en la polea acanalada más pequeña a partir de la ecuación 5.19.

$$\theta_1 = 180 - 2 \times \text{sen}^{-1} \left(\frac{10,55 - 6,85}{2 \times 40,28} \right)$$

$$\theta_1 = 174,73^\circ$$

De la figura 5.6 y para $\theta_1 = 174,73^\circ$, $C_0 = 0,98$

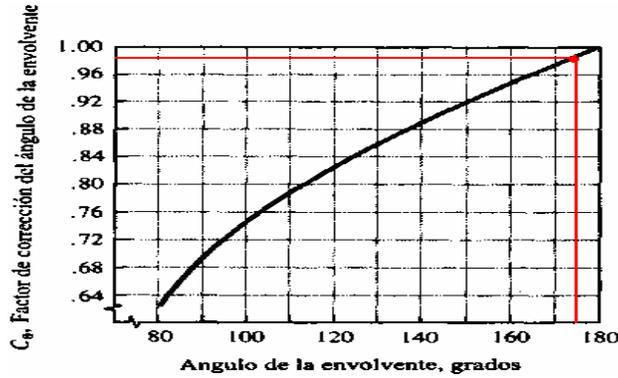


Figura 5.6 Tabla de corrección del ángulo de la envolvente [31]

De la figura 5.7 y para $L = 106$ “, $C_L = 0,9$

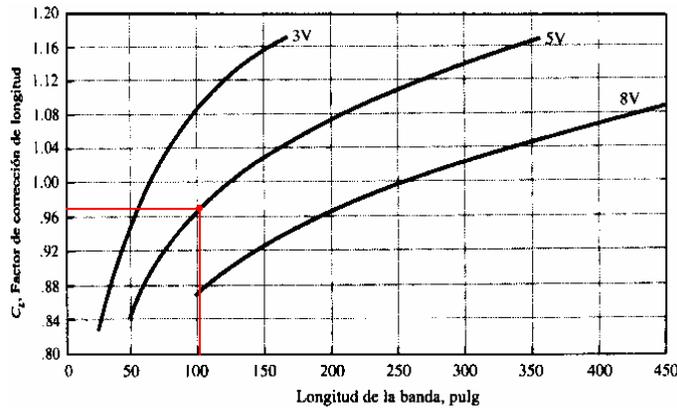


Figura 5.7 Tabla de corrección de longitud de banda. [31]

Se calcula la potencia especificada corregida por banda mediante la ecuación 5.23 y el número de bandas que se necesitan para transmitir la potencia de diseño por la ecuación 5.24.

$$P_c = P_e \times C_L \times C_0 \quad \text{Ecuación 5.23}$$

$$N^\circ \text{bandas} = \frac{P}{P_c} \quad \text{Ecuación 5.24}$$

Donde:

$N^\circ \text{bandas}$: Número de bandas.

P_c : Potencia especificada corregida

P_e : Potencia especificada

C_L : Factor de corrección para la longitud de banda

C_{θ} : Factor de corrección del ángulo de la envolvente

$$P_C = 8,3 \times 0,98 \times 0,9$$

$$P_C = 7,32 \text{ hp}$$

$$N^{\circ} \text{bandas} = \frac{49 \text{ hp}}{7,32 \text{ hp}} = 6,69 \approx 7 \text{ bandas (No es aconsejable).}$$

Siguiendo el mismo procedimiento realizado anteriormente, se prueba con una banda 5V.

Tamaño de la polea acanalada impulsora estándar D_1	Tamaño aproximado de la polea acanalada que es impulsada $(1,57 \times D_1)$	Polea acanalada estándar más cercana D_2	Velocidad de salida real (rpm)
7,9	12,403	12,4	1146,7
8,4	13,188	13,1	1154,2
8,9	13,973	13,9	1152,5
9,15	14,365	14,9	1105,3

Tabla 5.10 Tabla de selección de diámetros para una banda 5 V.

De la tabla 5.10 obtenemos lo siguientes valores:

$$D_1 = 7,9''$$

$$D_2 = 12,4''$$

$$n_1 = 1800 \text{ rpm}$$

$$n_2 = 1147 \text{ rpm}$$

Se determina el valor de la potencia especificada de la figura 5.8. Para una polea de 7,9'' a 1800 rpm, la potencia básica que se especifica es de 22 hp.

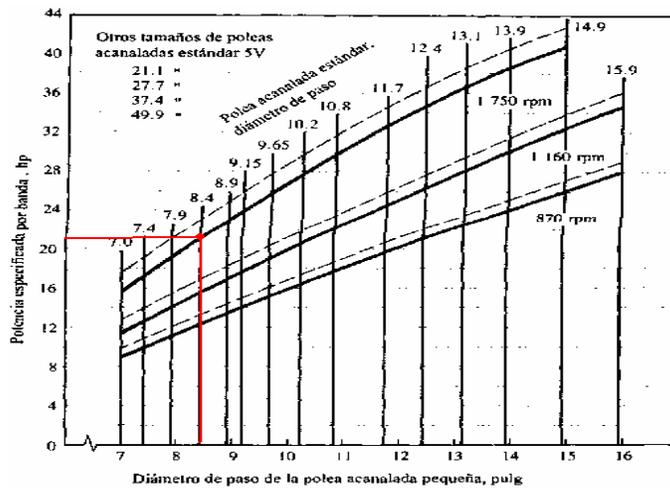


Figura 5.8 Tabla de potencia específica para bandas 5 V.[31]

Utilizando la ecuación 5.21 se obtiene el rango nominal de distancias (C):

$$12,4'' < C < 60,9''$$

Fijando C dentro del rango obtenido, tenemos que $C = 40''$.

Calculando la longitud de banda por la ecuación 5.16.

$$L = 2 \times 40 + 1,57 \times (7,9 + 12,4) + \frac{(12,4 - 7,9)^2}{4 \times 40}$$

$$L = 112,12''$$

De la figura 5.9 se selecciona una longitud de banda estándar y se calcula la distancia central real resultante.

3V, 5V y 8V (pulg)				
Sólo 3V	3V y 5V	3V, 5V y 8V	5V y 8V	Sólo 8V
25	50	100	150	375
26.5	53	106	160	400
28	56	112	170	425
30	60	118	180	450
31.5	63	125	190	475
33.5	67	132	200	500
35.5	71	140	212	
37.5	75		224	
40	80		236	
42.5	85		250	
45	90		265	
47.5	95		280	
			300	
165			315	
			335	
			355	

Figura 5.9 Longitudes Estándar de bandas en V [31]

La longitud de banda estándar que más se aproxima es $112''$. Por consiguiente,

$$B = 4 \times 112 - 6,28 \times (7,9 + 12,4) = 320,516''$$

$$C = \frac{320,516 + \sqrt{(320,516)^2 + 32 \times (7,9 + 12,4)^2}}{16}$$

$$C = 41,31''$$

Se calcula el ángulo de la envolvente de la polea en la polea acanalada más pequeña a partir de la ecuación 5.19.

$$\theta_1 = 180 - 2 \times \text{sen}^{-1} \left(\frac{12,4 - 7,9}{2 \times 41,31} \right)$$

$$\theta_1 = 173,75^\circ$$

De la figura 5.10 y para $\theta_1 = 173,75^\circ$, el valor de $C_\theta = 0,97$

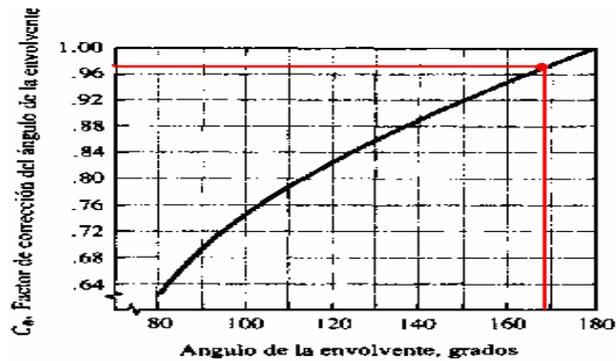


Figura 5.10 Factor de corrección del ángulo de envolvente.[31]

De la figura 5.10 y para $L = 112$ “, $C_L = 0,97$

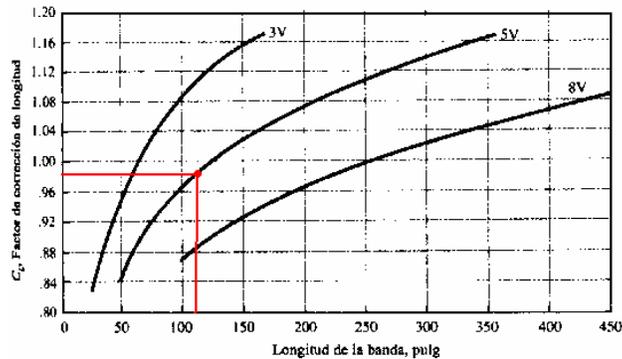


Figura 5.11 Factor de corrección de longitud.[31]

$$P_C = 22 \times 0,97 \times 0,97 = 20,7 \text{ hp}$$

$$N^\circ \text{bandas} = \frac{49 \text{ hp}}{20,7 \text{ hp}} = 2,36 \approx 3 \text{ bandas}$$

Resumen de diseño de bandas

- Entrada: motor eléctrico: 35 hp a 1800 rpm
- Factor de servicio: 1,4
- Potencia de diseño (P_d): 20,7 hp

- Banda: sección transversal 5V, longitud de 112", 3 bandas
- Poleas acanaladas: impulsora: 7,9" de diámetro de paso, 3 ranuras, 5V; impulsada: 12,4" de diámetro de paso, 3 ranuras, 5 V.
- Actual velocidad de salida real: 1147 rpm
- Distancia central: 40"

5.1.6 Cálculo del momento torsor

La torsión se refiere al torcimiento de un elemento estructural cuando se carga con momentos que producen rotaciones de las secciones transversales alrededor de su eje longitudinal. Los pares externos que producen el torcimiento se llaman torques, y los pares internos se llaman momentos torsores.

En vista de que supondremos siempre que el sistema está en régimen constante, se puede recurrir a la fórmula establecida en física elemental que asocia a la potencia P con la rotación ω de un cuerpo rígido sometido al par o momento torsor (M_T):

$$M_T = \frac{P}{\omega} \quad \text{Ecuación 5.25 [22]}$$

Como el momento torsor es igual al brazo por la fuerza, podemos calcular la fuerza de impacto producida, y verificar si es suficiente para fracturar los envases de vidrio, mediante la ecuación:

$$M_T = N \times F_i \times R_i \quad \text{Ecuación 5.26 [22]}$$

Despejando F_i

$$F_i = \frac{M_T}{(N \times R_i)} \quad \text{Ecuación 5.27 [22]}$$

Donde:

F_i = Fuerza de impacto

R_i = Radio de impacto

N_m = Número de martillos por hilera

Datos de entrada:

$$P = 35 \text{ hp} = 28,099 \times 10^3 \text{ W}$$

$$R_i = 0,5 \text{ m}$$

$$N = 5$$

$$F_{i,\text{real}} = 30 \text{ N}$$

$$\omega = 120,11 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación 5.25

$$M_T = \frac{26,075 \times 10^3 \text{ W}}{120,11 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}$$

$$M_T = 217,08 \text{ N.m}$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación 5.27, nos da que:

$$F_i = \frac{217,08 \text{ N} \times \text{m}}{(5 \times 0,5 \text{ m})}$$

$$F_i = 86.83 \text{ N}$$

Como $F_i > F_{i,\text{real}}$, esto nos asegura que es una fuerza suficiente para romper los envases.

5.1.7 Cálculo del árbol del rotor

Un árbol es un elemento de máquina que gira solidario con los elementos de máquinas que se montan en él pero, a diferencia de los ejes transmiten potencia.

Los árboles rectos presentan simetría respecto a su eje geométrico de giro y constituyen el tipo de árbol más ampliamente utilizado.

Los árboles rectos pueden ser macizos, huecos, de sección transversal constante a lo largo de su longitud o de sección transversal escalonada o variable a lo largo de su longitud.

Los árboles rectos que tienen un mismo diámetro para toda su longitud son los más simples, desde el punto de vista tecnológico. Esta configuración, aunque es la más barata de fabricar que las de los escalonados, presentan inconvenientes a la hora del montaje y reparación, dificultando los procesos de ajuste o despiece del conjunto, así como la fijación axial de los elementos que se asientan en el árbol y de éstos respecto a los apoyos.

Al diseñar un árbol y en concreto la situación de los apoyos, debe aplicarse el principio de que las cargas axiales (cargas que actúan según la dirección del eje geométrico del árbol) sean absorbidas por un solo apoyo. El cojinete que soporta la carga axial debe situarse de manera que esté fijo axialmente y el otro disponerse libre. En cualquier caso, la disposición de los apoyos debe ser tal que se permita un juego axial libre del árbol suficiente para que bajo ninguna condición de expansión diferencial térmica (debido a la elevación de la temperatura durante su operación) el árbol se encuentre impedido para dilatarse (en caso contrario puede verse sometido a una severa carga resultante en los cojinetes).

Debido a la aparición simultánea de tensiones por esfuerzo de corte por torsión y tensiones normales que se deben a la flexión, el análisis de un árbol implica siempre el uso de un enfoque combinado para el aspecto de las tensiones. El método que se emplea para el

diseño de árboles es la teoría de la falla por distorsión de la energía. En ciertas ocasiones, se presentan también tensiones por esfuerzo de corte vertical y tensiones normales directas que se deben a cargas axiales, sin embargo, su efecto es, por lo regular, mínimo a tal grado que es válido omitirlas. En árboles extremadamente cortos o en partes de ellos en los que no se generan torsión o flexión, es probable que predominen tales tensiones.

Los pasos específicos que deben realizarse en el diseño y análisis de un árbol dependen del diseño que se haya propuesto, así como la forma en que se cargue y se soporte.

Teniendo esto presente, el procedimiento a seguir para el diseño de un árbol es:

1. Determinar la velocidad de giro.
2. Calcular la potencia o el torque que se va a transmitir.
3. Escoger el diseño de los componentes transmisores de potencia u otros dispositivos que se van a montar y especificar la ubicación necesaria para cada dispositivo.
4. Precisar la posición de los rodamientos.
5. Proponer la forma general de la geometría, considerando de que manera se mantendrá en posición axialmente y como se llevará a cabo.
6. Calcular la magnitud del torque en todos los puntos.
7. Calcular las fuerzas que ejercen acción sobre el árbol, tanto radial como axialmente.
8. Determinar las fuerzas radiales en componentes.
9. Calcular las reacciones en todos los cojinetes de soporte en cada plano.
10. Elaborar las gráficas completas de fuerza de corte y de momento flexión para determinar la distribución de los momentos de flexión.
11. Elegir el material con que se va a fabricar y especificar su condición (extraído en frío, con tratamiento térmico, etc.).
12. Calcular una tensión de diseño adecuada, considerando la manera en que se aplica la carga, suave, de choque, sucesiva e inversa o de otro tipo.
13. Analizar cada punto crítico para determinar el diámetro mínimo aceptable.
14. Especificar las dimensiones finales para cada punto a lo largo del árbol.

Para esta parte y de los cálculos anteriores tenemos los siguientes datos de entrada:

- Material a utilizar: Acero AISI 1040 extruido en frío

- Peso del rotor triturador (P_r): 16.147,11 N
- Peso de la polea (P_p): 147,15 N
- Diámetro primitivo de la polea (D_p): 12,4" = 0,31 m
- Relación de tensiones en la polea: 5
- Momento Torsor (M_T): 217,08 N.m

Primero calculamos las reacciones que la polea ejerce sobre el árbol. Para eso utilizamos las ecuaciones siguientes:

$$F_N = F_1 - F_2 = \frac{M_T}{\left(\frac{D_p}{2}\right)} \quad \text{Ecuación 5.28 [24]}$$

$$F_A = 1,5 \times F_N \quad \text{Ecuación 5.29 [24]}$$

Donde

F_N : Fuerza neta de impulso

F_1 : Fuerza en el lado tenso de la banda

F_2 : Fuerza en el lado flojo de la banda

F_A : Fuerza de flexión ejercida sobre el punto A

Sustituyendo los datos en las ecuaciones anteriores

$$F_N = \frac{217,08}{\left(\frac{0,31}{2}\right)}$$

$$F_N = 1378,46 \text{ N}$$

$$F_A = 1,5 \times 1378,46 = 2067,69 \text{ N}$$

Como la fuerza de flexión actúa en sentido descendente y hacia la izquierda a un ángulo de 45° respecto a la horizontal. Como se muestra en la figura 5.11, las componentes de la fuerza de flexión son:

$$F_{AZ} = F_A \times \text{sen}(45^\circ)$$

$$F_{AY} = F_A \times \text{cos}(45^\circ)$$

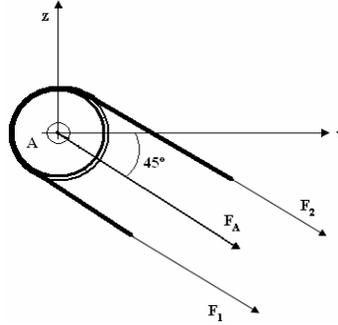


Figura 5.12 diagrama de Fuerzas en la polea.

Sustituyendo nos da:

$$F_{AZ} = 2067,69 \times \text{sen}(45^\circ) = 1462,07N$$

$$F_{AY} = 2067,69 \times \text{sen}(45^\circ) = 1462,07N$$

Como el diámetro del árbol varía de un punto a otro (ver figura 5.12), se tiene que comprobar el esfuerzo en cada sección. Para lo cual se hace un diagrama de cuerpo libre reemplazando los diversos elementos de máquinas montados sobre el árbol por su carga estáticamente equivalente o componentes de torsión.

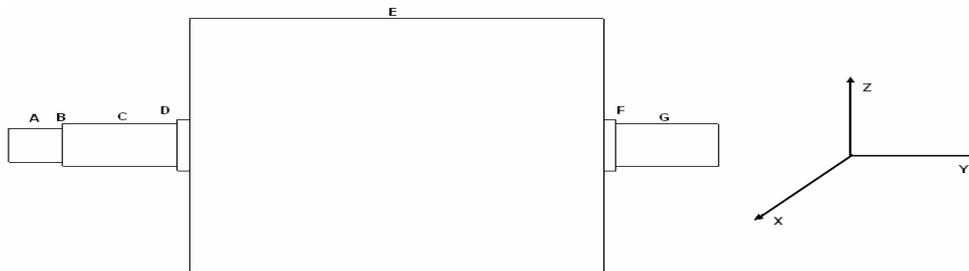


Figura 5.13 Puntos de estudio para el diseño del árbol

Entonces tenemos para el primer plano YZ (vertical) los valores de la fuerzas que actúan sobre el eje y con esto procedemos a calcular los valores de la reacciones de apoyo, mediante los diagramas de equilibrio estático.

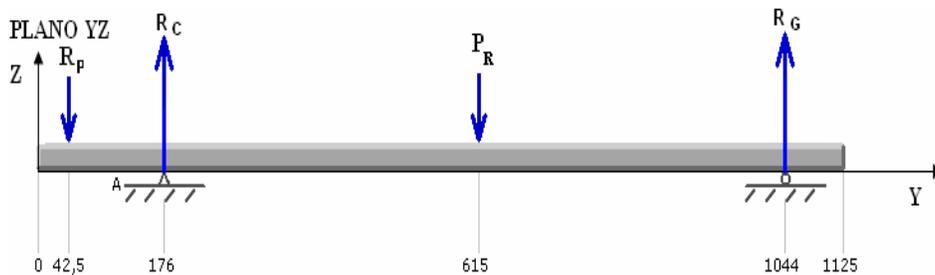


Figura 5.14 Diagrama de cuerpo libre para el plano ZY

De la sumatoria de fuerzas para la figura 5.14:

$$\Sigma F_z = 0$$

$$R_C - R_P - P_R + R_G = 0$$

$$R_C - 1.609,22 - 16.147,11 + R_G = 0$$

$$R_C + R_G = 17756,33 \text{ N}$$

De la ecuación de momentos:

Tomando momentos con respecto al punto de apoyo G y considerando el equilibrio de las fuerzas en la dirección vertical, obtenemos

$$\Sigma M_G = 0$$

$$1,0015 \times R_P - 0,868 \times R_C + 0,429 \times P_R = 0$$

$$1,0015 \times 1609,22 - 0,868 \times R_C + 0,429 \times 16.147,11 = 0$$

Los que nos da que:

$$R_{C(YZ)} = 9.837,26 \text{ N}$$

$$R_{G(YZ)} = 7.919,07 \text{ N}$$

Teniendo presente lo anterior y utilizando el software Mdsolids 3.0 se trazan los diagramas de momentos flectores y fuerzas cortantes.

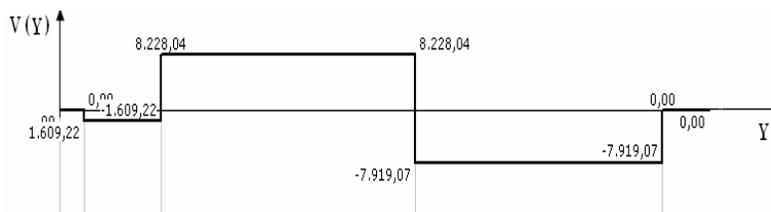


Figura 5.15 Diagrama de esfuerzo cortante V(Y) en el Plano YZ.

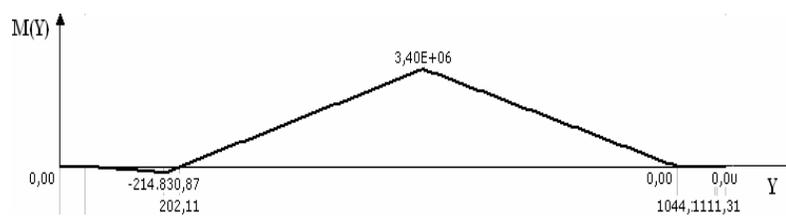


Figura 5.16 Diagrama de momento flector M(Y) en el plano YZ.

De los diagramas anteriores se puede observar que:

$$M_{B(ZY)} = 68,39 \text{ N.m}$$

$$M_{C(ZY)} = 214,83 \text{ N.m}$$

$$M_{D(ZY)} = 533,92 \text{ N.m}$$

$$M_{E(ZY)} = 3.397,28 \text{ N.m}$$

$$M_{F(ZY)} = 641,44 \text{ N.m}$$

Para el plano XY tenemos

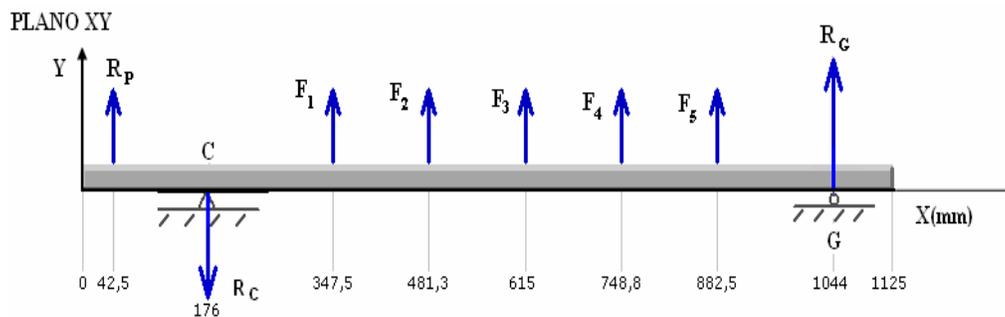


Figura 5.17 Diagrama de cuerpo libre para el plano XY

$$F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = F_5 = F_i = 86,83 \text{ N}$$

De la sumatoria de fuerzas en el eje Y de la figura 5.17:

$$R_{P(XY)} - R_{C(XY)} + 5 \times F_i + R_{G(XY)} = 0$$

$$1462,07 \text{ N} - R_{C(XY)} + 434,15 \text{ N} + R_{G(XY)} = 0$$

$$R_{C(XY)} + R_{G(XY)} = 1896,22 \text{ N}$$

Tomando momentos con respecto al punto de apoyo G y considerando el equilibrio de las fuerzas en la dirección vertical, obtenemos

$$\Sigma M_G = 0$$

$$-1,0015 \times R_{P(XY)} + 0,868 \times R_{C(XY)} - F_i \times (0,6965 - 0,56275 - 0,429 - 0,29525 - 0,1615) = 0$$

$$-1,0015 \times 1462,07 + 0,868 \times R_{C(XY)} - 2,145 \times 86,83$$

Los que nos da que:

$$R_{C(XY)} = 1.901,51 \text{ N}$$

$$R_{G(XY)} = 5,29 \text{ N}$$

Trazando los diagramas de momentos flector y fuerza cortante.

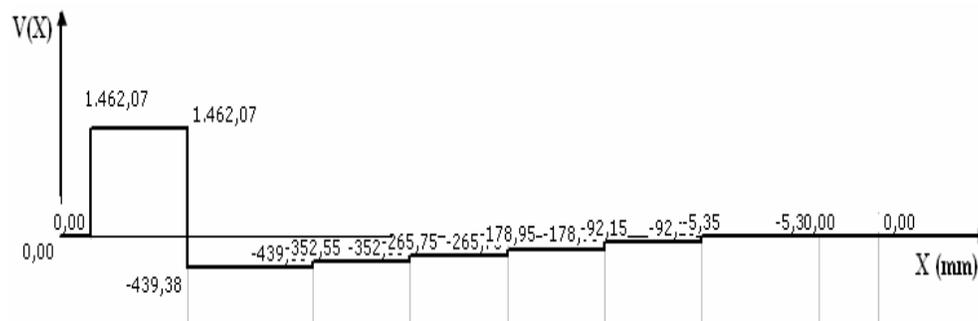


Figura 5.18 Diagrama de esfuerzo cortante Plano XY.

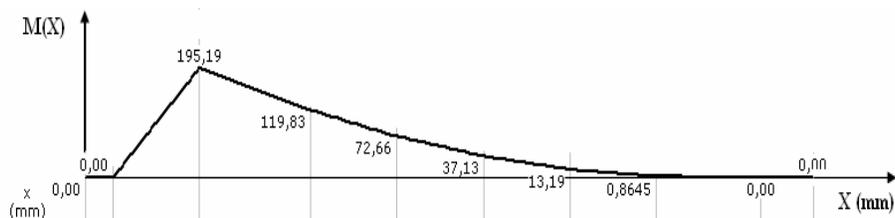


Figura 5.19 Diagrama de momento flector plano XY.

De los diagramas se determina que

$$M_{B(XY)} = 62,14 \text{ N.m}$$

$$M_{C(XY)} = 195,19 \text{ N.m}$$

$$M_{D(XY)} = 155,20 \text{ N.m}$$

$$M_{E(XY)} = 37,13 \text{ N.m}$$

$$M_{F(XY)} = 0,43 \text{ N.m}$$

Calculamos el momento total en cada uno de los puntos mediante la ecuación:

Punto B:

$$M_B = \sqrt{M_{B(XY)}^2 + M_{B(ZY)}^2}$$

$$M_B = \sqrt{(68,39)^2 + (62,14)^2}$$

$$M_B = 92,40 \text{ N.m}$$

Punto C:

$$M_C = \sqrt{M_{C(XY)}^2 + M_{C(ZY)}^2}$$

$$M_C = \sqrt{(214,83)^2 + (195,19)^2}$$

$$M_C = 290,26 \text{ N.m}$$

Punto D:

$$M_D = \sqrt{M_{D(XY)}^2 + M_{D(ZY)}^2}$$

$$M_D = \sqrt{(533,92)^2 + (155,20)^2}$$

$$M_D = 556,01 \text{ N.m}$$

Punto E:

$$M_E = \sqrt{M_{E(XY)}^2 + M_{E(ZY)}^2}$$

$$M_E = \sqrt{(3.397,28)^2 + (37,13)^2}$$

$$M_E = 3397,48 \text{ N.m}$$

Punto F:

$$M_F = \sqrt{M_{F(XY)}^2 + M_{F(ZY)}^2}$$

$$M_F = \sqrt{(641,44)^2 + (0,43)^2}$$

$$M_F = 641,45 \text{ N.m}$$

Con estos valores se establece la localización de la sección transversal crítica o la sección donde el par de torsión y momentos son mayores.

El método que se sugiere y el que es empleado para el diseño del árbol es el de la teoría de falla por distorsión de la energía.

De la tabla 5.1 y a partir de la tabla de la figura 5.20, calculamos el valor de resistencia por durabilidad (S_n), el cual nos da:

$$S_n = 207 \text{ MPa}$$

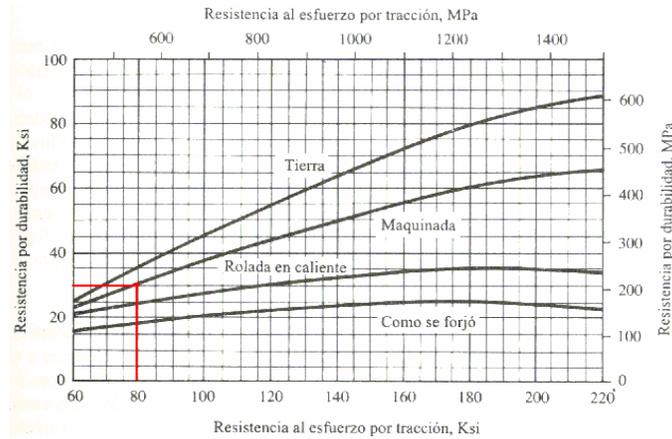


Figura 5.20 tabla de resistencia por durabilidad [31]

Diseñando para un factor de confiabilidad de 0,99, se obtienen un valor de C_R de 0,81, ver figura 5.21. El tamaño del árbol será moderadamente largo, por lo tanto es posible suponer un valor de C_s = 0,78, ver figura 5.22, como un estimado razonable.

$$C_R = 0,81$$

$$C_s = 0,78$$

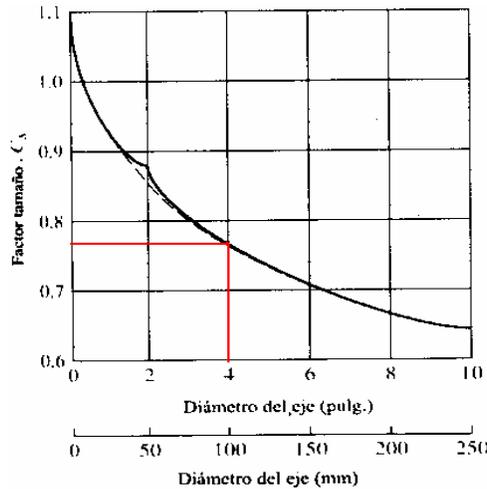


Figura 5.21 Tabla de factor de tamaño [31]

Confiabilidad que se desea	Factor de confiabilidad, C_R
0,5	1
0,9	0,9
0,99	0,81
0,999	0,75

Tabla 5.11 Factores de ajustes de confiabilidad

Con la siguiente ecuación determinamos la resistencia modificada a la durabilidad, obtenemos:

$$S_n' = S_n \times C_s \times C_r \quad \text{Ecuación 5.30 [24]}$$

$$S_n' = 207 \times 0,78 \times 0,81$$

$$S_n' = 130,78 \text{ MPa}$$

Utilizamos la siguiente ecuación para hallar el diámetro mínimo aceptable del árbol en cada punto que nos interesa.

$$D = \sqrt[3]{\frac{32 N}{\pi} \times \sqrt{\frac{(K_t \times M)^2}{S_n'} + \frac{3}{4} \times \left(\frac{T}{S_Y}\right)^2}} \quad \text{Ecuación 5.31 [31]}$$

Bajo condiciones de choque o impacto se sugiere utilizar un factor de diseño $N = 6$.

Punto A. El torque es igual a 217,08 N.m; el momento flector es igual a cero. La polea acanalada se fija con un pasador cónico. Debido a que el torque es constante, no utilizaremos un factor de concentración de tensión en este cálculo.

A la izquierda del punto B. Esto es el diámetro de alivio que lleva el asiento del rodamiento. Para el lugar donde D_2 se une a D_3 se utilizara un radio de chaflán redondeado.

Por tanto,

$$\text{Torque} = 217,08 \text{ N.m} \quad \cdot \quad \text{Momento flector} = 92,4 \quad \cdot \quad K_t = 1,5$$

En el punto B y a la derecha. Este es el asiento del rodamiento con un chaflán de hombro a la derecha, lo cual requiere un chaflán muy cortante

$$\text{Torque} = 217,08 \text{ N.m} \quad \cdot \quad \text{Momento flector} = 92,40 \quad \cdot \quad K_t = 2,5$$

Así $D_3 =$

En el punto C. Se planea que el diámetro sea el mismo en toda su extensión desde la derecha del rodamiento B hasta la izquierda del rodamiento D. La peor condición se encuentra a la derecha de C, donde hay una ranura para anillo de retención y el valor del torque más alto.

En el punto D y hacia la izquierda. Este es un asiento de rodamiento similar al que se encuentra en B:

A la derecha del punto D. este es un diámetro de alivio similar al que se encuentra en D_2

Resumen con los valores convenientes especificados

$$D_B = 4,97 \text{ cm} \approx 5 \text{ cm}$$

$$D_C = 7,50 \text{ cm} \approx 8 \text{ cm}$$

$$D_D = 8,29 \text{ cm} \approx 9 \text{ cm}$$

$$D_E = 14,67 \approx 15 \text{ cm}$$

$$D_F = 9,06 \approx 10 \text{ cm}$$

5.1.8 Cálculo de los esfuerzos sobre los martillos y bastidor de la máquina

Como se expresó anteriormente, los componentes de las máquinas pueden fallar por causas muy diversas:

- Por sobrepasar la tensión en cualquiera de sus puntos un valor límite.
- Por deformarse (aún elásticamente) más allá de unos valores límites.
- Por desgastes excesivos.
- Por ataques químicos, como corrosiones, etc.

A su vez, las tensiones (tracción, compresión y cortadura) pueden deberse a esfuerzos exteriores de tipo mecánico (momentos flectores, cargas de tracción, compresión o cortadura, momentos torsores, etc.), a cargas de impacto o muy localizadas (tensiones de Hertz) y a cargas térmicas (tensiones producidas por dilataciones).

La carga de impacto también se llama carga de choque, repentina o de impulso. Las cargas de impacto pueden dividirse en tres categorías según aumenta la velocidad: a) cargas que se mueven con rapidez de magnitud esencialmente constante, b) cargas aplicadas repentinamente y c) cargas de impacto directo.

Uno de los problemas al aplicar el análisis teórico del impacto a los problemas reales de ingeniería es que con frecuencia el tiempo de la aplicación de la carga y el del desarrollo de deformación sólo pueden ser aproximados. Esto algunas veces conduce al uso de determinaciones empíricas de los factores de esfuerzo por impacto, junto con las

propiedades de la resistencia estática del material. Esta práctica es útil cuando se tiene buena información empírica que se aplica precisamente a la parte que se diseña.

Las cargas de impacto a alta velocidad incluyen a las cargas dinámicas ocasionadas por la colisión de un cuerpo a alta velocidad con el elemento en cuestión, generando aceleraciones de gran magnitud. La determinación de las relaciones entre las cargas de impacto de alta velocidad y los esfuerzos y las deformaciones que producen en el elemento, no serán consideradas en este estudio por dos razones fundamentales:

- 1) En general, los impactos de alta velocidad producen deformación plástica, particularmente en los puntos de impacto. Por esta razón, es muy difícil determinar la magnitud de la carga de impacto. Y aun si se conociera la magnitud de la carga de impacto, es muy difícil establecer una relación entre la carga de impacto y el estado de esfuerzos y deformaciones en cualquier punto del elemento; porque la carga de impacto produce ondas de deformación en el material; los esfuerzos y las deformaciones en cualquier punto del elemento dependen de la velocidad de propagación de esas ondas de deformación.
- 2) Si alguna parte del elemento está deformado plásticamente, es necesario que la relación esfuerzos-deformaciones para ese material sea conocida. Las propiedades mecánicas de los materiales están influenciadas por la rata de aplicación de la carga, y pueden ser considerablemente diferentes durante los impactos a alta velocidad que durante los impactos a baja velocidad y cuando se aplican cargas estáticas. Por lo general, las propiedades del material para las altas velocidades de aplicación de carga, no son conocidas en la mayoría de los casos.

Durante los impactos a baja velocidad, la rata de aplicación de las cargas es tan reducida, que las ondas de deformación desarrolladas dentro del elemento son muy pequeñas y pueden ser despreciadas; y el material del elemento tiene substancialmente las mismas propiedades que presenta en el caso estático. Bajo estas condiciones, el efecto de las cargas de impacto puede considerarse equivalente al de una carga aplicada estáticamente.

Es muy difícil establecer con precisión el límite para diferenciar cuándo un impacto es a alta velocidad y cuándo es a baja velocidad.

Las cargas dinámicas que actúan sobre un elemento, ocasionan vibraciones en el mismo. Por eso será interesante determinar la máxima deflexión que ocurre durante el primer ciclo de vibración; la deflexión decrece con el número de ciclos, debido a la amortiguación del sistema. En muchas aplicaciones prácticas, la carga dinámica tiene una frecuencia constante. Si la frecuencia de los impulsos de la carga dinámica es cercana a la frecuencia natural de vibración del elemento, se establece la condición de resonancia, que provoca excesivas deflexiones, y conduce rápidamente a la falla y del elemento mecánico.

Muchos componentes estructurales y elementos de máquinas están hechos para resistir cargas dinámicas bajo la forma de impacto a baja velocidad. El método común para la determinación de los esfuerzos y deformaciones provocados por tales cargas, consiste en

determinar la carga estática equivalente que produce los mismos efectos en el elemento que la carga dinámica aplicada.

Las propiedades físicas del material son una función de la velocidad de carga. Entre más rápida sea la carga, más elevadas serán las resistencias a la fluencia y a la rotura del material.

Si se supone que no se pierde energía durante el impacto, la mecánica del impacto se estudia usando la conservación de la energía. Consideremos un simple bloque que cae a una distancia h y golpea un resorte comprimido a una distancia $\delta_{\text{máx}}$ antes de alcanzar el reposo momentáneamente. Si no se toma en cuenta la masa del resorte y se supone que el resorte responde elásticamente, para la conservación de la energía se requiere que la energía cinética se transforme completamente en energía de deformación unitaria elástica.

$$W(h + \delta_{\text{máx}}) = \frac{1}{2} \times (k \delta_{\text{máx}}) \times \delta_{\text{máx}} \quad \text{Ecuación 5.32 [22]}$$

Donde:

$$k = \text{constante de resorte} \left(\frac{N}{m} \right)$$

W = peso del bloque, N.

La ecuación anterior se puede expresar como una ecuación cuadrática:

$$\delta_{\text{máx}}^2 - 2W \times \frac{\delta_{\text{máx}}}{k} - 2W \times \left(\frac{h}{k} \right) = 0 \quad \text{Ecuación 5.33 [22]}$$

Resolviendo $\delta_{\text{máx}}$ se obtiene la raíz máxima como

$$\delta_{\text{máx}} = \frac{W}{k} + \sqrt{\left(\frac{W}{k} \right)^2 + 2 \times \left(\frac{W}{k} \right) \times h} \quad \text{Ecuación 5.34 [22]}$$

Si la fuerza se aplica estáticamente (o gradualmente) al resorte, el desplazamiento estático es:

$$\delta_{\text{st}} = \frac{W}{k} \quad \text{Ecuación 5.35 [22]}$$

Sustituyendo la ecuación 5.35 en la ecuación 5.34 se obtiene

$$\delta_{\text{máx}} = \delta_{\text{st}} + \sqrt{(\delta_{\text{st}})^2 + 2 \times \delta_{\text{st}} \times h} \quad \text{Ecuación 5.36 [22]}$$

$$\delta_{\text{máx}} = \delta_{\text{st}} \left(1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2 \times h}{\delta_{\text{st}}} \right)} \right) \quad \text{Ecuación 5.37 [22]}$$

de acuerdo con el desplazamiento máximo en la ecuación 5.37 la fuerza máxima es

$$P_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}} = k \times \delta_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}} \quad \text{Ecuaci3n 5.38 [22]}$$

Mediante el uso de la constante de resorte k en las ecuaciones 5.35 y 5.38, se relacionan los efectos est\aticos y din\amicos.

El factor de impacto se expresa como

$$I_m = \frac{\delta_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}}}{\delta_{\text{st}}} = \frac{P_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}}}{W} = 1 + \sqrt{1 + 2 \times \left(\frac{h}{\delta_{\text{st}}} \right)} \quad \text{Ecuaci3n 5.39 [22]}$$

Una vez que el factor de impacto se conoce, se calculan la carga por impacto, los esfuerzos y las deflexiones. El esfuerzo por impacto es:

$$\sigma_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}} = \frac{P_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}}}{A} = \frac{M \times C}{I} \quad \text{Ecuaci3n 5.40 [22]}$$

Donde

A = \u00e1rea de superficie que impacta el martillo, m^2

Datos de entrada:

$b = 0,121 \text{ m}$

$h = 0,05 \text{ m}$

$l = 0,2 \text{ m}$

$F_i = 87 \text{ N}$

$E = 207 \text{ GPa}$

Acero AISI 4140 OQT 1300

$E = 207 \text{ Gpa}$

$S_{yt} = 690 \text{ Mpa}$

$S_{ut} = 807 \text{ Mpa}$

Teniendo presente los valores calculados anteriormente procedemos a evaluar los valores de esfuerzos sobre el rotor y la estructura.

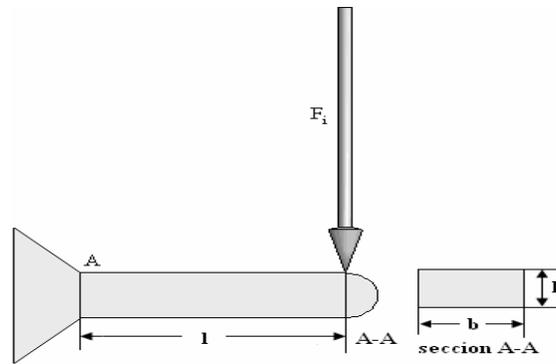


Figura 5.22 Diagrama de fuerzas sobre el martillo.

Las ecuaciones 5.34 y 5.35 se deben usar para determinar la deflexión máxima al momento de impacto en el extremo del martillo. La razón de resorte no está dada y es necesario determinarla. Las fuerzas que actúan sobre el martillo se indican en la figura 5.22

La deflexión del extremo libre del martillo es:

$$\delta = -\frac{P \times l^3}{3 \times E \times I} \quad \text{Ecuación 5.41 [22]}$$

Igualando esta ecuación con la del resorte, obtenemos que:

$$k = \frac{3 \times E \times I}{l^3} \quad \text{Ecuación 5.42 [22]}$$

Calculando el momento de inercia

$$I = \frac{b \times h^3}{12} \quad \text{Ecuación 5.43 [22]}$$

$$I = \frac{0,121 \times (0,05)^3}{12} = 1,26 \times 10^{-6} m^4$$

Utilizando la ecuación 5.42

$$K = \frac{3 \times 207 \times 1,26 \times 10^{-6}}{(0,2)^3} = 97,84 \times 10^6 \frac{N}{m}$$

Introduciendo este valor en la 5.35

$$\delta_{st} = \frac{87}{97,84 \times 10^6} = 8,89 \times 10^{-7} m$$

Según la ecuación 5.39, el factor de impacto es

$$I_m = 1 + \sqrt{1 + \frac{2 \times 0,1}{8,89 \times 10^{-7}}} = 475,26$$

$$\delta_{m\acute{a}x} = 475,26 \times 8,89 \times 10^{-7} = 4,22 \times 10^{-4} m$$

De acuerdo con la ecuaci3n 5.38

$$F_{m\acute{a}x} = 97,84 \times 10^6 \times 4,22 \times 10^{-4} = 41,34 \times 10^3 N$$

El esfuerzo flexionante máximo según la ecuaci3n 5.40 es

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{41,34 \times 10^3 \times 0,025}{1,2604 \times 10^{-6}} = 164,02 \times 10^6 Pa$$

El factor de seguridad para la fluencia es

$$N = \frac{S_Y}{\sigma_{m\acute{a}x}} \quad \text{Ecuaci3n 5.44 [22]}$$

$$N = \frac{690 \times 10^6}{164,02 \times 10^6} = 4,2067$$

Verificaci3n de la resistencia a la fatiga

Utilizando la ecuaci3n:

$$S_e = S_e' \times k_a \times k_b \times k_c \times k_d \times k_e \quad \text{Ecuaci3n 5.45 [36]}$$

Donde:

S_e = Límite de resistencia a la fatiga del elemento mecánico.

S_e' = Límite de resistencia a la fatiga de la muestra.

k_a = Factor de superficie

k_b = Factor de tamaño

k_c = Factor de carga

k_d = Factor de temperatura

k_e = Factor de efectos diversos

Primero calculamos el valor del límite de resistencia a la fatiga S_e' mediante la ecuaci3n

$$S_e' = 0,504 \times S_{ut} \quad \text{Ecuaci3n 5.46 [36]}$$

$$S_e' = 0,504 \times 807 = 406,728 Mpa$$

Empleando la ecuaci3n 5.47 y la tabla 5.12 determinamos el facto de superficie

$$K_a = a \times S_{ut}^b \quad \text{Ecuación 5.47 [36]}$$

ACABADO DE SUPERFICIE	FACTOR a		EXPONENTE b
	Kpsi	MPa	
Esmerilado (rectificado)	1,34	1,58	-0,085
Maquinado o estirado en frío	2,70	4,51	-0,265
Laminado en caliente	14,4	57,7	-0,718
Forjado	39,9	272	-0,995

Tabla 5.12 Factores de acabado de superficies [36]

Para un acero maquinado o estirado en frío

$$K_a = 4,51 \times (807)^{-0,265} = 0,76$$

Como la sección de la barra es rectangular calculamos un diámetro equivalente mediante la ecuación:

$$d_e = 0,808 \times (h \times b)^{1/2} \quad \text{Ecuación 5.48 [36]}$$

Donde:

d_e : Diámetro equivalente

Sustituimos en la ecuación anterior y nos que da que:

$$d_e = 0,808 \times (5 \times 121)^{1/2} = 62,84 \text{ aprox } 63 \text{ mm}$$

Este valor da por encima de los valores de fijados de las ecuaciones establecidas, por lo que se recomienda para tamaños mayores utilizar un valor de 0,60 a 0,75. Utilizando un valor de

$$K_b = 0,60$$

Como el martillo esta sometido a carga de flexión utilizamos un factor de carga de

$$K_c = 1$$

Utilizando la tabla 5.13 para una temperatura de 20°C, determinamos el factor de temperatura

TEMPERATURA, °C	S_T/S_{RT}	TEMPERATURA, °F	S_T/S_{RT}
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.927	700	0.927
400	0.922	800	0.872
450	0.840	900	0.797
500	0.766	1000	0.698
550	0.670	1100	0.567
600	0.546		

Tabla 5.13 Efecto de la temperatura de operación sobre la resistencia a la tensión del acero.[36]

$$K_d = \frac{S_T}{S_{RT}} = 1 \quad \text{Ecuación 5.49 [36]}$$

Para determinar el factor de efectos diversos utilizamos las ecuaciones 5.50 y 5.51 y las tablas de las figuras 5.23 y 5.24

$$K_e = \frac{1}{K_f} \quad \text{Ecuación 5.50 [36]}$$

$$K_f = 1 + q \times (K_t - 1) \quad \text{Ecuación 5.51 [36]}$$

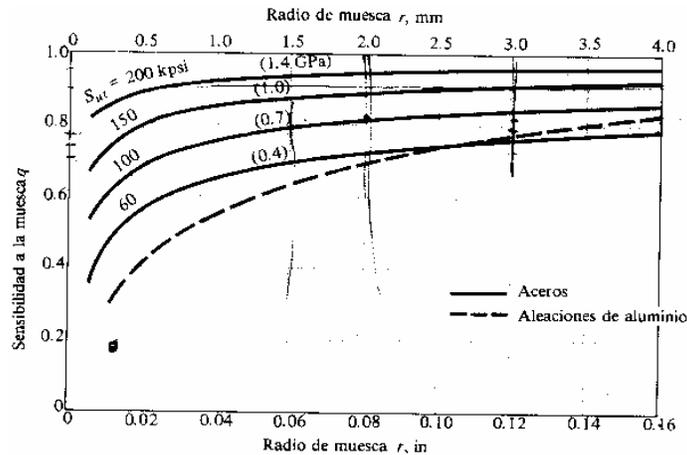


Figura 5.23 Diagramas de sensibilidad a la muesca para aceros y aleaciones de aluminio forjado UNS A92024 sometidas a cargas de flexión y cargas axiales, con inversión de ambas. [36]

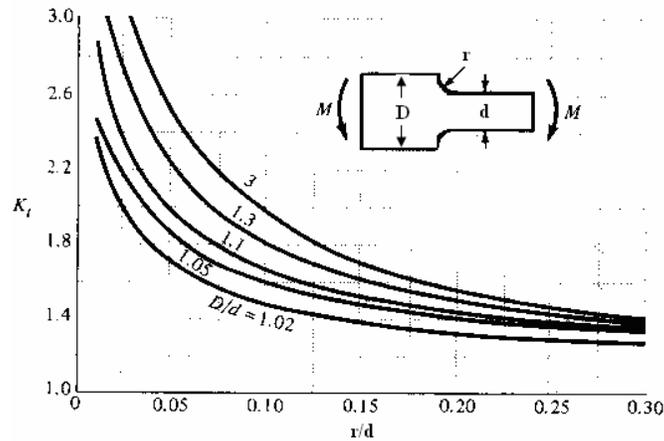


Figura 5.24 Barra rectangular con entalles transversales sometida a flexión [36]

Lo que nos da

$$K_t = 2$$

$$q = 0,65$$

Sustituyendo nos queda que

$$K_f = 1 + 0,65 \times (2 - 1) = 1,65$$

$$K_e = \frac{1}{1,65} = 0,60$$

Finalmente,

$$S_e = 406,728 \times 0,7653 \times 0,60 \times 1 \times 1 \times 0,60 = 113,18 \text{ Mpa}$$

Verificando la resistencia mediante el criterio de Goodman

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n} \quad \text{Ecuación 5.52 [36]}$$

$$\sigma_a = \sigma_m = \frac{\sigma_{m\acute{a}x}}{2}$$

$$\frac{\sigma_{m\acute{a}x}}{2} = \frac{164,0237 \times 10^6 \text{ Pa}}{2} = 82,01185 \times 10^6 \text{ Pa}$$

Sustituimos en la ecuación

$$\frac{82,01185 \times 10^6}{113,1834 \times 10^6} + \frac{82,01185 \times 10^6}{807 \times 10^6} = \frac{1}{n}$$

Despejamos n

$$n = 1,21033$$

Criterio de sodeberg

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{yr}} = \frac{1}{n} \quad \text{Ecuación 5.53 [36]}$$

$$\frac{82,01185 \times 10^6}{113,1834 \times 10^6} + \frac{82,01185 \times 10^6}{690 \times 10^6} = \frac{1}{n}$$

$$\eta = 1,18$$

De ambas teorías se puede verificar que el miembro resiste a la carga por fatiga.

Cálculo de los esfuerzos sobre el bastidor

Además de los esfuerzos flexionantes que se consideraron, las cargas sobre un miembro también pueden causar esfuerzos cortantes dentro del mismo.

Los diferentes tipos de carga que un material experimenta son importantes. El diseño se relaciona con los esfuerzos permisibles, o con el valor reducido de la resistencia. El esfuerzo normal permisible σ_{perm} y el esfuerzo cortante permisible τ_{perm} para metales se puede representar como:

$$\text{Cortante: } \tau_{perm} = 0,40 S_y$$

$$\text{Soporte: } \sigma_{perm} = 0,9 S_y$$

$$\text{Esfuerzo por aplastamiento } \sigma_{admisible} = \frac{F_{REA}}{A} \quad \text{Ecuación 5.54 [36]}$$

$$F_{REA 1} = F_{REA 2} = F_{REA}$$

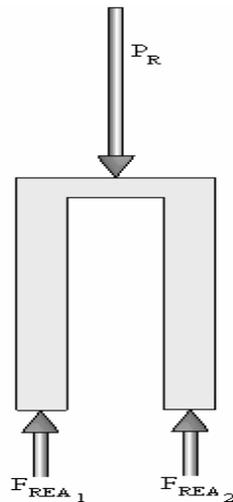


Figura 5.25 Diagrama de soporte del bastidor.

$$A = \text{área} = 98,4 \text{ cm}^2$$

$$F_{REA} = 8073,5569 \text{ N}$$

$$\sigma_{\text{admisible}} = \frac{8073,5569}{9,84 \times 10^{-3}} = 820,48 \times 10^3$$

$$\sigma_{\text{permisible}} = 552 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\text{admisible}} \gg \sigma_{\text{permisible}}$$

Esfuerzo cortante

$$\tau_{\text{admisible}} = \frac{F}{2 \times A} \quad \text{Ecuación 5.55 [36]}$$

$$\tau_{\text{admisible}} = \frac{8073,5569}{2 \times 9,84 \times 10^{-3}}$$

$$\tau_{\text{admisible}} = 410,241 \times 10^3 \text{ Pa}$$

$$\tau_{\text{admisible}} = 552 \times 10^6$$

$$\tau_{\text{admisible}} \gg \tau_{\text{permisible}}$$

5.1.9 Cálculos de los rodamientos

Los rodamientos son mecanismos constituidos por un anillo interior unido solidariamente al árbol, y otro anillo exterior unido al soporte del cojinete, y un conjunto de elementos rodantes, colocados entre ambos anillos. Como elemento auxiliar, y con el objeto de que los elementos rodantes no queden sueltos dentro de los anillos, se usan unas armaduras, jaulas o separadores que se desplazan junto con los elementos rodantes, moviéndose alrededor del eje del cojinete.

Los cojinetes de rodamientos se usan como mecanismos de soporte de elementos giratorios, en los árboles el anillo interior gira con éste y el exterior se fija al bastidor.

La selección de un rodamiento toma en cuenta la capacidad de carga al igual que la geometría, que asegurará que pueda instalarse de forma conveniente en la máquina.

Por lo general, el rodamiento se selecciona una vez que el diseño del árbol ha avanzado hasta el punto en el que se ha calculado el diámetro mínimo que se necesita para el árbol.

El Proceso de selección de rodamientos se puede generalizar en las siguientes etapas:

1. Especificar la carga de diseño o equivalente en el rodamiento.
2. Calcular el diámetro mínimo aceptable del árbol que limitará el tamaño del diámetro interno del rodamiento.
3. Seleccionar el tipo de rodamiento, según la carga.
4. Especificar la vida de diseño del rodamiento, L_{10} .
5. Calcular la especificación básica de carga dinámica que se requiere, C .
6. Identificar un conjunto de rodamientos que tengan la especificación básica de carga dinámica que se necesita.
7. Seleccionar el rodamiento que tenga la geometría más conveniente, considerando también costo y disponibilidad.
8. Determine las condiciones de montaje.

Datos de entrada:

$R =$ Carga radial = 18.030 N

Diámetro interno del rodamiento = 10 cm

$L_n = 30.000$

$n = 1147$ rpm

$k = 3,33$

Para una vida útil del diseño especificada en horas, y una velocidad de giro n que se conoce, el número de revoluciones del diseño para el rodamiento será:

$$L_d = L_h \times n \times 60 \frac{\text{min}}{\text{h}} \quad \text{Ecuación 5.56 [31]}$$

Donde

L_d = Vida útil de diseño.

n = Velocidad angular (rpm).

A partir de la tabla 22, se elije una vida útil de diseño de 30.000 h, por consiguiente L_d es:

$$L_d = 30.000 \times 1147 \times 60 = 2,1 \times 10^9$$

La especificación básica de carga dinámica para una carga y una vida útil de diseño específicas será:

$$C = P_d \times \left(\frac{L_d}{10^6} \right)^{\frac{1}{k}} \quad \text{Ecuación 5.57 [31]}$$

Donde:

C = Especificación básica de carga dinámica.

P_d = Carga o fuerza radial

k = Constante que depende del tipo de rodamiento utilizado (bolas o rodillos).

$$C = 18.030 \times \left(\frac{2,0646 \times 10^9}{10^6} \right)^{\frac{1}{3,33}} = 178,42 \text{ kN}$$

USO	VIDA ÚTIL DE DISEÑO L_{10} , h
Aparatos domésticos.	1.000 – 2.000
Motores para aviones.	1.000 – 4.000
Automotriz.	1.500 – 5.000
Equipo agrícola.	3.000 – 6.000
Elevadores, ventiladores industriales, engranes de uso múltiple.	8.000 – 15.000
Motores eléctricos, ventiladores industriales con tolva, máquinas industriales en general.	20.000 – 30.000
Bombas y compresores.	40.000 – 60.000
Equipo crítico en operación continua las 24 horas.	100.000 – 200.000

Tabla 5.14 Vida útil de diseño recomendada para rodamientos [31]

Tomamos el L_h de la tabla 5.14 y nos da como valor máximo 30000 h

Con la carga dinámica buscamos en la tabla y nos da un rodamiento con la siguiente nominación:

Y según la tabla 5.15 el rodamiento apropiado es un 100RU02 de la casa TIMKEN.

En la parte inferior se puede ver un rodamiento genérico cilíndrico, figura 5.26, el cual posee unas dimensiones expresadas con letras las cuales se pueden buscar en la tabla de acuerdo con el tipo de rodamiento seleccionado por la carga dinámica.

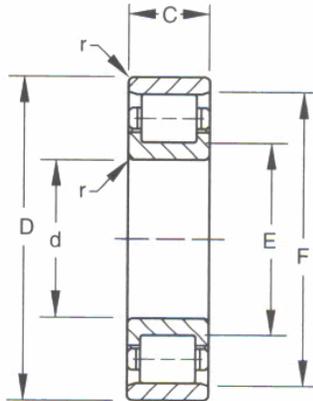


Figura 5.26 Dimensiones genérica Rodamiento cilíndrico.

DIMENSIONS – LOAD RATINGS

Bearing Number and Style						Bore d	Outside Diameter D	Width C	Shoulder Diameter		Fillet ⁽¹⁾ Radius r max.	Wt.	Load Ratings		Limiting ⁽²⁾ Speed (approx.) rpm
RIU RU	RIN RN	RIJ RJ	RIF RF	RIT RT	RIP RP				Shaft E	Housing F			Static Load Rating C ₀	Dynamic Load Rating C	
100RU02	100RN02	100RJ02	100RF02	100RT02	100RP02	3.9370 100	7.0866 180	1.3386 34	4.5 114	6.5 165	0.08 2	8.5 3.8	55000 245.0	49000 216.0	2150
100RU03	100RN03	100RJ03	100RF03	100RT03	100RP03	3.9370 100	8.4646 215	1.8504 47	4.78 121	7.62 194	0.1 2.5	19.3 2.5	95000 415.0	86500 380.0	1900
100RU33	100RN33	100RJ33	100RF33	100RT33	100RP33	3.9370 100	8.4646 215	3.2500 82.6	4.81 122	7.59 193	0.1 2.5	34.2 15.5	196000 865.0	150000 670.0	1900
40RIU130	40RIN130	40RIJ130	40RIF130	40RIT130	40RIP130	4.0000 101.6	5.6250 142.88	0.8750 22.23	4.31 110	5.31 135	0.1 2.5	2.4 1.1	30000 134.0	22000 98.0	2450
40RIU133	40RIN133	40RIJ133	40RIF133	40RIT133	40RIP133	4.0000 101.6	8.5000 215.9	1.7500 44.45	4.75 121	7.75 197	0.16 4	18.3 8.3	73500 325.0	72000 320.0	1890
105RU02	105RN02	105RJ02	105RF02	105RT02	105RP02	4.1339 105	7.4803 190	1.4173 36	4.75 121	6.88 175	0.08 2	10.2 4.6	57000 250.0	50000 224.0	2030
105RU32	105RN32	105RJ32	105RF32	105RT32	105RP32	4.1339 105	7.4803 190	2.5625 65.1	4.75 121	6.88 175	0.08 2	18.3 8.3	146000 655.0	108000 480.0	2030
105RU03	105RN03	105RJ03	105RF03	105RT03	105RP03	4.1339 105	8.8583 225	1.9291 49	5 127	8 203	0.1 2.5	22.2 10.1	100000 450.0	90000 400.0	1820
42RIU194	42RIN194	42RIJ194	42RIF194	42RIT194	42RIP194	4.2500 107.95	8.7500 222.25	2.7500 69.85	5 127	8 203	0.16 4	30.0 13.6	160000 720.0	129000 570.0	1820
110RU02	110RN02	110RJ02	110RF02	110RT02	110RP02	4.3307 110	7.874 200	1.4961 38	4.94 125	7.28 185	0.08 2	11.8 5.4	71000 315.0	62000 275.0	1930
110RU03	110RN03	110RJ03	110RF03	110RT03	110RP03	4.3307 110	9.4488 240	1.9685 50	5.31 135	8.47 215	0.1 2.5	25.8 11.7	170000 750.0	122000 550.0	1710
45RIU196	45RIN196	45RIJ196	45RIF196	45RIT196	45RIP196	4.5000 114.3	8.0000 203.2	1.3125 33.34	5.12 130	7.38 187	0.12 3	10.5 4.8	55000 245.0	50000 224.0	1890
120RU30	120RN30	120RJ30	120RF30	120RT30	120RP30	4.7244 120	7.0866 180	1.8110 46	5.12 130	6.69 170	0.08 2	9.3 4.2	88000 390.0	57000 255.0	2000
120RU02	120RN02	120RJ02	120RF02	120RT02	120RP02	4.7244 120	8.4646 215	1.5748 40	5.38 137	7.81 198	0.08 2	14.4 6.5	72000 320.0	64000 285.0	1790
120RU92	120RN92	120RJ92	120RF92	120RT92	120RP92	4.7244 120	8.4646 215	3.0000 76.2	5.38 137	7.81 198	0.08 2	27.3 12.4	196000 865.0	140000 620.0	1790
120RU03	120RN03	120RJ03	120RF03	120RT03	120RP03	4.7244 120	10.2362 260	2.1654 55	5.72 146	9.25 235	0.1 2.5	33.4 15.2	120000 540.0	112000 490.0	1580
130RU30	130RN30	130RJ30	130RF30	130RT30	130RP30	5.1181 130	7.874 200	2.0472 52	5.62 143	7.38 187	0.08 2	13.5 6.1	122000 540.0	80000 355.0	1820
130RU02	130RN02	130RJ02	130RF02	130RT02	130RP02	5.1181 130	9.0551 230	1.5748 40	5.84 148	8.34 212	0.10 2.5	16.3 7.4	80000 355.0	69500 305.0	1660
130RU92	130RN92	130RJ92	130RF92	130RT92	130RP92	5.1181 130	9.0551 230	3.1250 79.4	5.84 148	8.38 213	0.1 2.5	32.4 14.7	224000 980.0	153000 680.0	1660
130RU03	130RN03	130RJ03	130RF03	130RT03	130RP03	5.1181 130	11.0236 280	2.2835 58	6.22 158	9.94 252	0.12 3	40.8 18.5	134000 600.0	125000 550.0	1460

⁽¹⁾ Maximum shaft or housing fillet radius which bearing corners will clear. ⁽²⁾ Limiting speed given for oil bath only; grease = oil.

Tabla 5.15 Tabla de selección de rodamientos TIMKEN.

Cada uno de estos rodamientos posee una chumacera sugerida la cual se puede seleccionar en la tabla 5.16 y luego en la figura 5.27 genérica se puede saber cuales son sus medidas para luego realizar la base donde van asentados los rodamientos. La chumacera a utilizar según la tabla 5.16 es SAF22518.

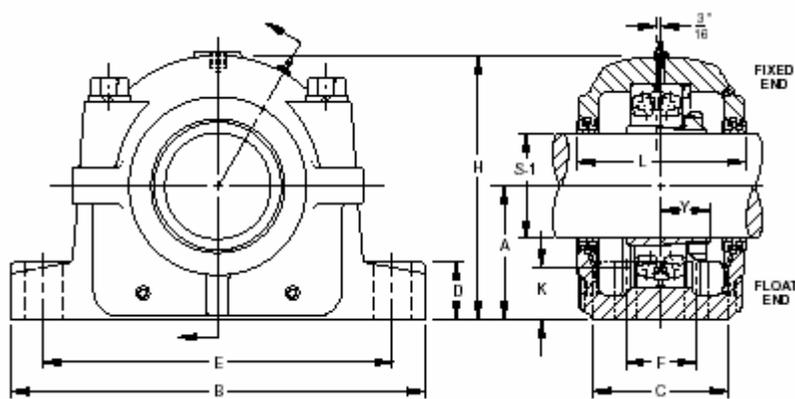


Figura 5.27 Dimensiones de Chumacera.

SERIES SAF225 DIMENSIONS

Pillow Block Assembly	Shaft ⁽¹⁾ Diam S-1	A	B	C	D	E		F	H	K	L	Y	Base Bolts Required		Bearing Number	Adapter ⁽⁴⁾ Assembly Number	Housing ⁽²⁾ Only	Stabi ⁽³⁾ lizing Ring 1 Req'd	Triple Seal 2 Req'd	Assembly Wt.
		inch	inch	inch	inch	inch	(max)	(min)	inch	inch	inch	inch	inch	no.						
SAF22515	2 1/8	3 1/4	11 1/4	3 3/8	1 1/8	9 3/8	8 3/8	—	6 3/8	1 1/4	4 1/4	1 1/2	2	5/8	22215K	SNW-15	SAF515	SR-15-0	LER37	30
FSAF22515	2 1/8	3 1/4	11 1/4	3 3/8	1 1/8	9 3/8	8 3/8	1 1/8	6 3/8	1 1/4	4 1/4	1 1/2	4	1/2	22215K	SNW-15	FSAF515	SR-15-0	LER37	30
SAF22516	2 1/4	3 1/2	13	3 1/2	1 1/4	11	9 1/4	—	6 3/4	1 1/2	4 3/4	1 3/4	2	3/4	22216K	SNW-16	SAF516	SR-16-13	LER44	37
FSAF22516	2 1/4	3 1/2	13	3 1/2	1 1/4	11	9 1/4	2 1/8	6 3/4	1 1/2	4 3/4	1 3/4	4	3/8	22216K	SNW-16	FSAF516	SR-16-13	LER44	37
SAF22517	2 3/8	3 3/4	13	3 3/8	1 1/4	11	9 3/8	—	7 1/4	1 1/2	4 1/2	1 3/4	2	3/4	22217K	SNW-17	SAF517	SR-17-14	LER53	40
FSAF22517	2 3/8	3 3/4	13	3 3/8	1 1/4	11	9 3/8	2 1/8	7 1/4	1 1/2	4 1/2	1 3/4	4	3/8	22217K	SNW-17	FSAF517	SR-17-14	LER53	40
SAF22518	3 1/8	4	13 3/4	3 3/8	1 1/2	11 1/4	10 3/8	—	7 3/4	1 1/2	6 3/4	1 3/4	2	3/4	22218K	SNW-18	SAF518	SR-18-15	LER69	49
FSAF22518	3 1/8	4	13 3/4	3 3/8	1 1/2	11 1/4	10 3/8	2 1/8	7 3/4	1 1/2	6 3/4	1 3/4	4	3/8	22218K	SNW-18	FSAF518	SR-18-15	LER69	49
SAF22520	3 3/8	4 1/2	15 1/4	4 1/4	1 3/4	13 3/8	11 3/8	—	8 1/2	1 3/4	6	1 3/4	2	3/4	22220K	SNW-20	SAF520	SR-20-17	LER102	65
FSAF22520	3 3/8	4 1/2	15 1/4	4 1/4	1 3/4	13 3/8	11 3/8	2 1/8	8 1/2	1 3/4	6	1 3/4	4	3/4	22220K	SNW-20	FSAF520	SR-20-17	LER102	65
SAF22522	3 7/8	4 13/16	16 1/2	4 3/4	2	14 1/8	12 3/8	2 1/4	9 1/4	1 3/4	6 3/4	1 3/4	4	3/4	22222K	SNW-22	SAF522	SR-22-19	LER109	81
SAF22524	4 1/8	5 1/4	16 1/2	4 3/4	2 1/8	14 3/8	13 3/8	2 1/4	10 1/4	1 3/4	7 3/4	2 1/2	4	3/4	22224K	SNW-24	SAF524	SR-24-20	LER113	94
SAF22526	4 3/8	6	18 3/8	5 1/4	2 3/8	16	14 3/8	3 1/4	11 3/8	2 1/2	8	2 1/4	4	3/8	22226K	SNW-26	SAF526	SR-26-0	LER117	137
SAF22528	4 7/8	6	20 1/8	5 3/4	2 3/4	17 1/8	16	3 3/8	11 3/8	2 1/2	7 3/4	2 1/2	4	1	22228K	SNW-28	SAF528	SR-28-0	LER122	150
SAF22530	5 1/8	6 1/4	21 1/4	6 1/4	2 1/2	18 1/8	17	3 3/4	12 3/8	2 3/8	8 3/4	2 3/4	4	1	22230K	SNW-30	SAF530	SR-30-0	LER125	180
SAF22532	5 3/8	6 11/16	22	6 3/4	2 3/4	19 1/8	17 3/8	3 3/4	13 3/8	2 3/8	8 3/4	2 3/4	4	1	22232K	SNW-32	SAF532	SR-32-0	LER130	225
SAF22534	5 7/8	7 1/4	24 3/4	6 3/4	2 3/4	21 1/8	19 3/8	4 1/4	14 3/8	2 3/8	9 3/4	2 3/4	4	1	22234K	SNW-34	SAF534	SR-34-0	LER140	300
SAF22536	6 1/8	7 1/2	26 3/4	7 1/4	3	23 3/8	20 3/8	4 3/4	15 3/8	2 3/8	9 3/4	2 3/4	4	1	22236K	SNW-36	SAF536	SR-36-30	LER148	330
SAF22538	6 3/8	7 3/8	28	7 3/8	3 1/8	24 3/8	21 3/8	4 3/4	15 7/8	2 3/8	10 3/4	3 1/4	4	1 1/4	22238K	SNW-38	SAF538	SR-38-32	LER155	375
SAF22540	7 1/8	8 1/4	29 1/2	8	3 3/8	25	22 3/8	5	17 3/8	2 3/8	10 3/4	3 1/2	4	1 1/4	22240K	SNW-40	SAF540	SR-40-34	LER159	445
SAF22544	7 3/8	9 1/2	32 3/4	8 3/4	3 3/4	27 3/8	24 3/8	5 1/4	19 3/8	3 3/8	11 1/2	3 3/4	4	1 1/2	22244K	SNW-44	SAF544	SR-44-38	LER167	615

⁽¹⁾ See page 281 for recommended shaft diameter S-1 tolerances.

⁽²⁾ "Housing Only" includes: cap, base, cap bolts, triple ring seals and stabilizing rings as required.

⁽³⁾ Stabilizing ring is used for fixed (FX) block; do not use for float (FL) mounting.

⁽⁴⁾ Includes sleeve, locknut and lockwasher. Add shaft size to order.

Note: Limiting speeds are found in dimension tables in the spherical roller bearing section.

TABLA 5.16 Tabla para selección chumaceras para rodamientos cilíndricos.

CAPÍTULO VI

6.1 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA

El estudio de factibilidad tiene como objetivo principal determinar la viabilidad de un proyecto de inversión, entendiéndose como proyecto de inversión, el proceso donde se destina una porción de capital para la adquisición de los recursos necesarios destinados a la producción de un producto o servicio que va a satisfacer una necesidad real del mercado.

El resultado de la evaluación e un proyecto, depende del criterio que se utilice para aprobarlo o reprobalo según el objetivo general del estudio, es decir, en nuestro caso no necesariamente el objetivo primordial es obtener el máximo rendimiento sobre la inversión, pudiese ser darle uso a un inmueble (terreno), mantener la empresa en plena capacidad operativa (constructora), tener trabajo profesional (ingenieros), etc.

Aunque realicemos una evaluación que se considere lo más real y completa posible, no quiere decir, que al invertir en el proyecto, el dinero esta fuera de juego. Esto se debe a que no tenemos el control sobre los hechos aleatorios ni tampoco podemos predecirlos.

Lo dicho anteriormente no debe servir de excusa para no evaluar proyectos, todo lo contrario, con la evaluación será posible la minimización de la incertidumbre inicial respecto de la conveniencia de llevar a cabo una inversión.

Todo estudio de factibilidad por lo general está compuesto por tres partes centrales a saber:

- a) Estudio de mercado: Consiste principalmente en la medición de la oferta y la demanda, el análisis de precios y el estudio de comercialización. El estudio de mercado representa una fase vital del estudio de factibilidad. A través del conocimiento del mercado se determina principalmente si existe una necesidad real y un mercado insatisfecho que puede ser saciado por el producto en estudio. Generalmente, es la primera etapa del estudio de factibilidad y es el momento donde el investigador analiza aspectos como: la demanda, la oferta, los precios, características del producto, medios de comercialización, el riesgo que se corre de no ser aceptado el producto en el mercado, entre otros. Para poder desarrollar el estudio de mercado es necesario cumplir con los siguientes pasos:
 - Definir el problema
 - Necesidad y fuentes de información
 - Diseño de recopilación y tratamiento estadístico de los datos
 - Procesamiento y análisis de datos
 - Informe
- b) Estudio técnico: El objetivo de este análisis es determinar que el proyecto es viable desde el punto de vista técnico – operativo, es decir, todo aquello que tenga relación con el funcionamiento y operatividad del propio proyecto. Suministra información

para cuantificar el monto de las inversiones y de los costos de operación, tanto para la puesta en marcha como para la posterior operación del proyecto. El estudio técnico determina los requerimientos de equipos de fábrica para la operación y el monto de la inversión correspondiente. Así como las características y especificaciones técnicas de las máquinas precisando su disposición en planta, la que a su vez permitirá dimensionar las necesidades de espacio físico para su normal operación. En función de los equipos es posible cuantificar las necesidades de mano de obra por especialización y asignarles un nivel de renumeración para el cálculo de los costos de operación. Así mismo, deberán deducirse los costos de mantenimiento y reparaciones, así como el de reposición de los equipos y, conocer las materias primas y los restantes insumos que demandará el proceso.

- c) Estudio económico financiero: Esta etapa tiene como objetivo ordenar y sistematizar la información de carácter monetario que proporcionan las etapas anteriores y elaborar los cuadros analíticos que sirven de base para la evaluación económica. Esta información no es más que el estimado de costos, gastos, ingresos y egresos del proyecto, que nos ayudarán a realizar los estados de ganancias y pérdidas estimados, el balance general y los flujos de caja, para posteriormente poder calcular los indicadores de rentabilidad como lo son la Tasa Interna de Retorno (TIR), el Valor Presente Neto (VPN), etc.

Una vez definido los aspectos generales que dan la base teórica del tema investigado, es necesario establecer los aspectos técnicos que sustentarán el estudio de factibilidad.

Con la evaluación de proyectos se da una mejor solución a un problema económico planteado, y así se consigue que se dispongan de los antecedentes y la información necesaria, que permitan asignar de forma racional los recursos escasos a la alternativa de solución más eficiente y viable frente a una necesidad humana percibida.

Empleamos el conocimiento científico y la ingeniería en nuestro beneficio a través del diseño de las cosas que usamos, tales como máquinas, estructuras, productos y servicios. Sin embargo, estos logros no suceden sin un precio, monetario o de otro tipo. En términos generales, para que un diseño de ingeniería sea exitoso, debe ser técnicamente sólido y producir algunos beneficios. Estos beneficios deben exceder los costos asociados con el diseño a fin de que el diseño aumente su valor neto.

En este capítulo plantea la posibilidad técnica y teórica para el desarrollo y posible construcción en Venezuela de una máquina trituradora de envases de vidrio para la industria del reciclaje. El diseño de esta máquina trituradora de envases de vidrio es de importancia para estas industrias ya que las actualiza y apoya a través de nuevos diseños que podrían mejorar sus procesos y disminuir los costos de operación y mantenimiento. Además de obtener un ahorro de dinero utilizando un nuevo diseño, se puede garantizar en este estudio que este proyecto es viable, porque realiza una evaluación de posibles riesgos que acareen los costos ligados a la construcción de dicha maquinaria ya que ocasionaría la pérdida de la inversión de capital. El diseño de esta maquinaria no solo apoya a la industria del reciclaje que la adopte este diseño sino también beneficia a la población en general ya que en Venezuela la basura desde hace mucho tiempo es un problema debido a que

contamina nuestras calles y para el Ejecutivo Nacional representa un costo por el concepto de recolección y posterior tratamiento en un relleno sanitario.

6.1.1 Estudio de Mercado

Es definido teóricamente en la medición de la oferta y la demanda, el análisis de precios y el estudio de comercialización, esto con la finalidad de verificar la posibilidad real de penetración de determinado producto en el mercado.

Es considerado también como estudio de factibilidad el cual representa un conjunto de consideraciones que se realizan antes de poner en el mercado un nuevo producto o maquinaria para saber el impacto que tendrá en la población. En el estudio de mercado se consideran todos los factores tanto positivos como negativos para la construcción de una maquina trituradora de envases para una industria del reciclaje y esto se realiza a través de un estudio en el ámbito social como ambiental.

6.1.1.1 Definición del producto

Es la descripción del producto a desarrollar conociendo sus características, propiedades, ciclo de vida, sustitutos, para conocer detalladamente la forma y manera en que se va a distribuir en el mercado.

El producto es vidrio triturado o cullet con un tamaño de malla 25 y debe contener a lo máximo 50 g de Fe por cada tonelada para el caso del color transparente, debido a que el hierro colorea que se va utilizar para producir envases para refrescos, alimentos y bebidas alcohólicas, además se debe cumplir con otras especificaciones que se ven en el capítulo II tabla 2.7. El cullet por lo general se separan en cuatro colores básicos como lo son: el verde, azul, ámbar, transparente y se guardan en depósitos por montículos, listos para ser llevados en camiones al horno de la fábrica de envases. El transporte de cullet se realiza por camiones de 35 toneladas y estos son llenados en la compañía recicladora con palas mecánicas. Este producto está catalogado como un bien intermedio o industrial ya que su producción sirve para fabricar nuevos envases para el consumidor.

6.1.1.2 Demanda

Es la cantidad de bienes y servicios que el mercado (población) requiere para satisfacer necesidades, a un precio determinado. El objetivo de este análisis es determinar cuáles son las necesidades específicas que posee el consumidor, así como determinar cuál es el precio que están dispuestos a pagar, detectando a su vez una posible participación del producto en el mercado.

La demanda de vidrio reciclado con el fin de producir envases nuevos ha aumentado debido a que el costo de la materia prima producto de la importación ha sufrido un alza como resultado del un aumento significativo del dólar. El aumento del dólar se debe a factores de control de cambio implementado por el Ejecutivo nacional y su adquisición a través de C.A.D.IV.I se realiza de manera lenta lo cual perjudica las exportaciones y el mercado interno. Un mayor costo en la materia prima hace que las empresas demanden

más materia reciclada, pero la oferta en el mercado depende de cuanto vidrio este siendo recogido y de quienes realizan este trabajo cuentan con maquinaria para reducir su tamaño con el fin de economizar flete en transporte del cullet. La demanda varía para el cullet según su color debido a de que existen colores privilegiados por los consumidores al momento de comprar un determinado producto envasado. En la tabla 6.1 se ve la necesidad de un nuevo diseño para una máquina de triturado de envases para la industria del reciclaje y esta necesidad fue tomada de una encuesta que fue realizada a cada uno de los dueños de cada recicladora visitada y se le realizaron varias preguntas que se resumen en dicha tabla.

PREGUNTAS	Si	NO
Desea cambiar su actual modelo de trituradora de envases de vidrio	X	
Es optima su maquina actual de triturado de envases de vidrio		X
Le resulta rentable la trituradora de envases para este momento		X
Cuenta con revisiones actuales sobre equipos que utilice para triturar		X

Tabla 6.1 Encuesta realizada a empresas recicladoras.

De dicha tabla se puede sacar la conclusión de que se existe una demanda real en el diseño de dicha maquinaria para estas industrias las cuales en los actuales momentos buscan alternativas para seguir suministrando cullet a las empresas para las cuales trabajan.

6.1.1.3 Oferta

La oferta es la cantidad de bienes y servicios que un cierto número de oferentes (productores) están dispuestos a poner a disposición del mercado a un precio determinado. La oferta de cullet o vidrio triturado es realizada por recicladoras de envases de vidrio que se encuentran cerca de las plantas productoras de envases de vidrio como lo son Owens Illinois y Produvisa. Los envases de vidrio son traídos y vendidos a dichas recicladoras por recicladores primarios que se encargan de tomarlos de las calles de diferentes ciudades del país, botaderos y botes de basura. La oferta es controlada por los precios de compra de las recicladoras ya que si por ejemplo se da un buen precio por el material reciclado mayor será la oferta del mercado, desde luego que dicha oferta no es igual para todo el cullet debido a que esta varía según sea el color que se este negociando.

6.1.1.4 Precios

El precio es la cantidad monetaria a que los productores están dispuestos a vender, y los consumidores a comprar, un bien o servicio, cuando la demanda y la oferta están en equilibrio. El precio viene dado por la determinación de un costo unitario más un margen de ganancia que el productor considere pertinente, aunque este principio por lo general es confrontado por la realidad, donde es el mercado es quien define el precio del producto, es decir, este variará con la entrada o salida de demanda u oferta del mismo.

Los precios de la materia prima en este caso envases de vidrio varía según su coloración siendo los envases más baratos los de color ámbar y los más caros los de color azul, el precio de envases según su coloración se ve en la tabla 6.2 y se muestra a continuación.

Estos precios fueron tomados de dos recicladoras de envases, la primera es Serpro ubicada en Maracay y la segunda es Rency ubicada en Valencia y las cuales al momento de la visita poseían los mismos precios de compra de cullet. Estos precios pueden tener modificaciones Según sea la necesidad de cullet para producir nuevos envases de vidrio debido a que en el mercado se comienza a ver un aumento en la demanda de esta materia prima reciclada.

COLORACIÓN DE ENVASES	PRECIO POR KG DE ENVASE (BS)
ámbar	28
verde	45
Flint (transparente)	49
Azul	56

Tabla 6.2 Tabla de precios de cullet.

El precio por cada kilogramo de envase triturado es de 15 Bs independiente del color que se triture y su precio es fijado por la compañía recicladora en conjunto con la empresa a la cual se le presta el servicio.

6.1.1.5 Comercialización del producto

Es la actividad que permite al productor hacer llegar un bien o servicio al consumidor con los beneficios de tiempo y lugar a través de canales de distribución. Los canales de distribución es una ruta por que toma un producto para pasar al consumidor.

El producto será comercializado directamente y sin intermediarios a la empresas encargadas de realizar nuevos envases y su forma de distribución es en camiones con capacidad de 75 toneladas lo cuales trabajan dentro de la compañía a la cual se le presta el servicio y sus costos de mantenimiento y funcionamiento no son pagados por la recicladora sino por la empresa que fabrica los envases.

6.1.1.6 Procesos de producción.

El proceso de producción es realizado en dos pasos dentro de la misma máquina, el primero es la ruptura de los envases o botellas de vidrio y la segunda es la trituración de los trozos de vidrio producto del primer paso. El primer paso se realiza cuando los envases chocan contra la cara de los martillos produciendo que los mismos se rompan en pedazos de diverso tamaño. El segundo paso se realiza cuando los martillos pasan por la criba y golpean los pedazos de vidrio contra los forros de la máquina lo cual provoca que se vuelvan a fracturar y como consecuencia disminuyan su tamaño, esto se repite una y otra vez hasta que los pedazos de vidrio o cullet puedan pasar la malla de la criba.

6.1.1.7 Cronograma de Actividades

El cronograma de trabajo esta fijado para una duración de máximo de 6 meses de contratación para la ejecución y puesta en marcha de la maquina de triturar envases de vidrio para la industria del reciclaje. En la tabla 6.1 se muestra el cronograma de actividades para la construcción de la maquina de triturado de envases:

1	Revisión de la metodología del diseño.
2	Revisión de los planos y materiales a usar en la construcción de la máquina trituradora de envases de vidrio.
3-4	Ejecución de las diversas partes de la máquina trituradora de envases por empresas metalmecánica.
5	Ensamblaje y puesta en funcionamiento de la máquina trituradora de envases.
6	Transporte al sitio de operación de trabajo de la maquina trituradora de nevases y adiestramiento del personal obrero.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES						
ACTIVIDAD	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Tabla 6.3 Cronograma de actividades.

6.1.2 Estudio financiero

El estudio financiero tiene la finalidad de ordenar y sintetizar la información de carácter monetario que proporcionaron las etapas anteriores, elaborar los cuadros analíticos y datos adicionales para la evaluación del proyecto y determinar la rentabilidad. El estudio económico tiene como objetivo determinar el monto de inversión y todos los costos relacionados con el proceso de creación del producto, desde la adquisición de materias primas hasta la llegada del producto o servicio final.

6.1.2.1 Capital de trabajo

Este capital esta asociado a los costos de materia prima, mano de obra directa e indirecta, insumos, de mantenimiento.

El capital de trabajo esta fundamentado en el gasto corriente que posee una empresa recicladora de envases de vidrio para poder funcionar al menos un mes y se describen en la tabla 6.4. Lo pago de envases a proveedores es el único que se reintegra al final de mes por la empresas que realiza los envases los otros pagos corren por cuenta de la compañía.

CAPITAL DE TRABAJO	
pago de consumo eléctrico	6.000.000,00
pago de repuestos e insumos	10.000.000,00
pago de personal (15 obreros con sueldo de 400.000 Bs)	6.000.000,00
pago de seguro anual (10 % de costo fijo)	4.977.800,00
pago de envases a proveedores (160 ton por día)	201.600.000,00
caja chica	6.000.000,00
TOTAL DE CAPITAL DE TRABAJO	234.577.800

Tabla 6.4 Tabla de capital de trabajo.

6.1.2.2 Costos Fijos.

Los costos fijos es una inversión en capital de las partes interesadas o inversionistas que estén interesados en realizar un proyecto a corto, mediano o largo plazo. Estos costos fijos son generados por la adquisición de materiales e insumos y también incluyen los costos para materializar el proyecto como lo son el costo de transporte, armado y puesta en marcha del proyecto.

En nuestro estudio, el cual implica una posible construcción se consideraron todos los componentes que debería tener la máquina para su buen funcionamiento y gran durabilidad como lo son: rodamientos, criba, pernos y también se consideran todos los materiales como lo son: chapas de acero que fueron calculados y descritas en el capítulo 5, posteriormente en la tabla 6.3 se colocan cada unos de estos catalogados por cantidad y costo por unidad así como un costo global o total.

COSTOS FIJOS			
MATERIALES E INSUMOS			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO/UNIDAD	TOTAL
Laminas de acero 1040 (2 m X 1m, e = 2cm)	6	50.000,0	300.000,00
Laminas anti-desgaste (2m X 1m)	4	0	400.000,00
Cilindro de acero (Diam 0,7 m X 1,3 m)	1	35.000.000,00	35.000.000,00
martillos anti-desgate	4	500.000,00	2.000.000,00
Motor (36 Hp y 1800 Rpm)		3.160.000,00	3.160.000,00
Bandas	3	20.000,00	60.000,00
Polea		322.000,00	322.000,00
Rodamientos+ Chumacera	2	2.300.000,00	4.600.000,00
Criba	1	450.000,00	450.000,00
Electrodos (paquete de E-1060)	1	55.000,00	55.000,00
Tornillos Tipo allen	16	7.000,00	112.000,00
TOTAL DE MATERIALES E INSUMOS			46.459.000,00

Tabla 6.3 Tabla de costos fijos.

COSTOS DE TRANSPORTE Y MECANIZADO	
mecanizado	2340000
transporte	1000000
TOTAL DE COSTOS DE TRANSPORTE Y MECANIZADO	3340000

Tabla 6.4 Tabla de costos transporte y mecanizado.

Costos fijos = total de materiales e insumos + total de costos de transporte y mecanizado

Costos fijos= 46.438.000 + 3.340.000= 49.778.000 Bs

6.1.2.3 Ingresos y Egresos

El ingreso es definido como las ganancias de capital que se percibe por la venta de un bien o servicio. Estos se realizan a través de pagos directos de las compañías al proveedor o indirectos por agencias bancarias contratadas por la compañía que recibe el servicio o bien.

El egreso corresponde a todo los gastos que se generan para producir un bien o servicio en un determinado tiempo. Estos ocurren por gastos en mantenimiento, pago de nómina, pago de materia prima e insumos, etc.

6.1.2.3.1 Ingresos

El trabajo que se realiza es triturar envases de vidrio y esto se hace en una cantidad de 160 toneladas diarias promedio, a un costo fijado por la compañía trituradora de 8.000 Bs por cada tonelada procesada, además se le devuelve el pago realizado por la recicladora por cada kilogramo de envase sin procesar ($C_{Materia}$).

Se estimo los ingresos a demanda constante y se calculó a 30 días o un mes y nos resultado:

$$Ingresos_{(mensuales)} = PESO \times PRECIO \times TIEMPO + C_{Materia}$$

$$Ingresos_{(mensuales)} = 160 \times 15.000 \times 30 + 201.600.000$$

$$Ingresos_{(mensuales)} = 273.600.000 \text{ Bs}$$

6.1.2.3.2 Egresos

Los egresos provienen del pago de nómina y de materiales e insumos los cuales se describen en la tabla 6.4 como capital de trabajo (CT), de costo de mantenimiento ($C_{Mantenimiento}$) y de los beneficios laborales ($Beneficios_{laborales}$); desde luego el pago de materia prima sin procesar se toma en cuenta ya que se tiene que pagar a los recicladores primarios los cuales cobran a final de cada semana por una cuenta nómina, el mismo es cancelado al final de cada mes por la compañía fabricante de envase.

$$Egresos_{(mensuales)} = CT + C_{Mantenimiento} + Beneficios_{laborales}$$

$$Egresos_{(mensuales)} = 234.577.800 + 10.000.000 + 600.000$$

$$Egresos_{(mensuales)} = 241.797.800 \text{ Bs}$$

6.1.2.4 Métodos financieros

Una vez recabado cierta información necesaria, se puede evaluar el proyecto de inversión, y esto consiste en rechazar o aceptar el proyecto a través de varios métodos de evaluación entre los cuales están el valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR).

6.1.2.4.1 Valor presente neto (VPN)

El valor presente neto viene definido como la diferencia entre todos sus ingresos y egresos en moneda actual, este viene expresado por la ecuación 6.1. Este criterio plantea que el proyecto debe aceptarse si su valor presente neto es igual o superior a cero. Para poder calcular el VPN es necesario calcular la tasa de descuento (TD) la cual depende del capital aportado en forma de financiamiento al proyecto.

$$VPN = \sum_{n=1}^n \frac{C}{(1+TD)^n} - I_0 \text{ Ecuación 6.1}$$

Donde:

C: es el flujo de activos

I_0 : es la inversión inicial

TD: tasa de descuento

La tasa de descuento (TD) será calculada en este trabajo suponiendo que: el 100 % es prestado por instituciones bancarias y por el departamento fondos de ampliación y de mejoramiento de las fabricas de envases, para ambos casos la tasa de interés no debe superar el 31% para el año 2004 y para un período de pago de 3 años lo cual tomamos como referencia.

$$T.D = a \times P + b \times AC + c \times AP \text{ Ecuación 6.2}$$

Donde:

a: es el porcentaje aportado por el crédito.

b: es el porcentaje de acciones comunes de ambas compañías.

c: es el porcentaje de acciones preferidas.

P: es la tasa de interés del préstamo.

AC: es la cotización de las acciones en la bolsa de valores.

AP: es la cotización en otras acciones denominadas preferidas.

Para los cálculos $AC=AP = 0$ ya que esta empresa no cotiza en la bolsa de valores y para P se considera como tasa de interés de 31% máximo para el año 2004 y para el valor de $a = b = c = 1$ porque se considera un 100 % de capital financiado, ahora con la ecuación 6.1 calculamos TD.

$$TD = a \times P + b \times AC + c \times AP$$

$$TD = 1 \times 0,31 + 1 \times 0 + 1 \times 0$$

$$TD = 0,31$$

Ahora calculamos el valor presente Neto (VPN) con la ecuación 6.1 para un tiempo de pago máximo de 36 meses es decir $n = 36$.

$C = \text{Ingresos} - \text{Egresos}$

$$C = 273.600.000 \text{ Bs} - 241.797.800 \text{ Bs} = 31.802.200 \text{ Bs.}$$

$$VPN = \sum_{n=1}^{36} \frac{31.802.200}{(1+TD)^n} - 49.778.000$$

$$VPN = 77.080.074,06 \text{ Bs} > 0 \text{ La construcción de la maquina da rentable.}$$

6.1.2.4.2 Tasa interna de retorno (TIR)

El criterio de la tasa interna de retorno (TIR) evalúa el proyecto en función de una única tasa de rendimiento por período con lo cual la totalidad de los beneficios actualizados son exactamente iguales a los desembolsos expresados en moneda actual, es decir es lo mismo que calcular la tasa donde el VPN se hace igual a cero. El TIR viene expresado mediante la ecuación 6.3.

$$\sum_{n=1}^n \frac{C}{(1+TD)^n} - I_0 = 0 \text{ Ecuación 6.3}$$

Ahora calculamos n es el mes de recuperación del proyecto.

$$\sum_{n=1}^n \frac{31.802.200}{(1+0,31)^n} - 49.778.000 = 0$$

$$n = 30 \%$$

6.1.3 Evaluación social.

Este proyecto produce un beneficio social ya que mejora el problema del procesamiento de envases una vez que son desechados por el consumidor y ayuda a fortalecer y fomentar al creación de maquinarias para compañías que se dedican a trabajar con material reciclado. El problema con este estudio no se solventa pero lo mejora aportando un grano de arena a un problema tan serio como lo es la compactación de desechos sólidos que sigue siendo un tema muy polémico en Venezuela.

Al crear un diseño nuevo de máquina que triturare envases de vidrio se puede lograr disminuir el espacio que ocupan estos envases en los desechos sólidos en rellenos sanitarios lo cual trae como consecuencia menos

6.1.4 Impacto Ambiental.

Existe un buen impacto al ambiente ya que se logra al apoyar en todas sus actividades a la industria del reciclaje a través de mejoramiento y actualización de maquinaria destinada a triturador envases de vidrio las cuales, que sean mas baratas y sean mas rentables y aumenten las ganancias y disminuir las perdidas. Al hacer más favorable la industria del reciclaje se fomenta esta actividad dejando un balance positivo al ambiente.

CONCLUSIONES

Las metas que se establecen únicamente en función de las tasas de reciclado, no necesariamente se concentran en el beneficio final y es poco probable que contribuyan al desarrollo de un manejo de residuos sustentable. El beneficio ambiental de reciclar varía de acuerdo con los materiales y también conforme a las tasas de reciclaje, de manera que altas tasas de reciclaje no son necesariamente iguales a mejoras ambientales globales.

Los beneficios del reciclaje son mayores cuando los residuos se componen de materiales valorizables limpios y disponibles en grandes cantidades.

La industria del reciclaje consiste en una gran variedad de negocios que incluyen desde individuos que trabajan por su cuenta, hasta grandes empresas multinacionales y se agrupan en cinco tipos:

- Recolectores: Cuya función primaria es identificar materiales reciclables y transportarlos desde la fuente hasta el local de los compradores.
- Acopiadores – Acondicionadores: Los cuales compran materiales reciclables, les aplican un proceso simple y los revenden a una empresa manufacturera. Algunos se especializan en materiales reciclables específicos y llevan a cabo operaciones más amplias tales como lavado, triturado, aplastado o compactación de los mismos, antes de venderlos.
- Corredores independientes: Que compran o aceptan materiales reciclables, los venden a más de un usuario final y organizan la transferencia de los materiales; todo ello por una tarifa o un porcentaje de la operación.
- Recicladotes: Empresas que someten al material recolectado a un proceso de limpieza y acondicionamiento industrial, para poder ser usado nuevamente en un proceso industrial como materia prima.
- Usuarios finales: Quienes adquieren y procesan grandes cantidades de subproductos reciclados, para uso en sus operaciones de manufactura.

Para que un sistema sea sustentable económica y ambientalmente, tiene que alcanzar objetivos que estén ligados a metas ambientales más amplias como pudieran ser la disminución de las tasas de envío de residuos al relleno sanitario y la maximización en el uso eficiente de los recursos.

Las plantas de reciclaje de vidrio que existen en el país no ofrecen resultados satisfactorios. Esto se debe a la dificultad con la que se enfrentan las instalaciones de tratamiento es doble: por un lado su concepción y tecnología proviene fundamentalmente de la minería y los técnicos que la diseñan y manejan son de formación técnico-industrial, sobre todos ingenieros, y la mayoría de las veces desconocedores de la complejidad de los procesos involucrados. Esto provoca que el proceso previo de experimentación y puesta a

punto de las instalaciones sea laborioso y caro, y por ello generalmente brille por su ausencia en nuestro país.

En la clasificación del vidrio se establecen cuatro categorías, las cuales son establecidas por su color.

- Transparente, blanco o flint
- Ámbar o marrón
- Verde
- Azul

El reciclaje es considerado actualmente como una de las mejores opciones para disminuir las cantidades de basura que van a parar a los rellenos sanitarios.

El vertido controlado y la incineración son sistemas que no eliminan sino que esconden o transforman las basuras en algo inútil y perjudicial para el entorno.

Se puede aseverar que el reciclaje de vidrio no solo contribuye a mejorar la economía nacional, a reducir el despilfarro de los recursos naturales, proteger el ambiente y crear fuentes de trabajo dentro de una economía informal, brindando a las clases más desposeídas una oportunidad de ingresos que garanticen sus subsistencia bajo condiciones de salubridad aparte de mejorar sus condiciones educacionales y culturales.

En Venezuela, la recolección para el reciclaje de vidrio se efectúa por dos vías: por la venta, a través de las microempresas de acopio que compran el vidrio a la comunidad o por donación, mediante centros de donación de vidrio ubicados en instituciones educativas, comercios, iglesias, hospitales, etc. En ambos casos éstos llegan a los centros de reciclaje para darles tratamiento, es decir, acondicionarlos para que cumplan con los requerimientos de calidad que les permita incluirlos en la mezcla para hacer nuevos envases.

El vidrio es un material 100 % reciclable, es decir, que todo tipo de vidrio puede ser fundido y convertido en vidrio nuevo un infinito número de veces, sin detrimento de su calidad. Un kilo de envases de vidrio fundido se convierte en un kilo de nuevos envases de idénticas características, sin generar subproductos ni residuos; esto hace que el reciclaje de vidrio sea un ciclo cerrado perfecto.

El vidrio triturado o calcín además de ser empleado en la fabricación de nuevos envases puede ser utilizado en la fabricación de:

- Glasphalt
- Materiales de edificación y construcción
- Pintura reflectante para señales viales
- Aislamiento de lana de vidrio
- Postes para cables telefónicos y para vallas
- Enmiendas de suelo para mejorar el drenaje y la distribución de la humedad
- Arena artificial para la restauración de playas

- Fibra de vidrio
- Abrasivos
- Materiales asociados con la industria textil.

El sistema utilizado en las empresas dedicadas a la trituración de vidrio no es el más eficiente debido a que el lavado del cullet es por vía húmeda y el transporte del mismo en las diferentes etapas de clasificación emplea en su totalidad bandas transportadoras. Hoy en día, todos estos procesos se realizan de forma vertical y por vía seca.

Las trituradoras de martillos se basan en el principio de transformación de la fuerza viva del golpe en trabajo de trituración, que constituye el resultado de la compresión del cuerpo más allá del límite de elasticidad.

El uso de máquinas trituradoras de vidrio nos permite reducir el tamaño de los envases a un tamaño más adecuado para su comercialización y posterior utilización en las industrias vidrieras.

En el diseño propuesto se toma en cuenta las características técnicas del vidrio al momento de escoger el material que va a estar en contacto con el cullet para darle una mayor vida útil a los martillos y la carcasa.

La máquina trituradora de envases de vidrio estará protegida en su interior con chapas de aceros la marca CRONOX para evitar el desgaste por abrasión del vidrio.

La carcasa de máquina será soldada empleando electrodos AWS-E-6010 de las placas de acero AISI 4140 y de espesor de 2 cm. La soldadura será tipo filete y de un ancho de cara de 10mm.

Los martillos son de fácil remoción e instalación, debido a que estos sufren mucho desgaste y cada cierto tiempo tienen que ser cambiados.

La criba a utilizar tiene un tamaño de malla de 12,5 mm y cumple con las especificaciones exigidas para entrega del producto por parte de las compañías recicladoras.

La realización del diseño y la posible construcción de la máquina de triturado de envases en Venezuela pueden generar ingresos y trabajo directo como indirecto a muchas personas que participen en la actividad del reciclaje.

Los costos de manipulación y vertido de basura por parte de las alcaldías serán menores si se apoyan proyectos en el área de diseño de máquinas para las industrias del reciclaje.

La tasa de interna de retorno (TIR) da un valor de 30 % y el VPN da mayor que cero lo cual hace factible el proyecto económico.

Es necesaria la implantación de un plan nacional de reciclaje por parte del Ejecutivo Nacional y las comunidades con el fin de mejorar nuestra calidad de vida.

RECOMENDACIONES

- Los requisitos básicos para emplear envases de vidrio usados en la fabricación de envases de vidrio nuevos es que deben estar limpios, libres de tapas y anillos metálicos, y lo que es aún más importante, debe estar seleccionado por colores.
- La separación manual no es un método recomendado porque presenta problemas de salud y seguridad, se recomienda colocar todos los dispositivos para separación de chapas tanto plásticas como metálicas.
- Se necesita una estrategia regional para que los sistemas se beneficien de las economías de escala, mediante la colaboración entre autoridades de comunidades vecinas, en lugar de que cada población tenga instalaciones para recuperar materiales sin considerar su viabilidad económica.
- El reciclaje dentro de un sistema de manejo integral de residuos sólidos puede ser promovido mediante el uso de indicadores de desempeño, en lugar de metas obligatorias. El progreso de un indicador de desempeño se calcula a partir de la suma de toneladas recuperadas en esquemas regionales. Esta estrategia refleja la realidad operacional en las diferentes localidades y no trata de forzar la recuperación fijando metas obligatorias nacionales que localmente no pueden ser benéficas desde los puntos de vista ambiental o económico. Esta estrategia permitiría al país en su conjunto aprender y construir a partir de los éxitos de esquemas locales.
- Incrementar la demanda y, por lo tanto, el precio de materiales secundarios a través del desarrollo de nuevos usos de materiales reciclados, puede resultar en incrementos de tasas de reciclaje derivadas del mercado. Hasta que esto ocurra, la recuperación debe llevarse a cabo por otros medios que sean más viables económicamente, dentro de una estrategia de manejo integral de residuos sólidos, como pudiera ser la recuperación de energía. De esta manera, el mercado y una estrategia de manejo integral de residuos sólidos trabajarán juntos para alcanzar las tasas de reciclaje económica y ambientalmente sustentables.
- Se debe establecer un fondo para la investigación aplicada, así como la inversión por parte de la pequeña y mediana industria en actividades de reciclaje de residuos, sugiriéndose las categorías que se mencionan a continuación:
 - Planeación sobre gestión integral de los residuos sólidos.
 - Equipamiento para plantas de recuperación de recursos y reciclaje.
 - Desarrollo de mercados de subproductos reciclables.
 - Concientización pública, captación y enseñanza.
 - Centros de acopio poblacionales y estaciones de transferencia en las que se seleccionen materiales reciclables.

- Las operaciones dentro de cualquier sistema de manejo de residuos están claramente interconectadas. Por ejemplo, los métodos de recolección empleados pueden afectar la recuperación de materiales o la producción que tenga un mercado. De manera similar, la recuperación de materiales del flujo de residuos puede afectar la viabilidad de esquemas de recuperación de energía. Por lo tanto, es necesario considerar el sistema de manejo de residuos en su totalidad, de una manera integral.
- Se recomienda la construcción por parte de la industria del reciclaje y puesta en marcha de esta propuesta realizada en este trabajo de grado tomando en cuenta todos los aspectos técnicos utilizados para diseñar la trituradora de envases.

BIBLIOGRAFÍA**• Libros**

1. ADAN, Asociación para la Defensa Del medio Ambiente y la Naturaleza “Reciclaje una alternativa ambientalista” Colección reciclaje, Venezuela, 1.992, 105-111 pág.
2. ALFONSO, I., “Técnicas de Investigación Bibliográficas”. 2ª Edición, Contexto-Editores, Caracas, Venezuela, 1.984. 208 pág.
3. AVALLONE, E. y Baumeister, T., “MARKS. Manual del Ingeniero Mecánico”, 9ª Edición, Mc Graw-Hill, México, 1.997, 2.200 pág.
4. BACHMANN, A., Forberg, R., “Dibujo Técnico”. 2ª Edición Editorial Labor, España, 1.968, 196 pág.
5. BRESLER, B., “Diseño de Estructuras de Acero”. 3ª Edición. Editorial Limusa, Estados Unidos de América, 1.978, 926 pág.
6. BROWN, F., “Principios de Redacción”, 2ª Edición, Ediciones ABCD, Caracas, Venezuela, 1.985, 326 pág.
7. Catálogo 1.135 R, “JEFFREY SCREW CONVEYORS”, Estados Unidos de América, 1.990, 78 pág.
8. CEMPRE., “Lixo Municipal Manual de gerencia Integrado”, CEMPRE IP, Brasil, 1.999, 1-10 pág.
9. CORCIO M. Pascual, “Estadísticas ambientales de Venezuela”, Oficina Central de Estadística e Informática, dirección de estadísticas sociales y demográficas, Caracas, 1999, 200 pág.
10. CORRIPIO, F., “Diccionario Práctico de Sinónimos y Antónimos”, Ediciones Larousse, España, 1.988, 420 pág.
11. ECO, U., “Cómo se Hace una Tesis”, Ediciones Gedisa, Argentina, 1.982, 129 pág.
12. Engienering materials Handbook, “Ceramics and glasses”, Powder technology Handbook , ASM, 1.991, E.U.A , 181-185 pág.
13. ERNEST, H., “Aparatos de Elevación y Transporte”. Editorial Blume, España, 1.972, volumen I.
14. FAIRES, M., “Diseño de Elementos de Máquinas”, Editorial Montaner y Simón, España, 1.970, 623 pág.
15. FITZGERALD, A., “Fundamentos de Ingeniería Eléctrica, Circuitos, Máquinas, Electrónica y Control”. 2ª Edición, Mc. Graw-Hill, Estados Unidos de América, 1.965, 1.156 pág.
16. FOX R. W. y McDONALD A.T., “Introducción a la mecánica de los fluidos”, 2ª Edición, McGraw-Hill, México, 1989, 750 pág.
17. FUNDACOMUN “Ciclo de conferencias, El reciclaje de los residuos sólidos”, ASOVIR, Caracas, 1.986, 2-31 pág.
18. GÓMEZ A., E. y Rachadell E., F., “Manejo de Materiales”, Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Industrial, Venezuela, 2.000, 452 pág.
19. I.N.E, Instituto Nacional de Estadística e Informática, “Estadísticas ambientales de Venezuela 1999”, INE, 1.999, Venezuela , pág 1-70.
20. JOHNSTON, B., “Diseño Básico de Estructuras de Acero”. 2ª Edición, Prentice Hall Hispanoamericana, México, 1.988, 826 pág.

21. JUNKOUSKY, N, "Converting Crushing Washing and Machinery", Editorial MIR , 1.966,Mocu, 9-41 pág.
22. JUVINALL, Robert C., "Fundamentos de diseño para ingeniería mecánica". 2ª Edición, Limusa, México, 1996, 821 pág.
23. KEISHI, Gotoh, "Crushing and Grinding", Powder technology Handbook, editorial Marcel Dekker, Inc, 1.997,New York, 545-553 pág.
24. KELLY G. Errol, "Introducción al procesamiento de minerales". Editorial Noriega Editores, 1986, 923 pág.
25. KINGERY W. D. "Introducción a la cerámica". Cambridge, Massachusetts, 1975, 1757 pág.
26. KIRK, Othmer, "Reciclado", Enciclopedia temática de química, 1.999, México, 1208-1235 pág.
27. LIPSON, Charles., "Importancia del desgaste en el diseño", Centro Regional de Ayuda Técnica, México, 1.970, 11-49 pág.
28. MARTINEZ, A., "Criterios Fundamentales para Resolver Problemas de Resistencia de Materiales", Ediciones Equinoccio, Venezuela, 1.985, 587 pág.
29. MC HARRY, Jan, "Reducir Reciclar Reutilizar", Ángel Muñoz editor, 1.994,España , 117-251 pág.
30. MORA, Pedro, "Basura y Reciclaje", Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (M.A.R.N) , 1.996,Caracas , 34-36 pág.
31. MOTT, R., "Diseño de Elementos de Máquinas", 2ª. Edición, Prentice Hall Hispanoamericana S.A., México (DF), 1.995, 787 pág.
32. NIEMANN, G., "Tratado Teórico-Práctico de Elementos de Máquinas", Editorial Labor S.A., España, 1.967, 652 pág.
33. NORTON, R., "Diseño de Maquinaria", Editorial Mc. Graw-Hill, México, 1.995, 816 pág.
34. SARMIENTO, Giormar, "Reciclaje una solución a nuestro alcance", pachancma art-Ecovillage Network of the America ,Caracas, Venezuela, 1.970, 5-41 pág
35. SEIB, J., "Maquinas de Elevación Y Transporte", Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de ingeniería Mecánica, Caracas, Venezuela, 1.974, 624 pág.
36. SHIGLEY, J. y Mischke C., "Diseño en Ingeniería Mecánica" 5ª Edición, McGraw Hill, México, 1.997, 883 pág.
37. TAHA, H., "Investigación de Operaciones", 2ª Edición, Editorial Alfaomega, México, 1.991, 986 pág.
38. TARGHETTA A., "Transporte y Almacenamiento de Materias Primas en la Industria Básica",. Editorial Blume, España, 1.970, 489 pág.
39. TIMKEN "Service catalog". TINKEN Company, Canadá 2003.
40. VIRGIL, Samuel,"Gestión Integral de Residuos sólidos",Editorial MG Craw Hill ,México, 1.998, 828-832 pág
41. WILLIAMS & HARRIS., "Diseño de Estructuras Metálicas". 7ª Edición, Compañía Editorial Continental, México, 1.973, 795 pág.
42. WILSON C. David., "Waste management planning, evaluation, technologies". Oxford University Press, New York, United States, 1981, 600 pág.

- **Trabajos Especiales de Grado**

1. ÁLVAREZ L, Jorcy y TATA T, Horacio A ., “Diseño de una planta y selección de equipos para trituración de materia natural para obtener agregados para la construcción civil y otros usos industriales”, Universidad de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica, Venezuela, 2.003, 56-87 pag.
2. AMORICUA .A. Cesar, “Diseño de un sistema que permite recuperar botellas del tipo no-retornable”. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica, Venezuela, 1991, 36-45 pág
3. CASTILLEJO Miguel, “Estabilidad de taludes en macizos de residuos sólidos urbanos”. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Departamento de Minas, Escuela de Geofísica, trabajo de ascenso a la categoría de asociado, Marzo 2004,. 77-79 pág

- **Páginas Web:**

<http://www.aeat-env.com/rau/A1GLASS.pdf>

http://www.alcanpackaging.com/news/eng/PDF/Alcan_Pack_VAW_SPA.pdf

<http://www.bellapart.com/images/fitxes/Estabilidad%20post.pdf>

<http://www.britglass.co.uk/Education/Links.html>

<http://www.britglass.co.uk/Education/Links.html>

<http://www.britglass.co.uk/Files/LocalAuthorities/RecyclingCode.pdf>

<http://www.britglass.co.uk/Files/Recycling/5ReasonsToRecycleGlass.pdf>

<http://www.ceamse.gov.ar/abre-biblioteca.html>

<http://www.ceit.es/Asignaturas/Ecologia.html>

<http://www.ceit.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/13Residu/110ReSolUrb.htm>

<http://www.cepis.ops-oms.org/>

<http://www.cepis.ops-oms.org/>

<http://www.ecovidrio.es/app/GeneraPaginas.asp?seccion=LinksDeInteres.asp>

<http://www.ecovidrio.es/app/GeneraPaginas.asp?seccion=Normativa.asp>

<http://www.epa.gov/epaoswer/general/espanol/4-6span.pdf>

<http://www.fagor.com/es/productos/muebles/pdf/catalogo.pdf>

http://www.fi.uba.ar/materias/6716/Traccion%20compresion_1_EI.pdf

<http://www.green-networld.com/tips/glass.htm>

<http://www.mma.es/educ/ceneam/07audiovisuales/05internet/inter2002/ecovidrio.htm>

<http://www.natick.info/greenpages.html>

<http://www.oidv.html>

http://www.oregonlink.com/recycle/handbook/16recyc_whereto.html

<http://www.uca.edu.sv/deptos/ccnn/dlc/pdf/compost.pdf>

http://www.vitro.com/vitro_corporativo/docs/espanol/julio1003.pdf

<http://www.waukeshacounty.gov/recycling/education/EICirculoBrochure%20.pdf>

ANEXOS

ANEXO I

NORMAS VENEZOLANA PARA VIDRIO

- COVENIN 1659-1980, 11 p. (C). CT 16/SC5. Envases de vidrio. Coronas de cierre por giro. Dimensiones.
- COVENIN 2515:1998, 11 p. (C). CT 16/SC5. Pasta coloreada usada en la decoración de envases de vidrio.
- COVENIN 2719-1990, 31 p. (D). CT 3/SC2. Vidrios de seguridad para edificaciones. Requisitos.
- COVENIN 0049:1982, 21 p. (D). CT 16/SC5. Envases de vidrio. Defectos.
- COVENIN 0539:1978, 11 p. (C). CT 16/SC5. Método de ensayo para determinar la resistencia de los envases comerciales de vidrio a la presión hidrostática.
- COVENIN 0582:1978, 7 p. (B). CT 16/SC 5. Método de ensayo al choque térmico para envases de vidrio.
- COVENIN 0584:1978, 7 p. (B). CT 16/SC5. Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión axial en los envases de vidrio.
- COVENIN 1361:1979, 11p. (C). CT 16/SC 5. Método de ensayo para determinar la resistencia hidrolítica de los envases de vidrio.
- COVENIN 1654:1980, 6 p. (B). CT 16/SC 5. Método de ensayo para determinar la transmisión luminosa de los envases de vidrio.
- COVENIN 1655:1989, 11 p. (C). CT 16/SC 5. Ampollas de vidrio. Dimensiones.
- COVENIN 1656:1988, 12 p. (C). CT 16/SC 5. Ampollas de vidrio.
- COVENIN 1657:1980, 11 p. (C). CT 16/SC 5. Viales de vidrio para uso farmacéutico. Dimensiones.
- COVENIN 1658:1988, 11 p. (C). CT 16/SC 5. Viales de vidrio para uso farmacéutico.
- COVENIN 2084:1988, 21 p. (D). CT 16/SC 5. Envases de vidrio. Tapas metálicas tipo cierre por giro.
- COVENIN 2085:1988, 11 p. (C). CT 16/SC 5. Envases de vidrio para la industria farmacéutica.
- COVENIN 2086:1983, 14 p. (C). CT 16/SC 5. Envases de vidrio boca ancha con corona intercambiable. Dimensiones.
- COVENIN 3501:1999, NTC 3536:1993, 12 p. (C). CT 29/SC 4. Utensilios de vidrio y vitrocerámica en contacto con alimento. Liberación de plomo y cadmio. Límites permisibles y método de ensayo.
- COVENIN 0049: 2002, 8 p. (B). CT 16/SC 5. Envases de vidrio. Clasificación de los defectos.
- COVENIN 0925:2003, 11 p. (C). CT 16/SC 5. Envases de vidrio. Determinación de la capacidad de llenado.

ANEXO II

NORMAS ASTM PARA VIDRIO

- ASTM C 147 – 76. Internal pressure test on glass containers.
- ASTM C 148 – 77. Standard Methods of polariscopic examination of glass containers.
- ASTM C 149 – 77. Thermal shock test on glass containers.
- ASTM C 158 – 80. Standard Methods of flexure testing of glass (determination of modulus of rupture).
- ASTM C 162 – 80. Standard Definitions of Terms Relating to glass and glass products.
- ASTM C 169 – 80. Standard Methods for chemical analysis of soda-lime and borosilicate glass.
- ASTM C 204 – 46. Fineness of Portland cement by air permeability apparatus.
- ASTM C 218 – 68. Analyzing stress in glass.
- ASTM C 224 – 78. Standard Method of sampling glass containers.
- ASTM C 225 – 73. Standard Test Methods for resistance of glass containers to chemical attack.
- ASTM C 336 – 71. Annealing point and strain point of glass by fiber elongation.
- ASTM C 338 – 73. Softening point of glass.
- ASTM C 368 – 77. Standard Test Method for impact resistance of ceramic tableware.
- ASTM C 598 – 72. Annealing point and strain point of glass by beam bending.
- ASTM C 623 – 71. Young's modulus, shear modulus, and Poisson's ratio for glass and glass-ceramics by resonance.
- ASTM C 657 – 78 D – C. Volume resistivity of glass.
- ASTM C 729 – 75. Density of glass by the sink-float comparator.
- ASTM C 730 – 75. Knoop indentation hardness of glass.
- ASTM C 770 – 77. Glass stress-optical, coefficient measurement of.
- ASTM C 829 – 81. Liquidus temperature of glass by the gradient furnace method, measurement of.
- ASTM C 965 – 81. Measuring viscosity of glass above the softening point.

ANEXO III

GLOSARIO

Aerobio: Un proceso o condición bioquímica que tiene lugar en presencia de oxígeno.

Anaerobio: Un proceso bioquímico o condición que tiene lugar en ausencia de oxígeno.

Banco de botellas: Un contenedor móvil y dividido utilizado para recibir, almacenar y transportar recipientes de vidrio para su reciclaje.

Basuras: Residuos sólidos putrescibles (excluyendo a las cenizas), que contienen materiales residuales combustibles y no combustibles.

Basurero: Un lugar donde se depositan residuos mezclados de forma indiscriminada y sin control o respeto a la protección del medio ambiente.

Beneficio: En reciclaje, el proceso mecánico de separar contaminantes y de limpiar recipientes viejos de vidrio. Originalmente, un término de la industria minera para el tratamiento de un material con el fin de mejorar su forma o propiedades, como, por ejemplo, triturar el mineral para separar impurezas.

Biodegradable: Una sustancia o material que puede transformarse en compuestos más sencillos mediante la acción de bacterias u otros descomponedores, tales como los hongos.

Biomasa: Cualquier materia orgánica (madera, agrícola o vegetal); los componentes clave son el carbono y el oxígeno.

Btu: Unidad para medir la cantidad de energía contenida en un material dado. Técnicamente, 1 Btu es la cantidad de calor requerida para subir la temperatura de una libra de agua un grado Fahrenheit.

Calcín: Chatarra de vidrio fragmentado, acondicionado o no, para su fundición.

Calcín externo: Un término de la industria del vidrio empleado para el calcín suministrado a un productor desde una fuente exterior.

Calidad ambiental: Es la salud global de un ambiente determinado mediante la comparación con una serie de estandarizaciones.

Carbonitruración: También llamado cianuración gaseosa, pues consiste en lo mismo, sólo que el tratamiento se da en una atmósfera de gases apropiados.

Cementación: Consiste en agregar carbono a la superficie del acero, a una temperatura adecuada. Se consigue una gran dureza superficial.

Centros de acopio: Lugares donde se recibe, se compra o se paga el material reciclable segregado para ser procesado parcialmente y luego ser transportado a las instalaciones de reciclaje o almacenaje.

Centro de reciclaje: Un lugar a donde se llevan los artículos reciclables para su procesamiento.

Cianuración: Es un tratamiento intermedio entre la cementación y nitruración. Consiste en la absorción superficial de C y N₂, a una temperatura determinada. Se emplea para endurecer aceros a bajo contenido de carbono.

Compost: Es un material húmico relativamente estable, resultado de la descomposición o degradación biológica de materiales orgánicos.

Compostaje: Es la descomposición biológica controlada de residuos sólidos orgánicos bajo condiciones aerobias. Los materiales de los residuos orgánicos se transforman en enmiendas de suelo, como, por ejemplo, humus o mulch.

Criba vibradora: Un dispositivo mecánico que selecciona material según su tamaño.

Cromado duro: Consiste en depositar sobre la superficie del acero, electrolíticamente, una capa de cromo, lo que le da una gran resistencia al desgaste.

Desechable: Algo diseñado para un solo uso y tirado después.

Ecosistema: Un sistema formado por una comunidad de seres vivos y el ambiente físico y químico con el que interactúan.

Envase: Un recipiente o cobertura flexible para el transporte de bienes.

Envase, embalaje: Cualesquiera de los diversos plásticos, papeles, cartones, metales, cerámicas, vidrios, maderas y cartones ondulados utilizados para fabricar recipientes de comida y productos domésticos e industriales.

Gestión de residuos: Una práctica que consiste en utilizar técnicas alternativas para gestionar y evacuar componentes específicos dentro del flujo de residuos sólidos urbanos. Las alternativas en la gestión de residuos incluyen: reducción de origen, reciclaje, compostaje, recuperación de energía y vertido.

Humus: La porción orgánica del suelo que proporciona nutrición para la vida vegetal; una sustancia oscura que es el resultado de la descomposición parcial de la materia vegetal y/o animal.

Iglú: Un contenedor semiesférico utilizado en los centros de recolección selectiva para recibir y almacenar materiales reciclables domésticos, tales como recipientes de vidrio y metal.

Incineración: Un proceso tecnológico que implica la quema o combustión para degradar térmicamente materiales residuales. Las incineradoras deben cumplir las normas de aire

limpio. Este proceso se utiliza especialmente para los residuos orgánicos. Los residuos se reducen mediante oxidación y normalmente sostendrán el proceso de combustión sin emplear combustible adicional.

Lixiviados: Líquido que se ha filtrado a través de los residuos sólidos u otros medios y que ha extraído, disuelto o suspendido materiales a partir de ellos, pudiendo contener materiales potencialmente dañinos. La recolección de los lixiviados y su tratamiento es de una importancia primordial en los vertederos de residuos urbanos.

Materiales recuperados: Son aquellos materiales con un potencial de reciclaje conocido, que pueden reciclarse viablemente y que se han desviado o separado del flujo de residuos para su venta.

Materias primas: Sustancias que permanecen todavía en su estado natural u original, antes de ser sometidas a un procesamiento o proceso de fabricación; los materiales primarios de un proceso de fabricación.

Metales férreos: Cualquier chatarra de hierro o acero que tiene un contenido en hierro lo suficientemente grande como para permitir la separación magnética.

Metales no férreos: Cualquier trozo de metal que tenga valor, derivado de metales que no sean el hierro y sus aleaciones en acero, como, por ejemplo: aluminio, cobre, latón, bronce, plomo, cinc y otros metales, y que no se adhiera a un imán.

Metalización: Consiste en proyectar un metal fundido sobre la superficie de otro metal soporte.

Plantas de reciclaje: Lugares donde se lleva a cabo la manufactura de productos reciclados.

Reciclaje: Es el proceso mediante el cual se extraen materiales del flujo de residuos y se reutilizan. El reciclaje, generalmente, incluye: recolección, separación, procesamiento, comercialización y creación de un nuevo producto o material a partir de productos o materiales usados. Comúnmente, reciclaje se refiere a la separación del flujo de residuos de materiales reciclables, tales como: periódicos, aluminio, otros metales o vidrio. Incluye el reciclaje de materiales procedentes de los residuos urbanos, a menudo realizado mediante la separación por parte de los propios individuos o en instalaciones especialmente diseñadas para la recuperación de materiales; reciclaje industrial, dentro de la propia planta, y reciclaje realizado por establecimientos comerciales.

Recocido: Consiste en un calentamiento del acero, seguido de un enfriamiento lento. Se consigue un aumento de la plasticidad, y un ablandamiento del material.

Reducción de tamaño (conminución): Es el proceso por el cual los materiales en partículas se reducen de tamaño utilizando medios mecánicos.

Residuos: Cualquier cosa desechada, inútil o no deseada.

Retornable: Que puede ser devuelto para su depósito y/o reutilización.

Reutilización: La utilización de un producto en más de una ocasión, de la misma forma y para el mismo propósito, por ejemplo, una botella de refresco se reutiliza cuando se devuelve a la embotelladora para rellenarla de nuevo; encontrar nuevas funciones a objetos y materiales que han envejecido para su uso original; usar de nuevo.

Revenido: Consiste en calentar el acero, una vez templado (pero sin alcanzar la temperatura de temple), seguido de un enfriamiento al aire. Con este tratamiento se disminuye la acción del temple, lográndose una características intermedias al del temple y recocido.

Separación en la fuente: Es la recuperación de los materiales reciclables en su punto de origen como por ejemplo: el hogar, comercio, industrias y escuelas.

Separación en origen: Es la segregación de diversos materiales específicos del flujo de residuos en el punto de generación. Por ejemplo, una vivienda que separa papeles, metales y vidrio del resto de sus residuos. La separación en origen facilita el reciclaje.

Temple: Consiste en un calentamiento del acero, seguido de un enfriamiento rápido. Se logra con ello un aumento de la dureza y de la resistencia mecánica, pero aumenta la fragilidad.

Tep: Abreviatura equivalente de petróleo. Se utiliza como unidad energética y sirve para comparar la cantidad de energía que contiene un material, como carbón, plástico, agua embalsada, etc. con la que contiene una tonelada de petróleo, es decir que el petróleo se considera como patrón de medida, la unidad. Un tep = 11.678,8 Kwh.

Trituradora: Es un dispositivo mecánico utilizado para romper materiales residuales, convirtiéndolos en trozos más pequeños mediante una acción desgarradora, cizallante, cortante y de impacto.

Vidrio: Es un material inorgánico, no metálico, producido mediante la fusión completa de materias primas a altas temperaturas hasta lograr un líquido homogéneo, el cual se enfría posteriormente hasta alcanzar una condición rígida, esencialmente, sin llegar a la cristalización.

Vidrio soda-cal-silicato: Es un vidrio en el cual los principales componentes son normalmente los óxidos de sodio, calcio y silicio.

ANEXO IV

1. Manual de operación de la trituradora de envases

- Para la protección y accionamiento a través de un tablero ubicado en la compañía de reciclaje del motor eléctrico que mueve el rotor se ha colocado un breaker para una corriente de 60 Amp y un voltaje de 220 V.
- Una vez accionada la máquina se debe tener cuidado de tener equipo de seguridad personal tal como: botas de seguridad, lentes de protección y orejeras, debido a que existe mucho riesgo al trabajar con máquinas trituradoras.
- Se debe tener cuidado de alimentar la máquina de manera constante con bandas transportadoras para no sobre cargar el motor eléctrico o trabar el rotor. No se debe tratar de alimentar manualmente la máquina ya que existe riesgo de que algún operador caiga hacia el interior de la máquina produciendo su muerte.
- En caso de falla eléctrica no trate de acercarse a la máquina si la misma aun esta energizada, recuerde que esta máquina trabaja con alta tensión y puede ser mortal recibir una descarga.
- Una vez terminada la operación de triturado de envases de vidrio es necesario limpiar el interior de la máquina para evitar desgaste por acumulación de sílice en el eje o el rotor.
- Si se intenta un reemplazo de alguna hilera de martillos desgastada por abrasión se debe desconectar la corriente por medio del breaker para luego retirar la tapa superior y proceder a su reemplazo. Para retirar la tapa superior es necesario retirar primero los tornillos ubicados en ella. Una vez realizado el retirado de la tapa superior se procede al retirado de la chapa de sujeción ubicada en el rotor, esto se logra retirando los pernos que están en su superficie, finalmente antes de jalar la hilera de martillos se debe sujetar el eje para que no gire cuando se intente esta operación.
- No se debe mezclar vidrio de diferente color de una operación de triturado para otra debido a que se contamina el vidrio saliente y causa mezcla irregular de colores en los nuevos envases, si se va a trabajar con varios colores se tiene que lavar el interior de la máquina primero para asegurarse de que no exista residuos y luego se procede a triturar un nuevo color.
- Cada vez que se termine una jornada de trabajo se debe verificar el estado de la criba y de existir agujeros mayores a los estandarizados se debe reemplazar por otra nueva criba.

- Se debe verificar las correas para que no exista entre la banda y la polea partículas de polvo, sílice y suciedad debido a que conducen a un desgaste acelerado de ambas.
- No es aconsejable exceder la carga de alimentación de la máquina a causa de que los elementos de máquinas que estén unidos al rotor como lo son las bandas presentan deslizamientos y estos conducen a una más rápida rotura por fatiga, y a una elevación de temperatura y la consiguiente pérdida de resistencia.

2.0 Manual de mantenimiento de la trituradora de envases

2.1 Mantenimiento primer nivel

Este corresponde a las actividades que realizan sobre los equipos en su ubicación productiva. Las operaciones de mantenimiento de primer nivel suelen ser intervenciones sencillas de bajo nivel de experiencia. Como ejemplo tenemos: operaciones de lubricación menor, restitución de las protecciones de seguridad y limpieza interior.

2.1.1 Rodamientos

Se debe al menos una vez al mes lubricar las chumaceras y supervisar que no exista la intromisión de partículas de sílice y de polvo que puedan desgastar los rodamientos. La inclusión de polvo y suciedad en el momento de operación producen desgaste de los elementos rodantes y de los caminos de rodadura. Ello hace que los elementos rodantes queden más sueltos y el rodamiento se hace ruidoso. La acción de pulido se incrementa rápidamente, pues los nuevos productos del desgaste actúan como nuevo material abrasivo.

Se debe verificar el claro o juego que existe entre la carcasa del rodamiento y los rodamientos y ver si cumple con el estándar mínimo para su funcionamiento. Las vibraciones, tanto del árbol como de la carcasa, provocan también el fallo de los rodamientos por el fenómeno de fretting (desgaste producido por microdeslizamientos repetidos, acompañados de corrosión). Este fenómeno se produce usualmente entre los anillos de sujeción y el árbol o la carcasa, con los efectos y mecanismos ya conocidos. Sin embargo, también se puede presentar entre los elementos rodantes y los caminos de rodadura, en los cojinetes no giratorios, debido a que las vibraciones producen pequeños desplazamientos de las bolas o rodillos, barriendo el lubricante e iniciando un desgaste localizado, al que sigue la corrosión.

La grasa que debe estar dentro de la chumacera y el rodamiento debe ser pastosa y no debe estar endurecida debido a que el endurecimiento de las grasas lubricantes con el paso del tiempo produce un fuerte frotamiento que conduce a un fallo por rayado (desgaste por rozamiento), tanto en los elementos rodantes como en los caminos de rodadura. En el caso de cojinetes de rodillo, el deslizamiento puede verse incrementado si un desgaste previo ha hecho perder el paralelismo entre los ejes de los rodillos y el eje del árbol.

Se debe inspeccionar que no exista el paso de la corriente eléctrica a través de los cojinetes de rodamiento, la cual rota al perderse el contacto entre el elemento rodante y el camino de rodadura, producen pequeños arcos y chispas, elevándose la temperatura y produciendo daños localizados. Uno de los fallos más característicos es la aparición de estrías y hoyos, que a veces alcanzan una profundidad considerable, y que son causas de ruidos, vibraciones y fenómenos de fatiga. Normalmente, los efectos más graves se dan en los caminos de rodadura, aunque también pueden aparecer en los elementos rodantes.

2.1.2 Correas

Se debe verificar que la correa este poco tensada, ya que conduce a un patinamiento (deslizamiento) de la misma sobre la polea. Este fenómeno puede venir acompañado (aunque no siempre) del característico ruido de patinamiento (chirrido de las correas). El deslizamiento conduce a un rápido desgaste de la correa y de la polea, así como una elevación de la temperatura (el desgaste de la polea le hace perder la rectitud de sus flancos, dejándola con forma ahuecada). Un método rápido y sencillo para determinar la existencia de deslizamientos cuando éste no se acompaña de ruido es poner una marca de tiza sobre la correa y la polea y ver si se han desplazado después de un cierto período de trabajo. Este fenómeno, aparte de causar desgastes anormales, puede producir la rotura de la correa.

Igualmente si la correa esta demasiado tensada causa problemas, y comienza la correa a trabajar sobre el límite elástico, y acelerando su rotura por fatiga (además de aumentar su desgaste y el de la polea, generando un calentamiento anormal y perjudicial). También tiene el efecto de sobrecargas los cojinetes de apoyo de las poleas. En el caso de correas dentadas una tensión excesiva, aparte de la sobrecarga de los cojinetes, produce un calentamiento de la correa y de la polea, y una disminución de su resistencia a la fatiga.

Se debe verificar que las correas estén bien alineadas por que de lo contrario los desalineamientos de las poleas y la correa (defectos de paralelismo), conducen a rápidos desgastes de la correa por la zona de sus caras laterales, al ser ésta empujada contra las paredes de la polea. Asimismo, también se desgastan fuertemente las paredes de la polea. Este defecto se presenta en las correas y poleas trapezoidales. En el caso de desalineamientos muy elevados, la correa puede remontarse en la polea y salirse de ella, o incluso ser seccionada la correa.

Se debe inspeccionar que no exista entrada de aceites (con base de hidrocarburos) en la correa, que crea reacciones químicas con la goma de la misma, causando un deterioro en forma de hinchazones (en la zona de contacto con el petróleo) y a su vez quedando la superficie con una apariencia gomosa, pegajosa. Esta situación progresa hacia el interior y destruye la correa (al perder los alambres de acero la rigidez de un soporte).

2.2 Mantenimiento segundo nivel

El mantenimiento de segundo nivel corresponde a las operaciones de mantenimiento correctivo, ejecutadas sobre el equipo en su ubicación productiva, por personal de

mantenimiento. Los trabajos pueden ser sencillos o complejos dependiendo del tipo de equipo. Ejemplos de este tipo de mantenimiento son: cambios de correas desgastadas, sustitución de componentes quemados o que presentan fallas, corrección de mecanismos mecánicos y eléctricos.

2.2.1 Rodamientos

Al remplazar los rodamientos se debe tener en cuenta:

Los abusos antes o durante el montaje pueden causar deterioros de los elementos rodantes, de los caminos de rodadura, de las jaulas y separadores, de las tapas de protección o del exterior de los anillos. Una excesiva presión ejercida desde los anillos sobre las bolas puede ser causa de la abolladura de éstas, produciéndose elevadas sobrecargas y fuertes ruidos durante el funcionamiento posterior (este fenómeno se produce generalmente en pequeños rodamientos que son presionados para ser introducidos, tanto en el árbol como en el alojamiento del bastidor). También los impactos en dirección axial, que fuerzan las bolas contra los caminos de rodadura, producen muescas y hendiduras. Estas hendiduras se distinguen de las producidas por chispas o partículas metálicas por encontrarse igualmente espaciadas según la separación de las bolas. También pueden producirse estas hendiduras en el fondo de los caminos de rodadura, por impactos en dirección radial. Este tipo de hendiduras causan ruidos, vibraciones, hoyuelos (pitting) con todo lo que ello significa posteriormente. Los anillos de sujeción pueden fallar como resultado de desalineamientos del árbol durante la instalación del rodamiento. Lo mismo ocurre con flechas de árbol excesivas. Cuando se presiona el anillo interior sobre el árbol para introducirlo, ambos han de estar perfectamente alineados, pues si no se corre el riesgo de romper el anillo interior.

Inclusión de partículas duras, metálicas, en el momento del montaje, tanto dentro del propio cojinete, como entre éste y el árbol o el apoyo del bastidor. El efecto en el primer caso puede ser el de producir un desgaste abrasivo, o incluso en el caso de partículas metálicas duras, pueden producirse pequeñas depresiones (diferentes de las producidas por sobrecargas o corrosiones), ralladuras, cortes, etc. El pegado de tales partículas a los elementos rodantes o a los caminos de rodadura puede hacer que el anillo interior se deslice sobre el árbol, o el exterior sobre su alojamiento. En todo caso, también son fuentes de roturas por fatiga, ruido, etc. En el caso de partículas duras pegadas al exterior del rodamiento, sus efectos más importantes son los desalineamientos y holguras de sujeción, por imposibilidad de lograr un ajuste correcto.

Incorrecto diseño del montaje del cojinete, para su unión al árbol y al bastidor. Como se sabe, la unión tanto del anillo interior al árbol, como la del exterior al bastidor, se ejecutan por medio de presión (ajuste con interferencia) o por collarines y/o tuercas de sujeción. El tipo de ajuste depende del tipo de carga (radial o axial) y si ésta se aplica sobre el anillo interior o el exterior. En todo caso, los fabricantes de rodamientos dan instrucciones al respecto. En el caso de utilizar collarines de sujeción, éstos no deben exceder en sus medidas los valores recomendados por los fabricantes para evitar contactos de deslizamientos inadecuados. La forma del collarín también debe ser la adecuada para una

correcta fijación, debiendo quedar un pequeño hueco para impedir posibles desajustes por polvo y suciedad. Los collarines demasiado bajos o con radios de acuerdo muy grandes, pueden originar un ladeo del cojinete, o incluso un doblado del árbol. En el primer caso, se producirá un sobrecalentamiento del cojinete con cargas adicionales en los elementos rodantes y caminos de rodadura, con los consiguientes aumentos de la vibración y del ruido. En el segundo caso, se producirán sobrecargas en el árbol. Los collarines demasiado altos conducen a desgastes y distorsiones en las placas de obturación o protección de los cojinetes (por otro lado, si el collarín del árbol es demasiado alto será imposible aplicar la prensa para extraer el cojinete, en el caso que sea preciso y que éste esté calado a presión).

Es importante seleccionar el lubricante correcto (con una viscosidad adaptada al trabajo del rodamiento) y saber la forma en que se tiene que hacer la lubricación una vez cambiado el rodamiento, sino se producirá una serie de fallos importantes en estos elementos. En general, los fallos por estas causas conducen a calentamientos, desgastes, rotura por fatiga y procesos de oxidación. El exceso de lubricante tiene el efecto de generar un sobrecalentamiento del mismo, debido al fuerte batido y agitación producido por el movimiento de los rodillos. Este sobrecalentamiento disminuye la viscosidad, con lo cual el contacto metálico es más intenso (provocando desgastes, roturas por fatiga, etc). La falta de lubricante, al impedir la formación de película, también incrementa el desgaste e impide eliminar el calor producido. La formación de escamas en las superficies de rodadura y el deterioro de superficies considerables de las mismas es un síntoma claro de fallo por esta causa.

Es importante no contaminar el lubricante o grasa con fluidos corrosivos (agua, ácidos, etcétera) produce un tipo de fallo caracterizado por la aparición de una capa rojizo-marrón y pequeños hoyuelos grabados sobre toda la superficie de los anillos de rodadura (a veces tales efectos no son visibles en los caminos de rodadura – zona de contacto con los elementos rodantes- porque en ella el lubricante es removido constantemente junto con los óxidos producidos). Los óxidos formados actúan como elementos abrasivos, produciendo el desgaste de los elementos rodantes y caminos de rodadura, así como hoyuelos, etcétera, que pueden conducir a la rotura.

Las sobrecargas en servicio son otra de las causas importantes de fallo. Éstas pueden provocar una deformación plástica, tanto de los elementos rodantes como de los caminos de rodadura, con las consiguientes deformaciones geométricas. Uno de los fallos más típicos son las hendiduras y abolladuras que se producen por cargas de impacto. Las cargas anormales y las producidas por desequilibrados excesivos del rotor pueden provocar también el deslizamiento relativo del anillo interior respecto al árbol (o del exterior respecto al bastidor), debido a deformaciones plásticas o elásticas de los anillos (aun cuando el ajuste sea el correcto). El efecto es un desgaste excesivo, tanto en el anillo como en el árbol, pudiendo llegarse incluso a fuertes rayados que posibilitan la rotura por fatiga.

No se debe sobrecargas de montaje o sobre ajustar el montaje. Un ajuste excesivo en el árbol provoca la dilatación del anillo interior y, por tanto, la disminución de la holgura propia del cojinete, con la consecuente sobrecarga de los elementos rodantes. Lo mismo ocurre con un ajuste excesivo del anillo exterior. Si el ajuste es insuficiente se produce

deslizamiento entre el anillo interior y el árbol, produciéndose fenómenos de desgaste, fretting, etc.

Los Desalineamientos y deflexiones del árbol también conducen al fallo de los rodamientos en él montados (aun cuando los rodamientos modernos permiten un cierto nivel de desalineamiento). Tanto este tipo de desalineamiento como los existentes en el apoyo exterior del rodamiento imponen cargas adicionales al mismo, causando sobretensiones y calentamientos, resultando en fallos por fatiga, desgastes excesivos, ruidos, etc. Por lo cual se debe alinear bien el rodamiento y ajustarlo bien a su posición de trabajo.

2.2.2 Correas

Al remplazar las correas se debe tener en cuenta:

Si la operación de montaje de la nueva correa en la polea es incorrecta, forzando la entrada de la correa en la polea, aplacándola. Esto conduce a cortes en el material textil y de goma en su parte exterior, disminuyendo su vida posterior. Si el aplastamiento es muy fuerte pueden romperse algunos de los cordones de acero interiores, lo que conduce a una tendencia a girar la correa sobre su eje longitudinal, atacando la polea en forma incorrecta (retorcida). El apalamiento ocurre no se reduce en la medida conveniente la distancia entre centros de ambas poleas, en el momento de montaje de la correa.

Si se procede a la sujeción incorrecta de las poleas al árbol donde van caladas, de manera que éstas queden ladeadas, esto producirá un mayor desgaste tanto de la correa como de las poleas.

La colocación de una correa nueva en una polea desgastada, que conduce a un rápido desgaste de ésta, con una duración de vida mucho más corta de lo normal. Una polea desgastada hace que la correa no encaje correctamente en su superficie, produciéndose tensiones anormales, patinamientos y calentamientos, etc. Si se presenta el caso en que la polea esta desgastada cuando se procede a colocar una banda o correa nueva, se debe reemplazar la polea también.

Si se coloca una correa que presenta mucha fricción lateral o no acta para la polea esto empieza a generar temperaturas elevadas, que conducen a un endurecimiento de la correa y a la aparición de grietas en la misma. La flexibilidad del tejido de fibra, goma, nylon, etc., se consigue para una temperatura determinada. Temperaturas más altas endurecen el material, y los continuos doblados hacen que éste se cuarteo, se agriete.

No se debe utilizar una correa o banda que posea una velocidad de trabajo más alta de la admisible, porque conduce a un mayor desgaste y a una posible rotura por fatiga de la banda.

Se debe sujetar bien la correa con el tensor debido a que un aflojamiento de los mecanismos tensores de la correa, puede conducir a un aflojamiento de la misma, con los consecuentes patinado de la correa que se traduce en una potencia insuficiente al rotor de la máquina.

2.3 Dimensiones de la máquina trituradora de envases

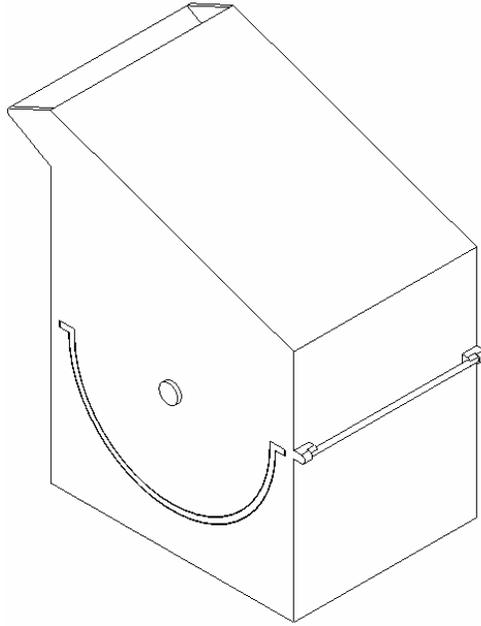


Figura A. Apariencia de la máquina en isometría

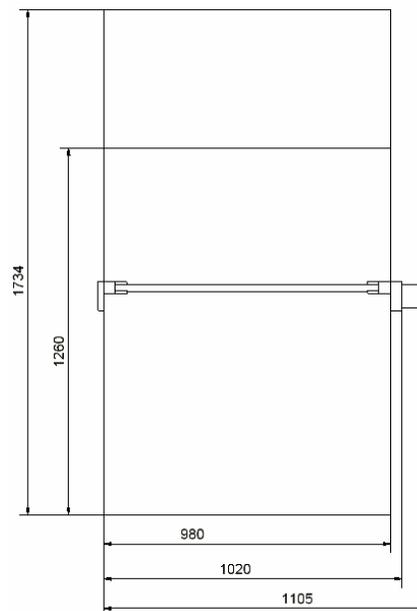


Figura B. Dimensiones frontales de la máquina trituradora

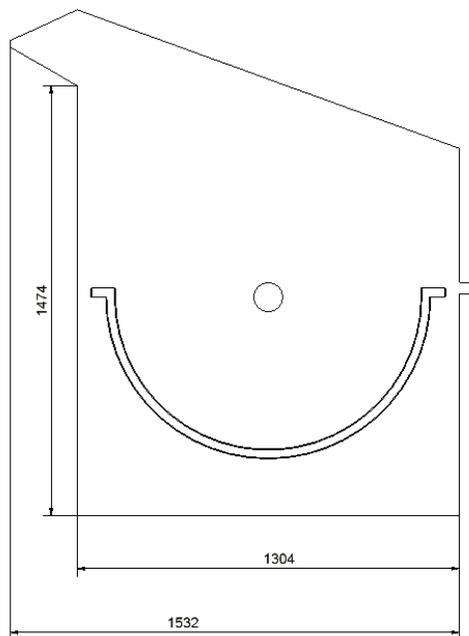


Figura C. Dimensiones laterales de la máquina trituradora

2.4 Características técnicas

- Peso Neto: 3,898 toneladas
- Boca de alimentación: 940x250 mm²
- Velocidad de alimentación: 20 $\frac{\text{ton}}{\text{h}}$
- Superficie exterior: 38,53 m²
- Volumen: 0,54 m³
- Potencia (motor eléctrico): 35 Hp
- Velocidad angular: 1146 rpm
- Forma de operación: intemperie

2.5 Principios de ergonomía

Etimológicamente la palabra ergonomía proviene de los vocablos griegos ergo y nomos, que significa trabajo y leyes involucrado con el conocimiento respectivamente. Es decir se trata de las leyes que rigen el trabajo o el conocimiento que posea sobre el mismo. Puede entenderse también como el estudio de la actividad humana en el trabajo.

La ingeniería ha sido considerada como sinónimo de ergonomía, sin embargo, su definición más clásica plantea que esta disciplina sólo trata de la aplicación de las leyes que rigen los sistemas hombre máquina, mientras que la ergonomía no sólo trata de la aplicación de las leyes sino también de la actividad humana al trabajo.

2.5.1 Objetivos de la ergonomía

Básicamente son dos; el primero es plantear, es decir en la etapa de concepción de un trabajo, a la vez que se plantea el tipo de maquinaria, los materiales que se van a utilizar, la forma de realizar el proceso, la forma de almacenar materias primas y productos terminado, las dimensiones del local de trabajo y los diversos factores ambientales, también es necesario plantear cada una de las dimensiones de ese puesto de trabajo para permitir la adaptación del mismo a las condiciones que posea el trabajador.

El segundo objetivo es corregir, es decir, actuar cuando ya el puesto de trabajo lo está ocupando un trabajador. Con este objetivo se busca, por un lado, disminuir los errores que pueda cometer el trabajador debido a un mal diseño, a un flujo de información inadecuado, a la utilización de instrumentos y materiales que dificultan la concentración, a una ordenación del proceso que conlleva monotonía, etc., y por otro, se trata también de disminuir los riesgos a los cuales está sometido el trabajador y, por lo tanto, tiene que ver con la prevención de accidentes y enfermedades ocupacionales o enfermedades adquiridas por el trabajo. En este objetivo también se busca disminuir los esfuerzos que realiza el trabajador poniendo a su disposición todos los materiales y equipos que permitan ejercer su actividad sin que ello signifique la aplicación de fuerzas excesivas o prolongadas en una jornada de trabajo.

2.6 Criterios de NIOSHA para la determinación del límite de levantamientos de pesos

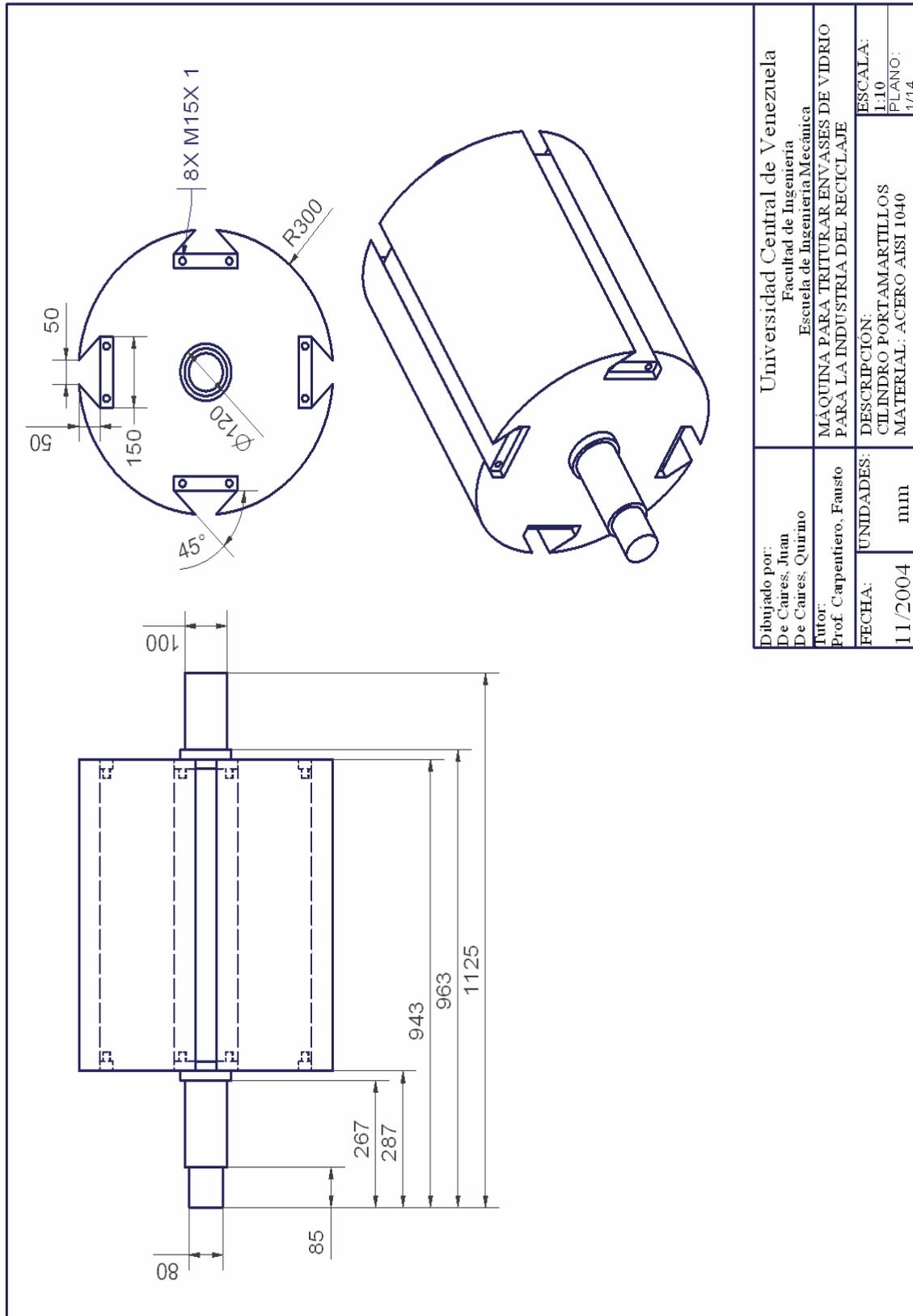
Muchas actividades cotidianas en empresas manufactureras o comerciales consisten en levantar y transportar pesos, objetos de formas regulares e irregulares.

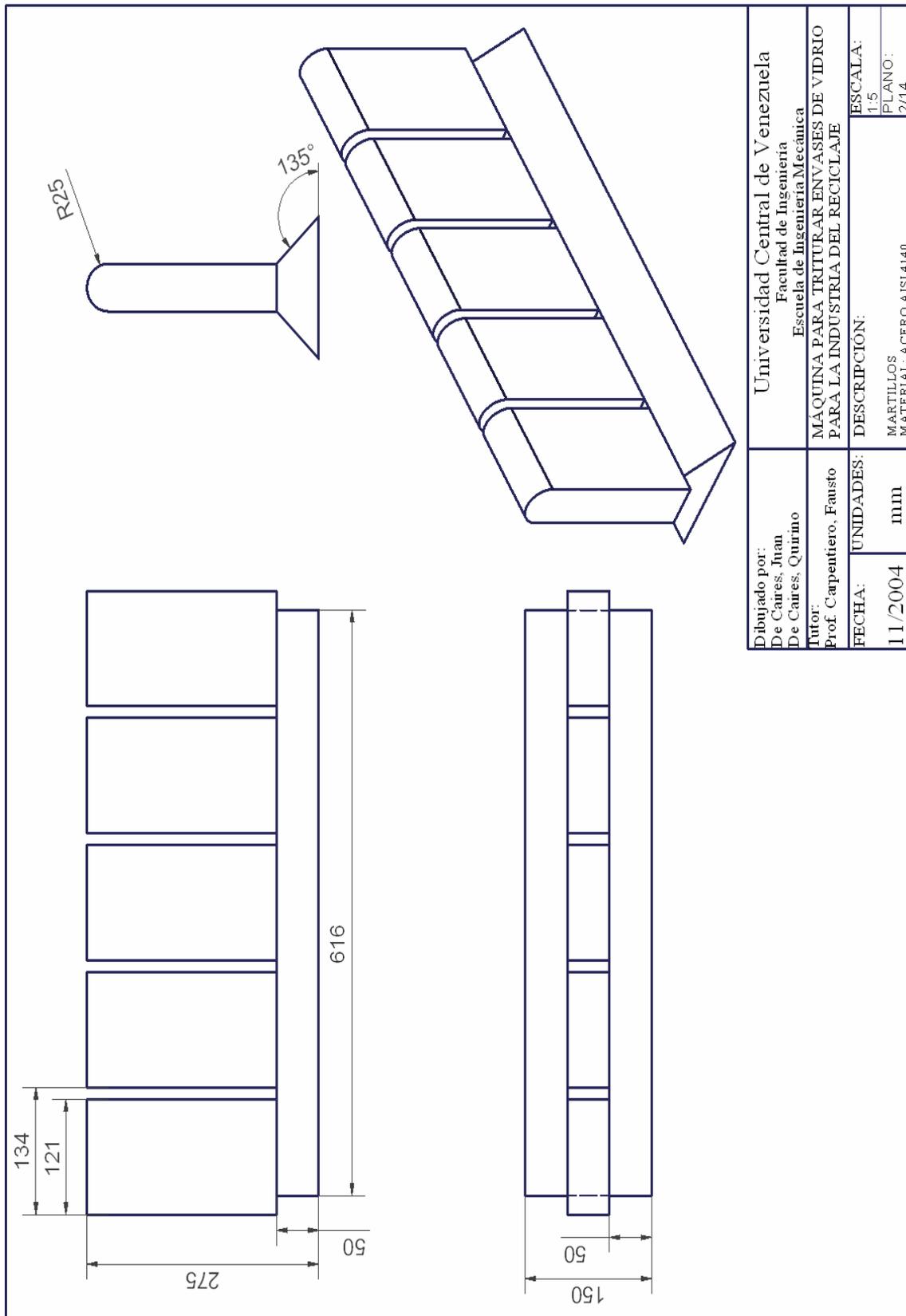
Este criterio permite determinar si una persona de diferentes condiciones se pueda adaptar al remplazo de piezas para realizar mantenimientos en la máquina trituradora de envases y a continuación se exponen estos aspectos:

- Aspecto epidemiológico
- Aspecto biomecánico
- Aspecto psicológicos
- Aspectos filosóficos

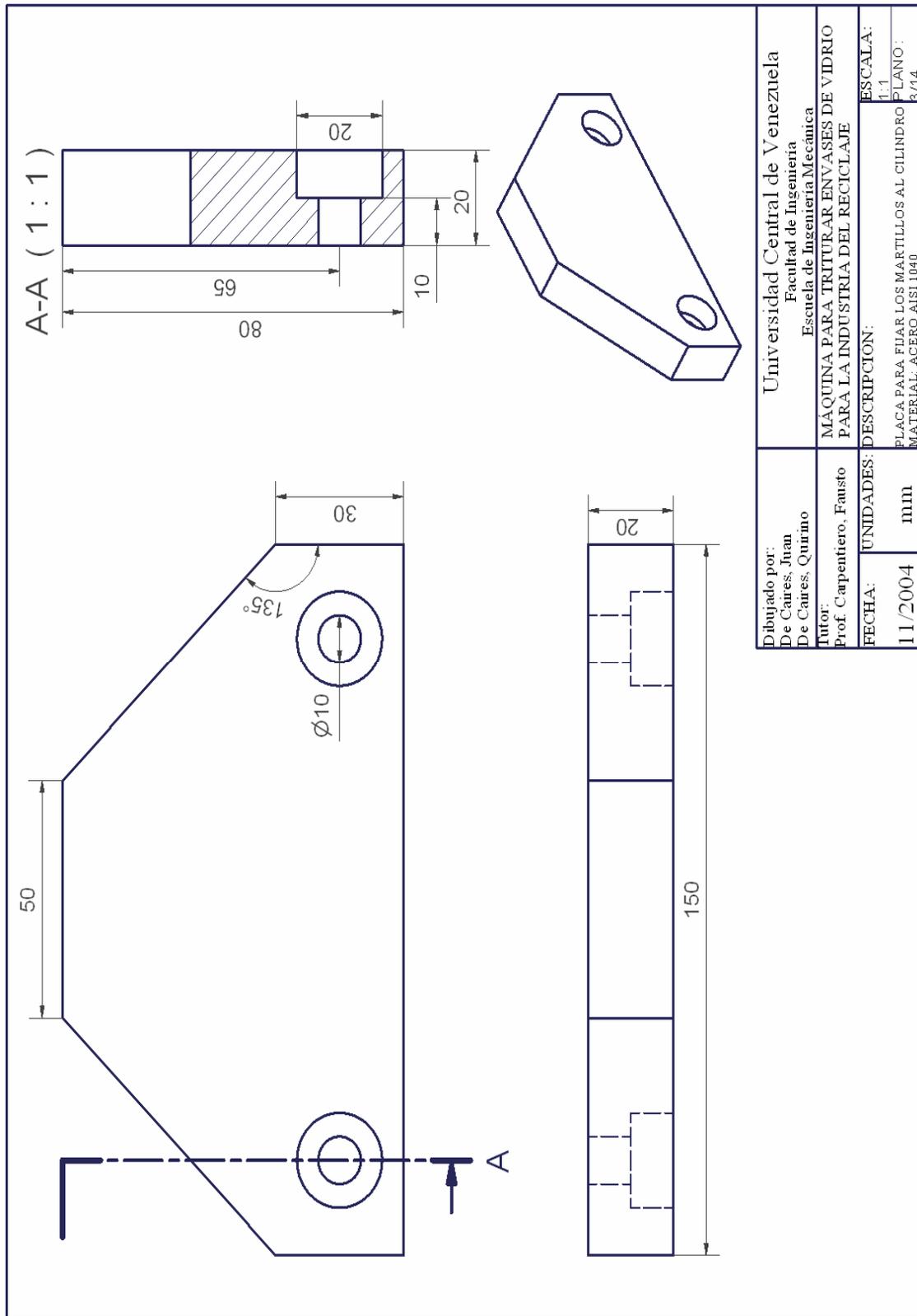
ANEXO V

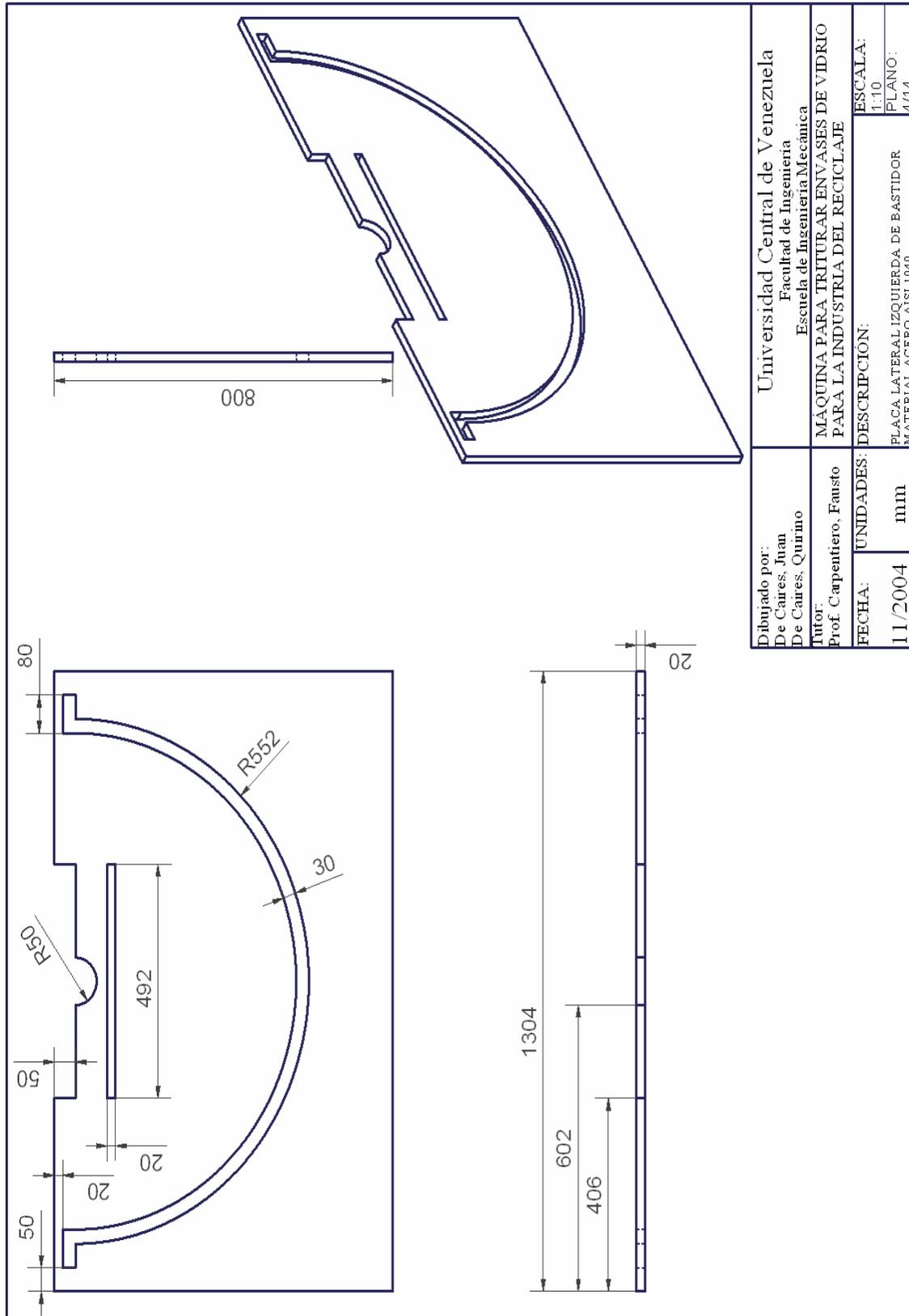
PLANOS DE LA MÁQUINA



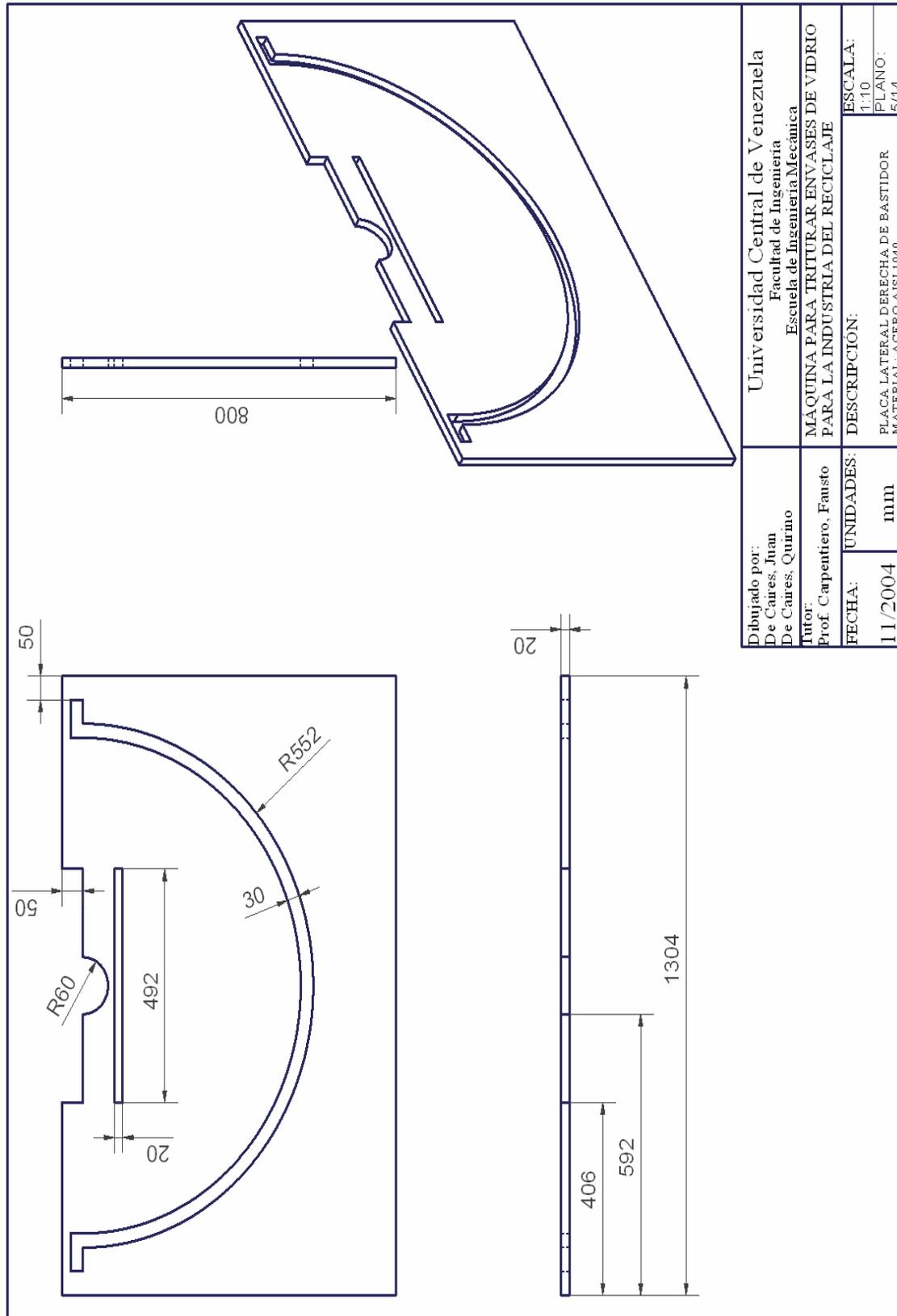


Dibujado por: De Caires, Juan De Caires, Quirino		Universidad Central de Venezuela Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Mecánica	
Tutor: Prof. Carpentiero, Fausto		MÁQUINA PARA TRITURAR ENVASES DE VIDRIO PARA LA INDUSTRIA DEL RECICLAJE	
FECHA:	UNIDADES:	DESCRIPCIÓN:	ESCALA:
11/2004	mm	MARTILLOS MATERIAL: ACERO AISI 4140	1:5 PLANO: 2/14

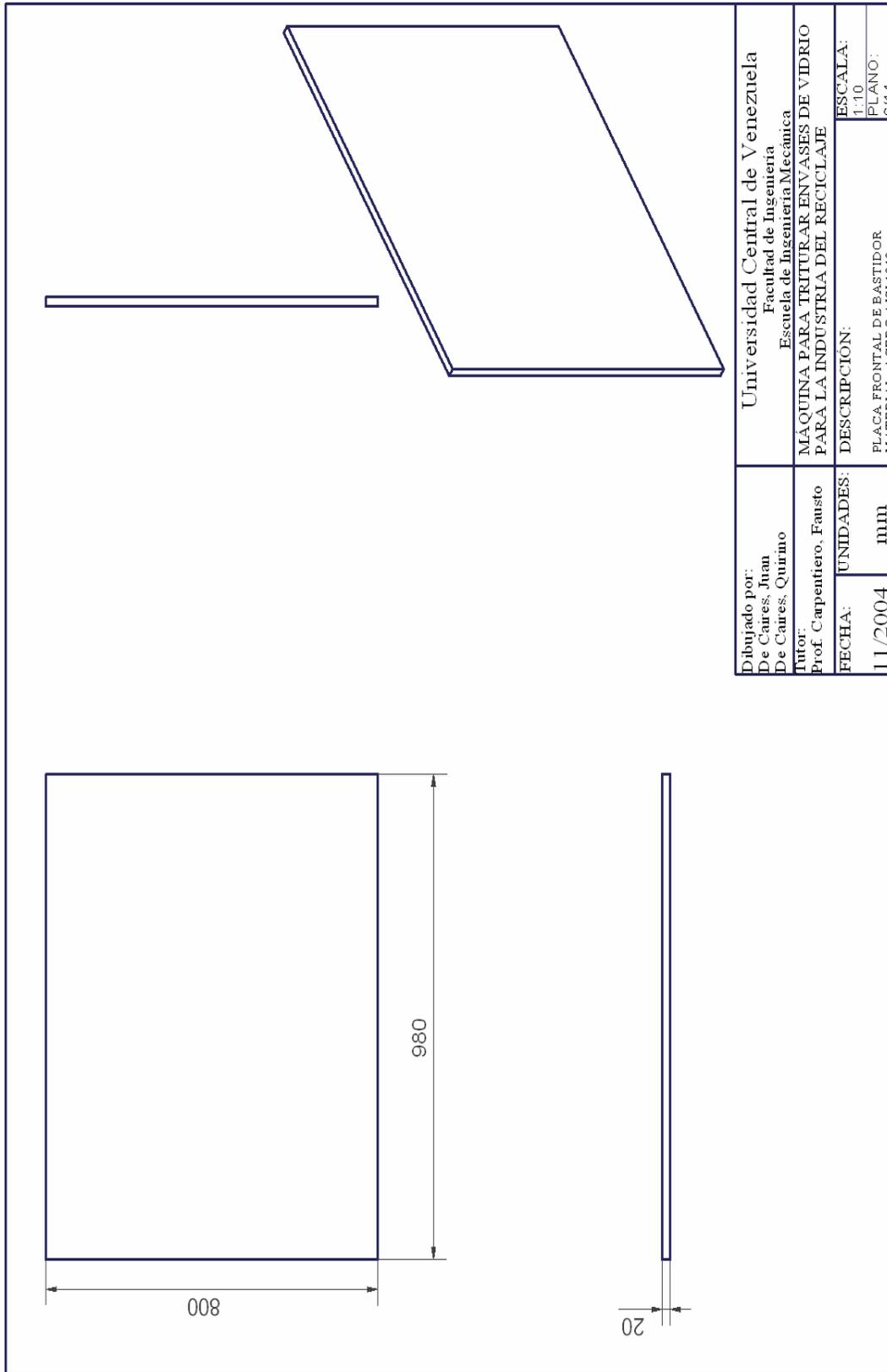


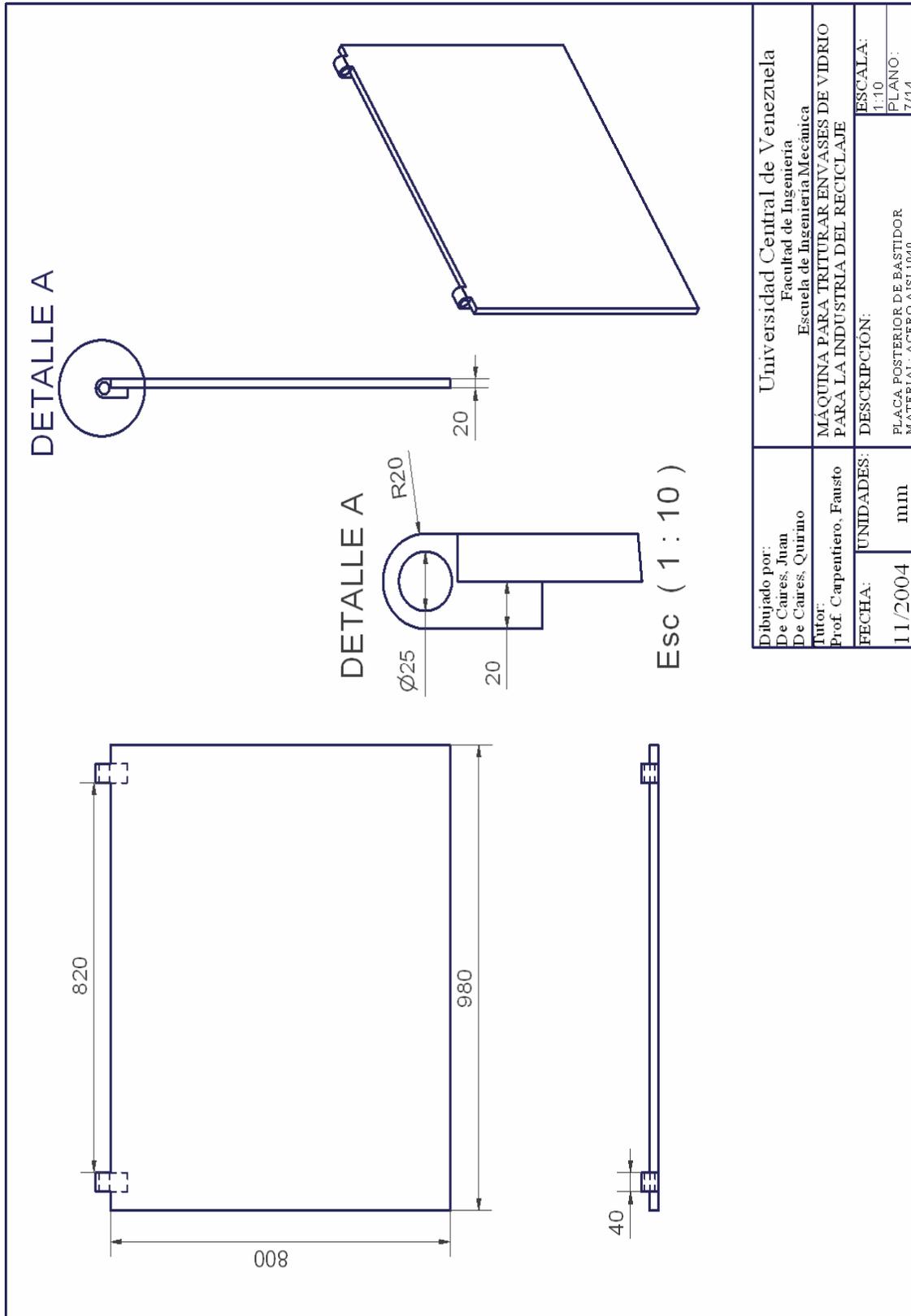


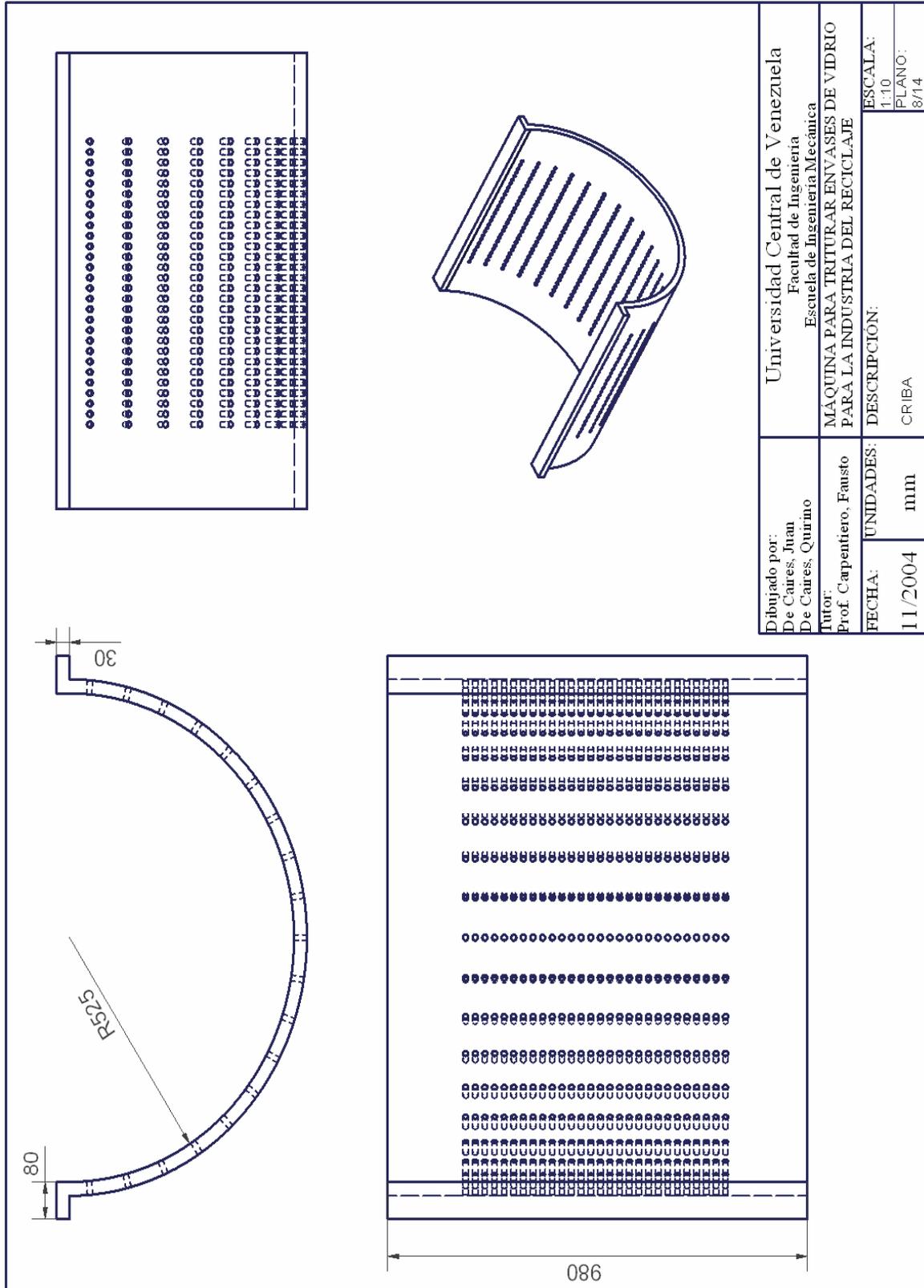
Dibujado por: De Caires, Juan De Caires, Quirino		Universidad Central de Venezuela Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Mecánica	
Tutor: Prof. Carpentiero, Fausto		MAQUINA PARA TRITURAR ENVASES DE VIDRIO PARA LA INDUSTRIA DEL RECICLAJE	
FECHA: 11/2004	UNIDADES: mm	DESCRIPCIÓN: PLACA LATERAL IZQUIERDA DE BASTIDOR MATERIAL ACERO AISI 1040	ESCALA: 1:10 PLANO: 4/14

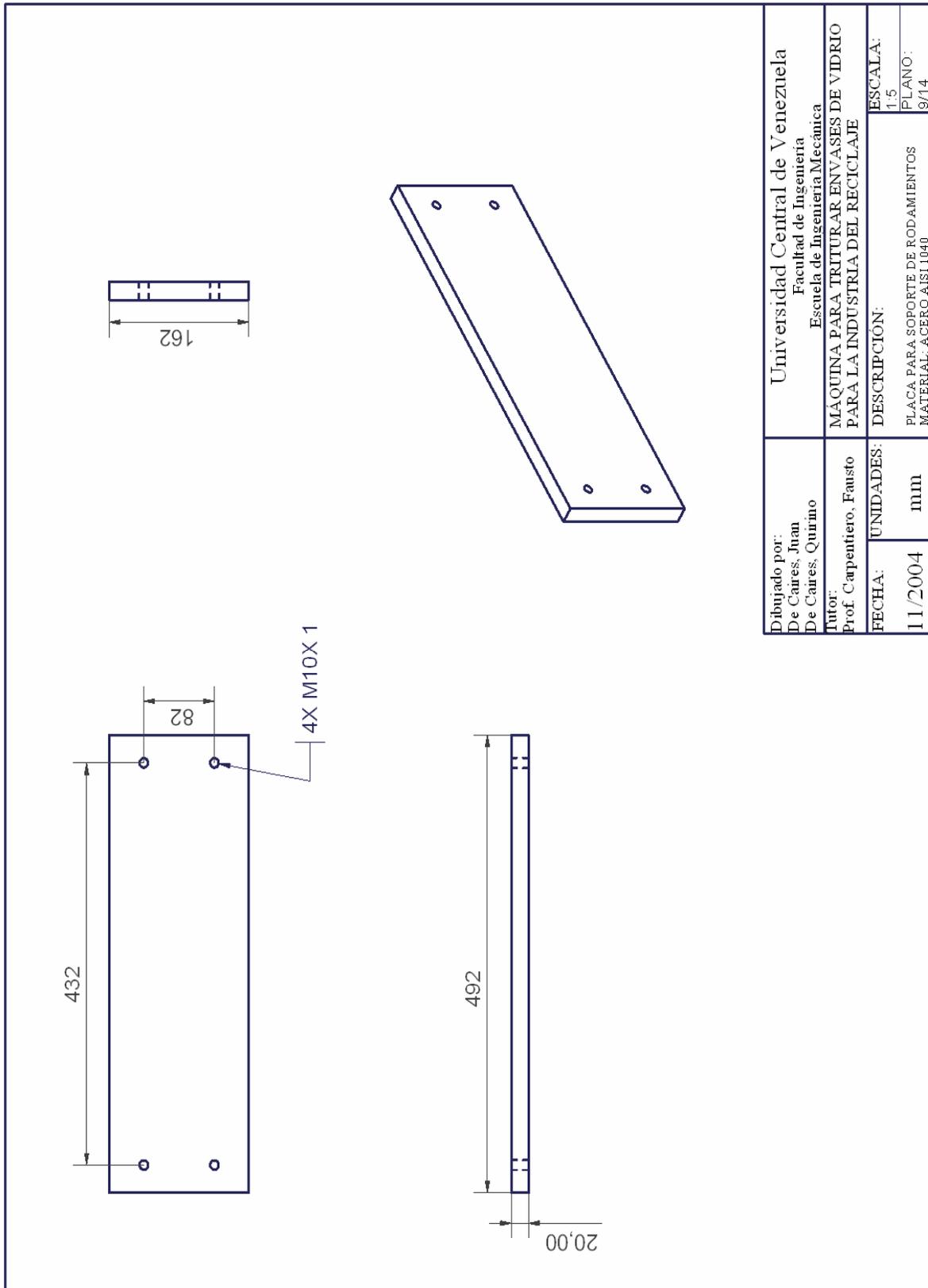


Dibujado por: De Caires, Juan De Caires, Quirino		Universidad Central de Venezuela Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Mecánica	
Tutor: Prof. Carpentiero, Fausto		MÁQUINA PARA TRITURAR ENVASES DE VIDRIO PARA LA INDUSTRIA DEL RECICLAJE	
FECHA:	UNIDADES:	DESCRIPCIÓN:	ESCALA:
11/2004	mm	PLACA LATERAL DERECHA DE BASTIDOR MATERIAL: ACERO AISI 1040	1:10 PLANO: 5/14

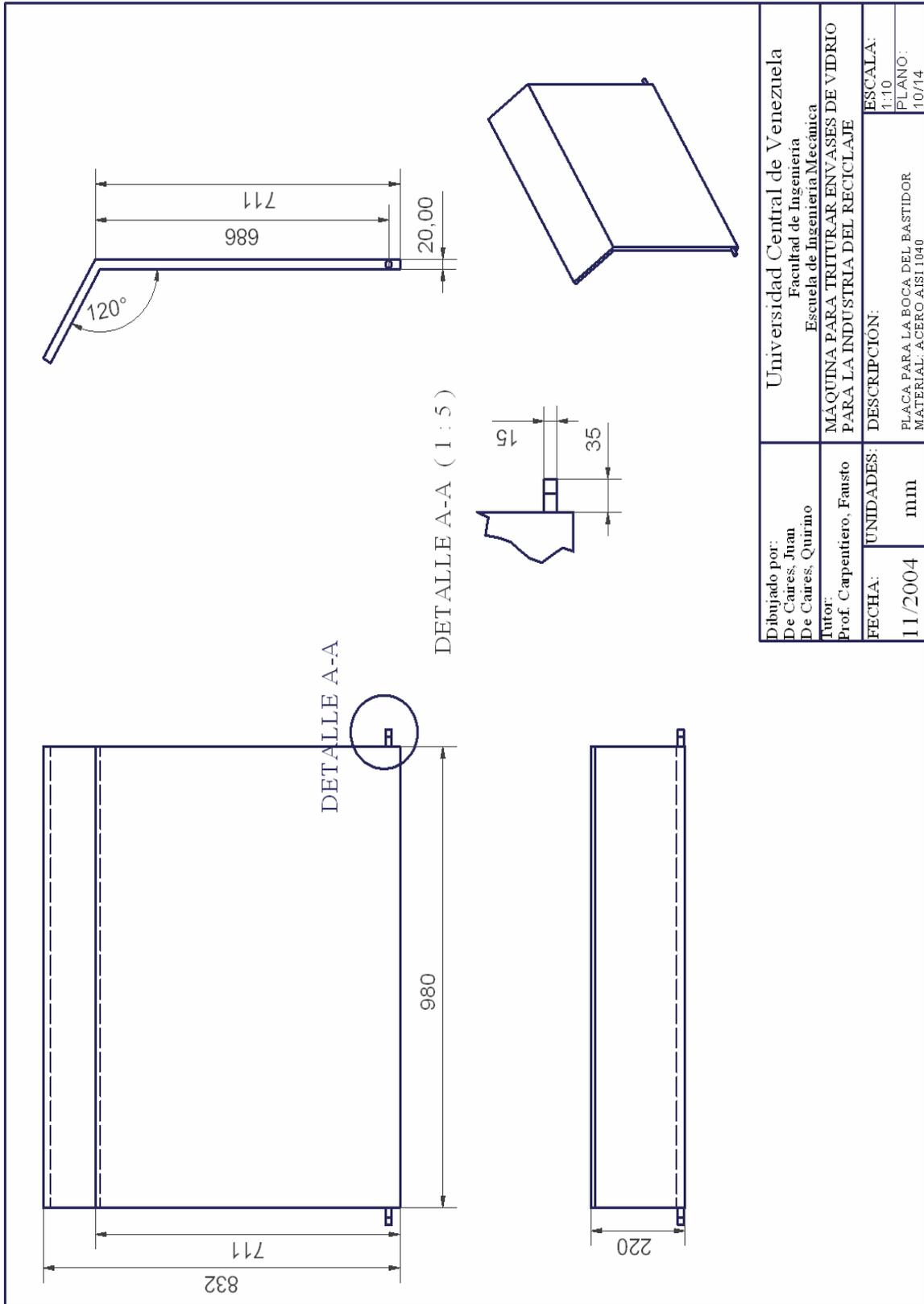


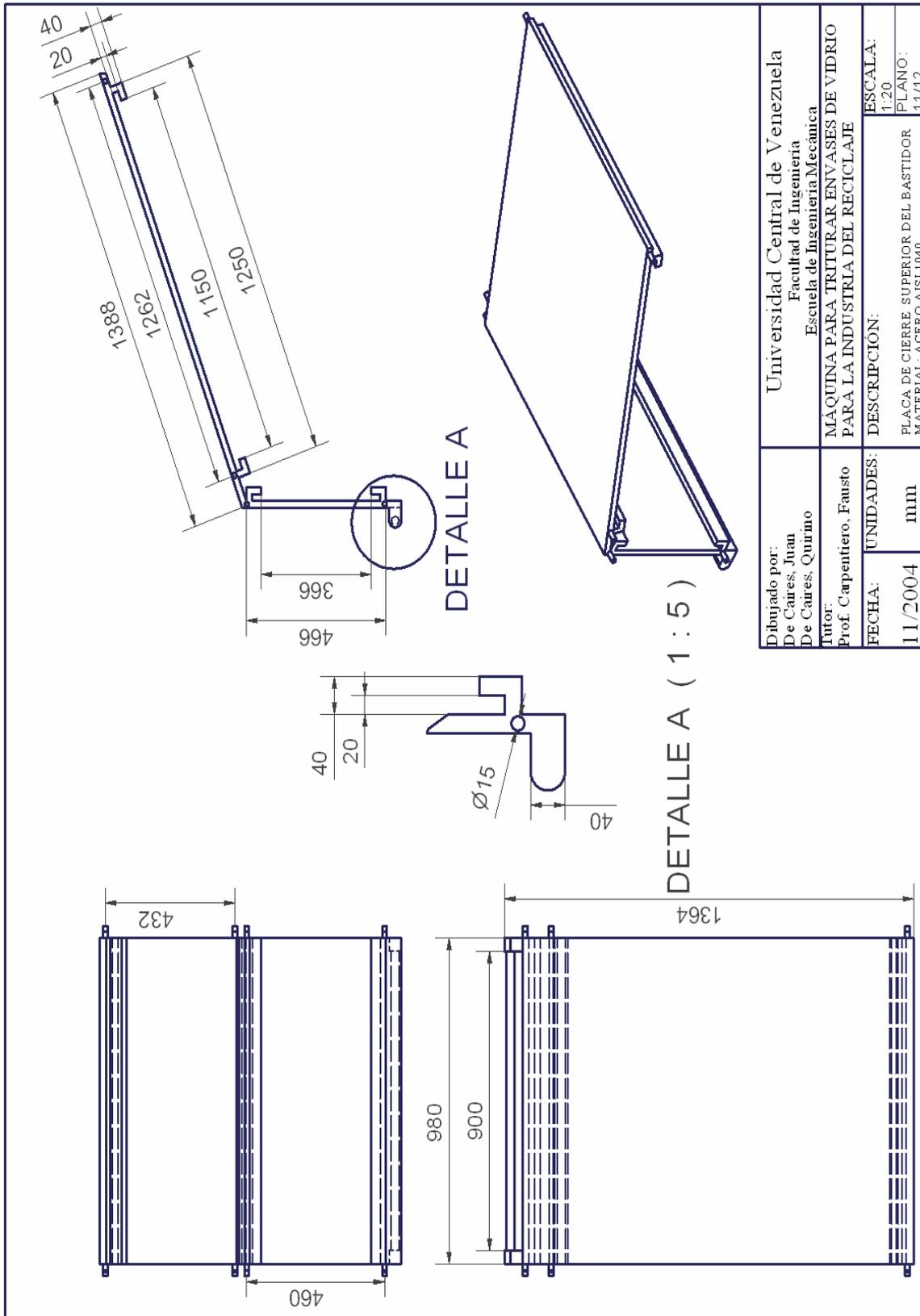


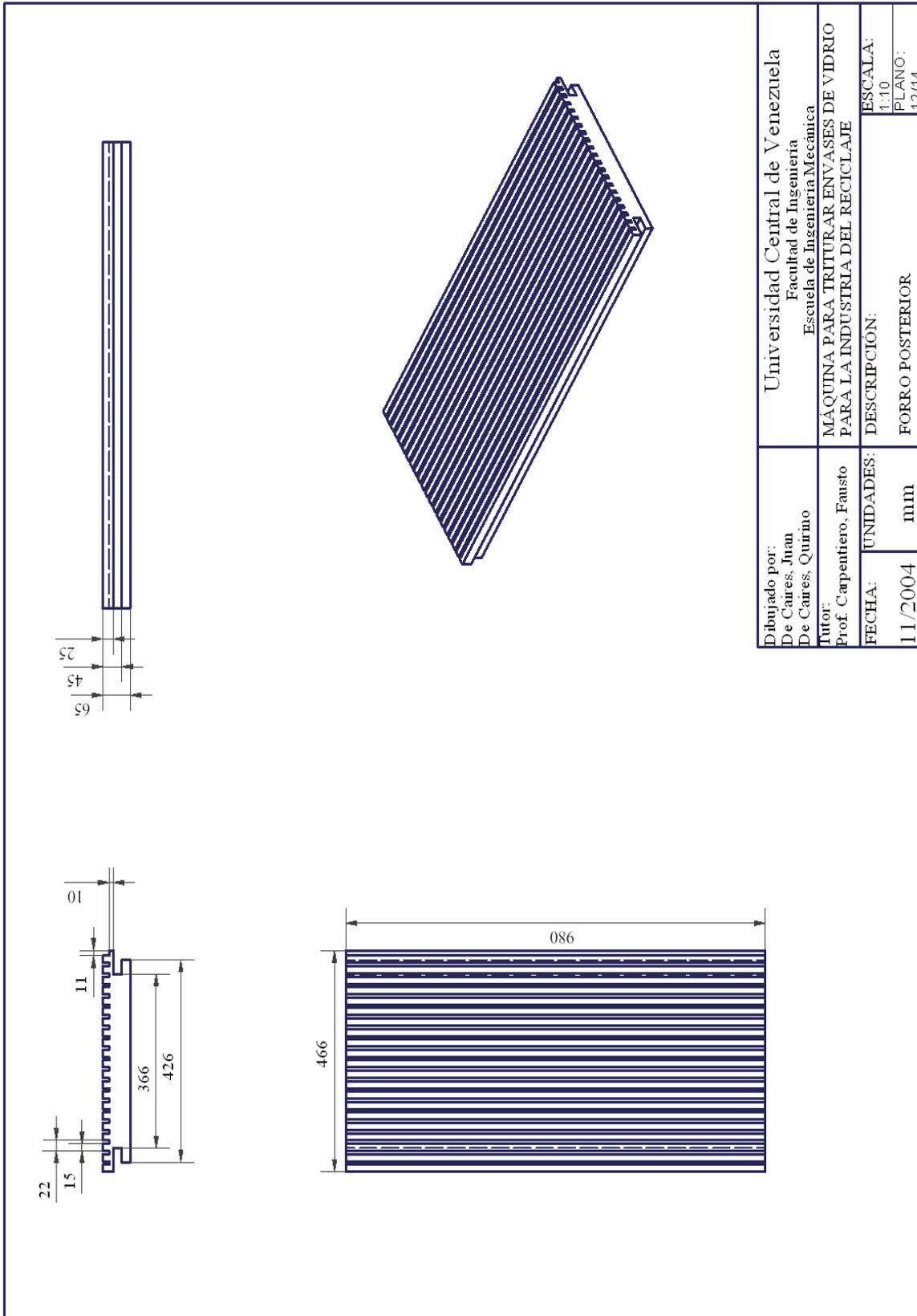




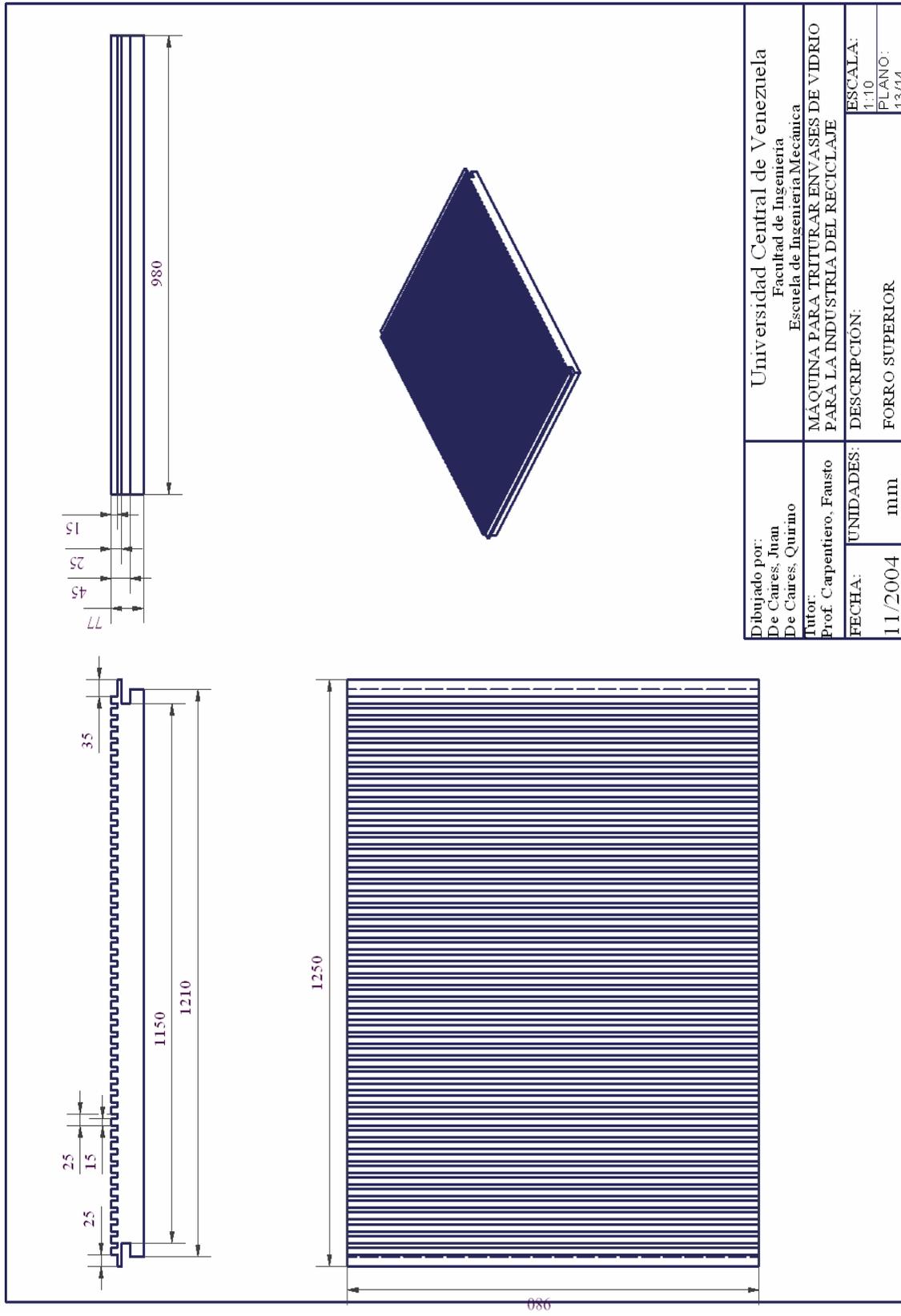
Dibujado por: De Caires, Juan De Caires, Quirino	Universidad Central de Venezuela Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Mecánica
Tutor: Prof. Carpentiero, Fausto	MÁQUINA PARA TRITURAR ENVASES DE VIDRIO PARA LA INDUSTRIA DEL RECICLAJE
FECHA: 11/2004	DESCRIPCION: PLACA PARA SOPORTE DE RODAMIENTOS MATERIAL: ACERO AISI1040
UNIDADES: mm	ESCALA: 1-5
	PLANO: 9/14







Dibuñado por: De Caires, Juan, De Caires, Quirino		Universidad Central de Venezuela Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Mecánica	
Tutor: Prof. Carpentiero, Fausto		MÁQUINA PARA TRITURAR ENVASES DE VIDRIO PARA LA INDUSTRIA DEL RECTLAJE	
FECHA:	UNIDADES:	DESCRIPCIÓN:	ESCALA:
11/2004	mm	FORRO POSTERIOR	1:10 PLANO: 1/2/14



Dibujado por: De Caires, Juan		Universidad Central de Venezuela	
De Caires, Quirino		Facultad de Ingeniería	
Tutor: Prof. Carpintero, Fausto		Escuela de Ingeniería Mecánica	
FECHA: 11/2004		MAQUINA PARA TRITURAR ENVASES DE VIDRIO PARA LA INDUSTRIA DEL RECICLAJE	
UNIDADES: mm		DESCRIPCIÓN: FORRO SUPERIOR	
		ESCALA: 1:10	
		PLANO: 13/14	

