

# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJERCÍTO**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CÁMARA  
DE VACÍO PARA EL RECUBRIMIENTO METÁLICO EN  
PLÁSTICOS PARA EL LABORATORIO DE METALURGIA DE LA  
F.I.M.E – E.S.P.E.”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TITULO DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**Sr. HENRI HOLGER GUALÁN JIMÉNEZ**

**Sr. RICHARD SANTIAGO VENEGAS TONATO**

**DIRECTOR: ING. VICTOR ANDRADE**

**CODIRECTOR: ING. JUAN ALCOSER**

**Sangolquí, 2006-Agosto**

## **CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO**

El proyecto “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CÁMARA DE VACÍO PARA EL RECUBRIMIENTO METÁLICO EN PLÁSTICOS PARA EL LABORATORIO DE METALURGIA DE LA F.I.M.E – E.S.P.E.” fue realizado en su totalidad por Henri Holger Gualán Jiménez y Richard Santiago Venegas Tonato, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

---

Sr. Ing Víctor Andrade

DIRECTOR

---

Sr. Ing Juan Alcoser

CODIRECTOR

Sangolquí, 2006/08/07

## LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CÁMARA DE VACÍO PARA EL RECUBRIMIENTO METÁLICO EN PLÁSTICOS PARA EL LABORATORIO DE METALURGIA DE LA F.I.M.E – E.S.P.E.”

ELABORADO POR:

---

Sr. Henri Gualán

---

Sr. Richard Venegas

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

---

Coordinador de Carrera de Ingeniería Mecánica

Sangolquí, 2006/08

## **DEDICATORIA**

A los seres divinos, Dios y la Virgen del Cisne que iluminaron mi pensamiento y permitieron que llegara a cumplir con éxito la meta propuesta, a mis padres que fueron los impulsores y mi voz de aliento día a día y a mis hermanos que siempre estuvieron brindándome su apoyo incondicionalmente.

**Henri**

A Dios por darme las fuerzas, energía y pensamiento para desarrollar mis capacidades, a mis padres que fueron la guía y la base fundamental tanto económica como espiritualmente, a mi esposa y mi hijo Michael por que durante el desarrollo de la carrera y el proyecto de grado me han acompañado tanto en los buenos como en los malos ratos, ayudándome a sobresalir para culminar y obtener al fin la Ingeniería.

**Richard**

## **AGRADECIMIENTOS**

A todos los profesores, amigos y compañeros de la Facultad de Ingeniería Mecánica, por saber compartir sus conocimientos y brindarnos su amistad, durante el transcurso de formación profesional, gracias al cual tuvimos la oportunidad de interrelacionarnos y crecer a nivel intelectual y humano.

Un profundo agradecimiento a los Ingenieros Álvaro Rizzo y César Paredes, por brindarnos desinteresadamente toda la información y el material necesario para el desarrollo de este proyecto.

**Henri y Richard**

## INDICE DE CONTENIDOS

|  |          |
|--|----------|
| CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO | II       |
| LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO                    | III      |
| DEDICATORIA                                  | IV       |
| AGRADECIMIENTOS                              | V        |
| INDICE DE CONTENIDOS                         | VI       |
| LISTADO DE TABLAS                            | XII      |
| LISTADO DE FIGURAS                           | XIV      |
| LISTADO DE ECUACIONES                        | XVII     |
| LISTADO DE ANEXOS                            | XIX      |
| RESUMEN                                      | XX       |
| INTRODUCCIÓN                                 | XXI      |
| <b>CAPÍTULO I</b>                            | <b>1</b> |
| <b>GENERALIDADES</b>                         | <b>1</b> |
| 1.1 ANTECEDENTES                             | 1        |
| 1.2 JUSTIFICACIÓN                            | 3        |
| 1.3.1 GENERAL                                | 5        |
| 1.3.2 ESPECÍFICOS                            | 5        |
| 1.4 ALCANCE                                  | 5        |
| <b>CAPÍTULO II</b>                           | <b>7</b> |
| <b>DISEÑO DE LA CÁMARA</b>                   | <b>7</b> |

|                                      |           |
|--------------------------------------|-----------|
| 2.1 ALTERNATIVAS DE GEOMETRÍA        | 7         |
| 2.2 DISEÑO DE LA CÁMARA              | 9         |
| 2.2.1 PRESIÓN INTERNA                | 10        |
| 2.2.1.1 Cuerpo cilíndrico            | 10        |
| 2.2.1.2 Cabeza Toriesferica          | 12        |
| 2.2.2 PRESIÓN EXTERNA                | 14        |
| 2.2.2.2 Cabeza Toriesferica          | 15        |
| 2.2.3 DISEÑO PLACAS BASES            | 16        |
| 2.3 ANÁLISIS DE ESFUERZOS COMBINADOS | 17        |
| 2.4 DISEÑO DE LA BOCA                | 18        |
| 2.5 PLANOS GENERAL                   | 21        |
| <b>CAPÍTULO III</b>                  | <b>22</b> |
| <b>CONSTRUCCIÓN DE LA CÁMARA</b>     | <b>22</b> |
| 3.1 PLANOS DE TALLER                 | 22        |
| 3.2 PROCESOS DE MANUFACTURA          | 22        |
| 3.3 TOLERANCIAS DE CONSTRUCCIÓN      | 22        |
| 3.4 CONSTRUCCIÓN DE LAS BOCAS        | 22        |
| 3.5 CONFORMADO DE LA CABEZA          | 22        |
| 3.6 ROLADO DEL CUERPO                | 23        |
| 3.7 ENSAMBLE                         | 23        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>CAPÍTULO IV</b>                                 | <b>24</b> |
| <b>SISTEMA DE VACÍO</b>                            | <b>24</b> |
| 4.1 PRODUCCIÓN DE VACÍO                            | 24        |
| 4.1.1 APLICACIONES DEL VACÍO                       | 27        |
| 4.1.1.1 La mecánica de la respiración              | 27        |
| 4.1.1.2 La producción de azúcar                    | 29        |
| 4.1.1.3 Los frenos en sistemas automotrices        | 30        |
| 4.1.1.4 La conservación de alimentos               | 32        |
| 4.1.1.5 El termo                                   | 32        |
| 4.1.1.6 Los envases                                | 33        |
| 4.1.1.7 Los concretos                              | 35        |
| 4.1.1.8 La cerámica industrial                     | 35        |
| 4.1.1.9 Las centrífugas                            | 36        |
| 4.1.1.10 Circuitos integrados (metalizado)         | 37        |
| 4.1.1.11 El motor de gasolina                      | 39        |
| 4.1.1.12 La metalurgia                             | 40        |
| 4.1.1.13 Los aceleradores de partículas            | 42        |
| 4.1.1.14 Destilación del petróleo al vacío         | 43        |
| 4.1.1.15 La manufactura y fabricación de plásticos | 45        |
| 4.1.1.16 La manufactura de sal                     | 46        |



|            |   |    |
|------------|---|----|
| 4.1.1.17   | Los haces moleculares o atómicos                    | 48 |
| 4.1.1.18   | La producción de acero inoxidable                   | 48 |
| 4.1.1.19   | Los expulsores de vapor                             | 49 |
| 4.1.1.20   | Innovaciones a los transportes ferroviarios         | 49 |
| 4.1.1.21   | El tubo de rayos catódicos                          | 51 |
| 4.1.1.21.1 | Algunas aplicaciones del tubo de rayos catódicos    | 52 |
| 4.1.1.22   | La simulación espacial                              | 53 |
| 4.1.2      | BOMBAS DE VACÍO                                     | 54 |
| 4.1.2.1    | Parámetros y clasificaciones de las bombas de vacío | 56 |
| 4.1.2.2    | Descripción breve de algunas bombas de vacío        | 58 |
| 4.1.2.2.1  | Las bombas mecánicas.                               | 58 |
| 4.1.2.2.2  | Las bombas de vapor.                                | 59 |
| 4.1.2.2.3  | Las bombas criogénicas (de baja temperatura).       | 61 |
| 4.2        | MEDIDA DE VACÍO                                     | 63 |
| 4.2.1      | MEDIDORES DE PRESIÓN                                | 65 |
| 4.2.1.1    | Elementos mecánicos                                 | 65 |
| 4.2.1.2    | Elementos neumáticos                                | 68 |
| 4.2.1.3    | Elementos Electromecánicos Electrónicos             | 68 |
| 4.3        | REGULACIÓN Y CONTROL DEL SISTEMA DE VACÍO           | 70 |
| 4.3.1      | COMPONENTES PARA EL CONTROL DEL VACÍO               | 70 |

|  |           |
|--|-----------|
| 4.3.2 VÁLVULA DE SEGURIDAD DE VACÍO.     | 70        |
| 4.3.3 FILTROS PARA VACÍO                 | 70        |
| 4.4 SISTEMAS AUXILIARES                  | 70        |
| 4.4.1 TRAMPAS, VÁLVULAS, JUNTAS          | 71        |
| 4.4.1.1 Los Sellos (juntas)              | 71        |
| 4.4.1.2 Las Válvulas                     | 72        |
| 4.4.2 SISTEMA DE DETECCIÓN DE FUGAS      | 73        |
| 4.5 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO            | 74        |
| 4.5.1 PRUEBAS DE VACÍO.                  | 74        |
| 4.5.1.1 Primera prueba                   | 74        |
| 4.5.1.2 Segunda prueba                   | 75        |
| 4.5.1.3 Tercera prueba                   | 75        |
| 4.5.2 PRUEBAS DE RECUBRIMIENTO           | 76        |
| 4.5.2.1 Primera prueba                   | 76        |
| 4.5.2.2 Segunda prueba                   | 80        |
| <b>CAPÍTULO V</b>                        | <b>82</b> |
| <b>EVALUACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA</b> | <b>82</b> |
| 5.1 EVALUACIÓN ECONÓMICA                 | 82        |
| 5.1.1 DISEÑO Y ADMINISTRACIÓN:           | 82        |
| 5.1.1.1 Personal:                        | 82        |

|  |           |
|--|-----------|
| 5.1.1.2 Misceláneos                      | 82        |
| 5.1.2 COSTOS DIRECTOS                    | 83        |
| 5.1.2.1 Remuneración a no profesionales  | 83        |
| 5.1.2.2 Materiales                       | 84        |
| 5.1.2.3 Equipos                          | 85        |
| 5.1.2.4 Mano de obra                     | 86        |
| 5.1.2.5 Otros costos directos            | 86        |
| 5.2 ANÁLISIS COSTO - BENEFICIO           | 88        |
| 5.2.2 CRITERIO DE FACTIBILIDAD COMERCIAL | 90        |
| 5.2.3 CRITERIO FINANCIERO                | 90        |
| 5.2.4 CRITERIO DE PRODUCCIÓN             | 90        |
| 5.2.5 CRITERIO DE INVESTIGACIÓN          | 90        |
| 5.2.6 CRITERIOS INSTITUCIONALES          | 91        |
| 5.2.7 RESULTADO                          | 91        |
| <b>CAPÍTULO VI</b>                       | <b>92</b> |
| <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>    | <b>92</b> |
| 6.1 CONCLUSIONES                         | 92        |
| 6.2 RECOMENDACIONES                      | 96        |
| ANEXOS                                   | 98        |
| BIBLIOGRAFÍA                             |           |

## LISTADO DE TABLAS

### CAPITULO II

|   |   |
|---|---|
| Tabla 2.1. Matriz de decisión para el material de la cámara de vacío..... | 8 |
|---|---|

### CAPITULO IV

|  |    |
|--|----|
| Tabla 4.1. Aplicaciones de las técnicas de vacío.....      | 25 |
| Tabla 4.2. Historia de las bombas de vacío. ....           | 54 |
| Tabla 4.3. Tabla de conversión de unidades de presión..... | 62 |
| Tabla 4.4. Tabla de grados de vacío.....                   | 62 |
| Tabla 4.5. Efectos del vacío.....                          | 63 |
| Tabla 4.6. Primera prueba.....                             | 74 |
| Tabla 4.7. Segunda prueba.....                             | 74 |
| Tabla 4.8. Tercera prueba.....                             | 75 |

### CAPITULO V

|   |    |
|---|----|
| Tabla 5.1. Costos personal.....                       | 81 |
| Tabla 5.2. Útiles de oficina.....                     | 81 |
| Tabla 5.3. Transporte.....                            | 82 |
| Tabla 5.4. Internet.....                              | 82 |
| Tabla 5.5 otros gastos de funcionamiento.....         | 82 |
| Tabla 5.6. Remuneración a profesionales expertos..... | 82 |
| Tabla 5.7. Materiales.....                            | 83 |
| Tabla 5.8. Equipos.....                               | 84 |
| Tabla 5.9. Mano de obra.....                          | 85 |
| Tabla 5.10. Otros costos directos.....                | 85 |
| Tabla 5.11. Imprevistos.....                          | 86 |

|   |    |
|---|----|
| Tabla 5.12. Financiamiento.....                             | 86 |
| Tabla 5.13. Valoración de calificaciones cuantitativas..... | 87 |
| Tabla 5.14. Criterios cualitativos.....                     | 87 |

## LISTADO DE FIGURAS

### CAPITULO II

|  |    |
|--|----|
| Figura 2.1. Tipo más común de cámara de metal..... | 7  |
| Figura 2.2 esquema del cuerpo cilíndrico.....      | 9  |
| Figura 2.3 esquema de la cabeza toriesferica.....  | 12 |
| Figura 2.4 esquema de los esfuerzos presentes..... | 16 |
| Figura 2.5 esquema de la boca.....                 | 18 |
| Figura 2.6 esquema de áreas de la boca.....        | 19 |

### CAPITULO IV

|   |    |
|---|----|
| FIGURA 4.1. Pulmones humanos.....   | 26 |
| FIGURA 4.2. Pulmón artificial.....  | 27 |
| FIGURA 4.3. Proceso de refinamiento del azúcar.....   | 29 |
| FIGURA 4.4. Corte esquemático de un sistema de frenos de potencia activado mediante vacío.....                          | 30 |
| FIGURA 4.5. Envase al vacío.....  | 32 |
| FIGURA 4.6. Ultracentrífuga de tipo vacío.....  | 36 |
| FIGURA 4.7. Sección transversal de un circuito integrado hecho a base de películas delgadas en un sistema al vacío..... | 38 |
| FIGURA 4.8. Pasos de un ciclo de cuatro tiempos.....  | 39 |
| FIGURA 4.9. a) Acelerador de partículas; b) forma distinta de colimar un haz.....                                       | 42 |
| FIGURA 4.10. Unidad de destilación fraccional.....  | 44 |
| FIGURA 4.11. Equipo para recubrimientos metálicos.....  | 45 |
| FIGURA 4.12. Procesamiento de sal.....  | 46 |

|   |    |
|---|----|
| FIGURA 4.13. Transporte ferroviario.....  | 49 |
| FIGURA 4.14. Diagrama de un tubo de rayos catódicos.....                            | 50 |
| FIGURA 4.15. Elementos básicos de una pantalla Monocromática.....                   | 51 |
| FIGURA 4.16. Lámparas incandescentes.....   | 52 |
| FIGURA 4.17. Simulación espacial.....   | 53 |
| FIGURA 4.18. Sección transversal esquemática de un sistema industrial de vacío..... | 56 |
| FIGURA 4.19 Rasgos de presión para bomba de vacío.....                              | 56 |
| FIGURA 4.20. Bomba de Sprengel.....   | 57 |
| FIGURA 4.21. Bomba mecánica de paleta rotatoria en acción.....                      | 59 |
| FIGURA 4.22. Bomba de difusión.....   | 60 |
| FIGURA 4.23. Bomba criogénica.....  | 61 |
| FIGURA 4.24. Clases de Presión.....   | 63 |
| FIGURA 4.25 Tipos de Sellos.....  | 66 |
| FIGURA 4.26 Sistema tobera-obturador.....   | 67 |
| FIGURA 4.27. Galga cementada y Galga sin cementar.....                              | 68 |
| FIGURA 4.28. Sellos de anillo.....  | 70 |
| FIGURA 4.29. Válvulas de vidrio.....  | 71 |
| FIGURA 4.30. Válvulas de metal.....   | 72 |
| FIGURA 4.31. Montaje de sustrato y aluminio puro.....                               | 76 |
| FIGURA 4.32. Montaje de Cámara sobre placa base.....                                | 76 |
| FIGURA 4.33. Presión de vacío Obtenida en pruebas.....                              | 76 |
| FIGURA 4.34. Swicht de cuchilla para encender el transformador.....                 | 77 |
| FIGURA 4.35. Amperaje seleccionado para realizar el proceso.....                    | 77 |
| FIGURA 4.36. Aluminio evaporado dentro de la cámara.....                            | 77 |

|   |    |
|---|----|
| FIGURA 4.37. Espesor capa de aluminio evaporada.....                      | 78 |
| FIGURA 4.38. Formación de costras de aluminio en la placa base.....       | 78 |
| FIGURA 4.39. Sustrato recubierto de aluminio.....                         | 78 |
| FIGURA 4.40. Falta de adherencia del aluminio hacia el sustrato.....      | 78 |
| FIGURA 4.41. Inyección de Nitrógeno dentro de la cámara montada.....      | 79 |
| FIGURA 4.42. Evaporación del aluminio en placa base y sustrato.....       | 79 |
| FIGURA 4.43. Aluminio evaporado en las paredes internas de la cámara..... | 80 |
| FIGURA 4.44. Pequeña cantidad de metalizado sobre el sustrato.....        | 80 |



# LISTADO DE ECUACIONES

## CAPITULO II

|   |    |
|---|----|
| $P_i = P + 30$ [PSI] Ecuación 2.1.....  | 11 |
| $ti1 = \frac{P_i \cdot r_i}{S \cdot E1 - 0.6 \cdot P_i}$ [in] Ecuación 2.2.....           | 11 |
| $ti2 = \frac{P_i \cdot r_i}{S \cdot E1 + 0.4 \cdot P_i}$ [in] Ecuación 2.3.....           | 11 |
| $\frac{Lc}{r}$ Ecuación 2.4.....  | 12 |
| $tc = \frac{0.885 \cdot P_i \cdot Lc}{S \cdot E1 + 0.4 \cdot P_i}$ [in] Ecuación 2.5..... | 12 |
| $\frac{L}{Do}$ Ecuación 2.6.....  | 13 |
| $\frac{Do}{t}$ Ecuación 2.7.....  | 13 |
| $Ac = \frac{0.125}{\frac{Ro}{t}}$ Ecuación 2.8.....                                       | 14 |
| $Pa = \frac{4 \cdot B}{3 \cdot \left(\frac{Do}{t}\right)}$ Ecuación 2.9.....              | 14 |
| $Pac = \frac{Bc}{\frac{Ro}{t}}$ Ecuación 2.10.....  | 14 |
| $tp = d \cdot \sqrt{\frac{C \cdot P_i}{S \cdot E1}}$ Ecuación 2.11.....                   | 15 |
| $S1 = \frac{Pa \cdot Di}{4 \cdot t}$ Ecuación 2.12.....                                   | 16 |
| $S2 = \frac{Pa \cdot Di}{2 \cdot t}$ Ecuación 2.13.....                                   | 16 |

|   |    |
|---|----|
| $trn = \frac{Pa \cdot Rob}{S \cdot E1 + 0.4 \cdot Pa}$ Ecuación 2.14..... | 18 |
| $At = Dib \cdot tp$ Ecuación 2.15.....                                    | 18 |
| $A1 = (tp1 - tp) \cdot Dib$ Ecuación 2.16.....                            | 18 |
| $A2 = (tn - trn) \cdot 5tp$ Ecuación 2.17.....                            | 19 |
| $A21 = (tn - trn) \cdot 5 \cdot tn$ Ecuación 2.18.....                    | 19 |
| $A3 = (tn - CA) \cdot 2 \cdot h$ Ecuación 2.19.....                       | 19 |
| $A4 = Ls1^2 + Ls2^2$ Ecuación 2.20.....                                   | 19 |
| $AT = A1 + A21 + A3 + A4$ Ecuación 2.21.....                              | 19 |

#### CAPITULO V

|  |    |
|--|----|
| $IMR = \frac{\sum(\text{Ponderación criterio factibilda d x Calificación})}{\sum(\text{Ponderación criterio factibilda d x 10})}$ Ecuación5.1..... | 88 |
|--|----|

## LISTADO DE ANEXOS

|   |           |
|---|-----------|
| <b>ANEXO A TABLAS E ILUSTRACIONES.....</b>  | <b>99</b> |
| ANEXO A1 Tablas de propiedades de materiales.....                                   | 101       |
| ANEXO A.2. Tipos de eficiencia en las juntas.....                                   | 103       |
| ANEXO A.3. Factor “A” para recipientes sometidos a presión externa<br>(Cuerpo)..... | 105       |
| ANEXO A.4 Valor de “E” Modulo de elasticidad para el material TP 304.....           | 107       |
| ANEXO A.5. Factor “B” para recipientes sometidos a presión externa<br>(Cuerpo)..... | 109       |
| ANEXO A.6. Factor “B” para recipientes sometidos a presión externa<br>(Cabeza)..... | 111       |
| ANEXO A.7 Factor “C” depende de unión entre cuerpo y placa base.....                | 113       |
| ANEXO A.8. Propiedades de la tubería.....   | 115       |
| <b>ANEXO B PLANOS GENERAL</b>   |           |
| <b>ANEXO C PLANOS DE TALLER</b>   |           |
| <b>ANEXO D PROCESOS DE MANUFACTURA</b>  |           |
| <b>ANEXO E BOMBAS DE VACÍO</b>  |           |
| <b>ANEXO F MEDIDORES DE VACÍO</b>   |           |
| <b>ANEXO G FOTOGRAFÍAS</b>  |           |

## RESUMEN

El proceso de metalización por alto vacío, consiste en depositar una fina capa metálica, generalmente aluminio (aunque pueden también utilizarse otros metales como cobre, plata, oro y algunos otros compuestos) sobre superficies plásticas o metálicas de naturaleza variada.

Las aplicaciones de las capas metalizadas se realizan sobre piezas muy diversas y entre ellas se encuentran:

- Faros, espejos, pilotos y piezas varias del automóvil.
- Reflectores para iluminación doméstica, oficinas, edificios, fábricas, urbanizaciones, autopistas, etc.
- Tubos de televisión, tubos de rayos catódicos.
- Espejos sobre material plástico en aplicación directa o por transparencia
- Juguetes, souvenirs, objetos musicales, adornos de Navidad, etc.
- Decoración de tapones de cosmética y perfumería.
- Protección antiparasitaria de capas sobre objetos plásticos que contienen circuitos electrónicos (teléfonos portátiles, ordenadores personales, agendas electrónicas, etc.).
- Electrodomésticos, piezas de decoración, marcas de fábrica, etc.
- Protección de algunos licores por aplicación de metalización sobre las paredes de las botellas de vidrio que los contienen.
- Se utiliza para la protección de alimentos respecto al medio Ambiente aplicando el metalizado sobre el polipropileno dándole mejores características y protegiendo a los productos que se encuentran dentro de este.

# INTRODUCCIÓN

El proceso de metalizado consiste en recubrir con una fina capa de aluminio a un sustrato que en este caso es plástico todo esto se produce gracias al alto vacío, este medio es necesario debido a que el ambiente contiene oxígeno, impurezas, humedad y otros gases, provocando la oxidación inmediata del aluminio lo que no permite la adherencia sobre el sustrato. Además se necesita de gran energía en forma de calor para llegar al punto de evaporación del aluminio (3200 ° C), estos son los obstáculos que se presentan al trabajar en el medio ambiente. Por otro lado al trabajar con alto vacío se eliminan los dos problemas, así se puede producir el metalizado sobre el plástico, entonces el aluminio no se oxida ya que el medio del alto vacío es un ambiente limpio y seco, el punto de evaporación del aluminio disminuye a (1200 ° C), eliminando los inconvenientes que se puedan producir.

Las técnicas de aplicación del metalizado o la pintura sobre el plástico son, a grandes rasgos, las siguientes: método aerográfico, método electrostático, pintado de la pieza en el molde y metalización por alto vacío.

**Métodos aerográficos.-** Consisten en la pulverización mediante pistola aerográfica, manejada de forma manual o bien con robots programables. Es el método más ampliamente utilizado.

**Métodos electrostáticos.-** La pieza se recubre mediante la utilización de equipos de pulverización electrostáticos, previa conversión de la pieza de plástico en conductora. Esta técnica aprovecha la atracción electrostática entre la pieza y las partículas de pintura que se proyectan, con carga de signo distinto al de la pieza. De esta forma se consigue minimizar las pérdidas por aerosol, con el consiguiente aumento del rendimiento de la pintura.

La aplicación electrostática puede automatizarse de la misma forma que en los sistemas aerográficos.

**Pintado de la pieza en el molde** (Técnica IMC, *In Mould Coating*).- El método de pintado de la pieza en el molde es exclusivo de los materiales plásticos y permite utilizar diversas técnicas, que difieren ligeramente unas de otras.

**Metalización por alto vacío.-** Consiste en dar apariencia metálica a una pieza de plástico y es una técnica muy utilizada, por su utilidad decorativa y técnica, en los sectores de automoción, bisutería, material sanitario, juguetería, perfumería y electrónica, por citar sólo unos cuantos.

El objetivo del presente proyecto es recubrir de una fina capa metálica de aluminio sobre el sustrato, alcanzado las características de brillo metálico, conducción eléctrica, y gran adherencia que proporciona larga vida útil a los sustratos.

El propósito es diseñar la cámara, basada en el parámetro requerido de vacío (-14.7 psi.) que se debe obtener para realizar el proceso, luego construirla con las especificaciones establecidas en el diseño tomando en cuenta los materiales necesarios para la construcción (acero inoxidable). Seleccionar el sistema de vacío mas adecuado que permita obtener el vacío requerido e implementar una nueva tecnología en el recubrimiento metálico de plásticos en el Laboratorio de Metalurgia con el fin de que en el país se inicie este tipo de investigación y profundizar acerca de las aplicaciones del alto vacío.

En la actualidad el recubrimiento metálico en plásticos se lo hace por medio de la galvanoplastia, proceso que a las industrias les representa altos costos por su composición química y el tiempo que se tarda, por ende la producción no satisface las expectativas que se pretenden obtener, por lo que la producción no cumple adecuadamente las demandas que las industrias requieren para llegar a ser mas competitivos y de esta manera marcar la diferencia con las otras industrias.

Otro de los inconvenientes que en el proceso de la galvanoplastia se tiene que afrontar es la contaminación que produce, debido a que este proceso provoca un alto grado de contaminación por los químicos que son empleados y que diariamente las industrias tienen que estar contrarrestándolos implementado nuevos procesos para disminuirlos, dichos procesos también representan costos.

La solución a este problema es la utilización del metalizado por alto vacío, que no requiere altos costos de producción ni contaminación ambiental, además que se puede optimizar la utilización dependiendo de las características de la cámara (volumen) siendo directamente proporcional a las características de las bombas de vacío (Capacidad de bombeo) de esto dependerá la rapidez y efectividad del proceso.

## **CAPÍTULO I**

### **GENERALIDADES**

#### **1.1 ANTECEDENTES**

El proceso que las industrias de recubrimiento metálico en plásticos están utilizando en la actualidad es la galvanoplastia<sup>1</sup>, el mismo que representa altos costos por la composición química que necesita, el tiempo que tarda su realización es de aproximadamente 30 minutos<sup>2</sup>, por lo que esta técnica no satisface adecuadamente los requerimientos que las empresas desean desarrollar para llegar a ser mas competitivos.

Otro de los inconvenientes que en el proceso de la galvanoplastia se tiene que afrontar es la contaminación que produce, debido a que este proceso acarrea un alto grado de contaminación por los químicos que son empleados y que diariamente las industrias tienen que estar contrarrestándolos implementado nuevos procesos para disminuirlos, dichos procesos también les representan costos.

Es por eso que la tecnología del vacío<sup>3</sup> ha permitido desarrollar la técnica de evaporación de metales en una atmósfera de muy baja presión. Las películas delgadas obtenidas mediante esta técnica, se pueden usar como materiales de recubrimiento y tienen múltiples usos en la industria, la investigación y la enseñanza

Algunos ejemplos del uso de la técnica de evaporación de metales al alto vacío, se encuentran en el aluminizado de vidrios para espejos de telescopios, en recubrimientos para reducir la reflexión indeseable, filtros para radiación UV,

películas conductoras, transductores piezoeléctricos y superficies plásticas con terminado reflejante para la industria automotriz.

---

<sup>1</sup> Proceso químico por el cual se llega a obtener el brillo metálico de los plásticos.

<sup>2</sup> Fuente: Empresa METROM.

<sup>3</sup> Vacío: Se refiere a presiones manométricas menores que la atmosférica, Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos11/presi/presi.shtml>.

La importancia de la tecnología del alto vacío<sup>4</sup> y la posibilidad de contar con un nuevo sistema de investigación en el Laboratorio de Metalurgia de la F.I.M.E., fue el motivo para desarrollar esta nueva técnica, que permitirá conocer más a fondo los procesos por los que se llegan a obtener bajas presiones en ambientes controlados y con posibilidades de desarrollo.

Este proceso se basa en el principio fundamental de la física por el que un vapor de metal condensa en un cuerpo frío, obteniendo el recubrimiento de una fina capa metálica, generalmente aluminio, aunque pueden también utilizarse otros metales como cobre, plata, oro y algunos otros compuestos sobre superficies plásticas o metálicas de naturaleza variada, todas las sustancias para vaporizar tienen que ser lo más puras posible. Las impurezas por cuerpos extraños pueden conducir a resultados inesperados, como modificaciones en el color de las capas y menor adherencia, las aleaciones no son apropiadas para vaporizar ya que los diversos componentes tienen casi siempre puntos de ebullición diferentes y no vaporizan al mismo tiempo.

Si este proceso fuera realizado a condiciones atmosféricas, el metal evaporado se oxidaría inmediatamente debido al aire libre, el libre recorrido medio de las moléculas evaporadas sería tan corto al producirse choques, por lo que la utilización técnica del fenómeno sería imposible.

Sin embargo, este proceso va a ser realizado en el interior de una cámara de acero inoxidable, en esta se procederá a realizar la disminución de la presión, obteniendo el alto vacío necesario, esto permitirá que se realice el libre recorrido de las moléculas metálicas evaporadas que consiguen alcanzar sin dificultad las superficies del plástico.



---

<sup>4</sup> Alto vacío  $10^{-3}\text{mbar} > P > 10^{-7}\text{mbar}$  ( $1\text{Pa} > P > 10^{-4}\text{Pa}$ ), Fuente:  
<http://bicho.uc3m.es/alumn/TV/intro.pdf>

El espesor de la capa metalizada es inferior a  $1\mu$  ( $\mu=\text{micra}^6$ ) y puede regularse en el proceso por medio del control del tiempo de evaporación y controlando la temperatura del metal. Generalmente la capa metalizada que se consigue son del orden de  $0.3\mu$  de espesor<sup>5</sup>. El vacío que se debe alcanzar está en el orden del  $2 \times 10^{-2}\text{Pa}$  y el grupo de vacío debe conseguirlo de una manera lo mas rápido posible.

La bomba que se necesita para alcanzar el alto vacío, será proporcionada por la FIME, esta se encontraba sin prestar ningún tipo de servicio y en perfecto estado, como este proyecto va dirigido hacia el Laboratorio de Metalurgia, se utilizará esta bomba como parte fundamental del proceso, ya que al investigar las características técnicas<sup>7</sup> cumplía con las especificaciones requeridas ya que no contaba con un manual técnico.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto esta dirigido al Laboratorio de Metalurgia de la FIME, al que se le va a proporcionar una nueva alternativa en el proceso de recubrimientos metálicos en plásticos.

Esta tecnología pretende innovar y optimizar los recursos del laboratorio de Metalurgia, meta que puede ser obtenida gracias a las características técnicas que va a proporcionar esta cámara, los costos disminuirían debido ha que este no necesita de compuestos químicos, proporciona una mejor calidad en los productos y el impacto ambiental que se genera es sumamente bajo, estas características hacen que este proyecto sea sumamente atractivo para las industrias que se dedican al recubrimiento metálico en plásticos que busca ser mas competentes y eficientes.

---

<sup>5</sup> Fuente: [http://www.Telstar\\_Metalización-al-Vacío\\_Cat\\_MV.pdf](http://www.Telstar_Metalización-al-Vacío_Cat_MV.pdf)  
<sup>6</sup> 1Micra =  $1 \times 10^{-6}$  m, Fuente: Manual del Ingeniero mecánico  
<sup>7</sup> Fuente: <http://www.ajvs.com/index.php?pid=18>

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 GENERAL**

- Diseñar y construir un prototipo de Cámara de Vacío para el recubrimiento metálico en plásticos para el laboratorio de Metalurgia de la F.I.M.E – E.S.P.E.

### **1.3.2 ESPECÍFICOS**

- Diseñar la cámara, basada en el parámetro requerido de alto vacío ( $2 \times 10^{-2}$  Pa) que se debe obtener para realizar el proceso
- Construir la cámara con las especificaciones técnicas previamente obtenidas del diseño
- Diseñar y seleccionar el sistema de vacío que permita realizar el recubrimiento metálico en plásticos.
- Implementar una nueva tecnología para el recubrimiento metálico en plásticos en el Laboratorio de Metalurgia de la F.I.M.E.

## **1.4 ALCANCE**

Se pretende alcanzar un importante desarrollo tecnológico para el Laboratorio de Metalurgia de la FIME al poner en marcha un sistema de alto vacío. En este se construirá un dispositivo para evaporar aluminio. El sistema recubre de una pequeña capa de aluminio al plástico.

La tecnología del alto vacío es fundamental en la industria y la investigación. Tiene numerosas aplicaciones: en recubrimientos de películas delgadas que se usan en la joyería, anteojos, brocas e instrumentos ópticos; para la construcción de transductores con base en materiales metálicos y semiconductores, en la industria de las lámparas y esferas de navidad<sup>8</sup>.

La tecnología del alto vacío no se ha desarrollado en el país y generalmente, este tipo de sistemas se adquiere con fabricantes de otros países.

Por esta razón es importante el desarrollo tecnológico que se generará en el Laboratorio de Metalurgia de la FIME. Este sistema, además de emplearse en el metalizado de plásticos, se aplica en la docencia, enseñando y capacitando a estudiantes en aspectos importantes de la generación de alto vacío.

---

<sup>8</sup>Fuente:  
<http://www.cienciasaplicadas.buap.mx/Divulgacion/ArticulosDivulgacion/Educacion/sistemadevacio.htm>

## CAPÍTULO II

### DISEÑO DE LA CÁMARA

#### 2.1 ALTERNATIVAS DE GEOMETRÍA

Las cámaras o contenedores en los sistemas de vacío se construyen por lo general de vidrio o acero inoxidable. La característica principal que debe tener el material de la cámara es su resistencia a la fuerza ejercida sobre ella por la presión atmosférica. Esto es claro si se considera que la presión atmosférica ejerce una fuerza de un 1 kg/cm<sup>2</sup> en el área superficial de la cámara. Por ejemplo, una cámara con una superficie de 1 m<sup>2</sup> debe resistir 10 toneladas de peso<sup>9</sup>.

**La alternativa geométrica más adecuada para el diseño de la cámara de metal es realizada, por lo general, en secciones de forma cilíndrica, porque así esta puede resistir con mayor facilidad la presión externa y los esfuerzos a los que está sometida, otra alternativa geométrica que se presenta para el diseño es de forma cúbica, pero no soportaría la presión externa y los esfuerzos que se encuentran concentrados en las aristas.**

Por lo tanto la capacidad de un cilindro para no colapsarse por la presión externa depende de su diámetro, espesor de las paredes, y la firmeza del material.

---

<sup>9</sup>Fuente:[http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec\\_10.htm](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_10.htm)

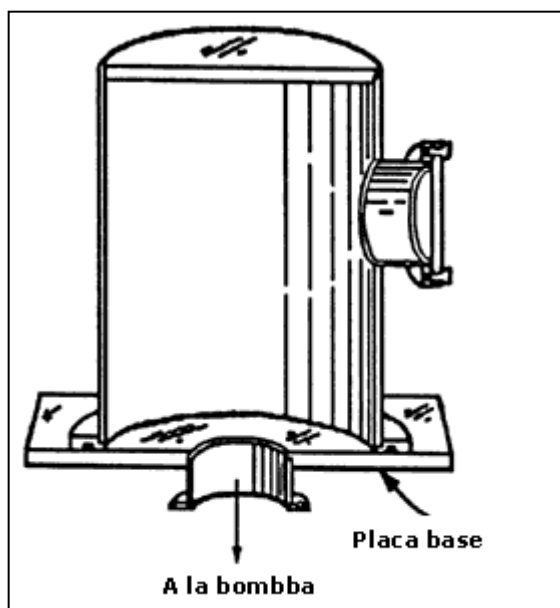


Figura 2.1. Tipo más común de cámara de metal.

En la figura 2.1<sup>10</sup> se puede observar el tipo más común de cámara de vacío que se utiliza para esta aplicación.

La selección del material más adecuado para la cámara de vacío, se realizó mediante una matriz de decisión, debido a que se tiene dos tipos generales de acero para esta aplicación, como son: Inoxidable y al carbono.

A continuación se presenta los parámetros bajo los cuales fueron evaluados:

- 1 = Regular
- 2 = Poco Aceptable
- 3 = Aceptable
- 4 = Bueno
- 5 = Muy bueno

---

<sup>10</sup>Fuente: [http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec\\_10.htm](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_10.htm)  
**Tabla 2.1. Matriz de decisión para el material de la Cámara de Vacío**

| <b>Matriz de decisión para el material de la Cámara de Vacío</b>      |                       |                     |                |                     |                |
|---|-----------------------|---------------------|----------------|---------------------|----------------|
|   |                       | Acero Inoxidable    |                | Acero al Carbono    |                |
| <b>Características</b>  | <b>Factor de peso</b> | <b>Calificación</b> | <b>Puntaje</b> | <b>Calificación</b> | <b>Puntaje</b> |
| Performance   | 0.10                  | 5                   | 0.50           | 1                   | 0.10           |
| Facilidad de adquisición  | 0.10                  | 2                   | 0.20           | 5                   | 0.50           |
| Soldabilidad  | 0.05                  | 2                   | 0.10           | 5                   | 0.25           |
| Maniobrabilidad   | 0.05                  | 3                   | 0.15           | 4                   | 0.20           |
| Precio  | 0.20                  | 1                   | 0.20           | 4                   | 0.80           |
| Vida Útil   | 0.10                  | 5                   | 0.50           | 3                   | 0.30           |
| Costos operación/mtto   | 0.40                  | 4                   | 1.60           | 2                   | 0.80           |
| <b>Total</b>  | <b>1.00</b>           |                     | <b>3.25</b>    |                     | <b>2.95</b>    |
| <b>Referencia: Apuntes de Organización y control de la Producción</b> |                       |                     |                |                     |                |

## 2.2 DISEÑO DE LA CÁMARA

Esta parte del proyecto es la más delicada de tratar porque implica una serie de asunciones que parten de la información recopilada y sintetizada, además de seleccionar los materiales y equipos que dispone el mercado Ecuatoriano

La idea planteada para el diseño del cuerpo cilíndrico fue partir de una lámina de acero inoxidable, la cual va a ser sometida a un proceso de barloado y posteriormente su unión por soldadura.

Se hicieron los cálculos basados en el Código ASME SECCIÓN VIII DIVISION 1, en función de la presión interna, luego para presión externa, tanto para el cuerpo cilíndrico como para la cabeza y al final el diseño de la placa base.

## 2.2.1 PRESIÓN INTERNA

### 2.2.1.1 Cuerpo cilíndrico

Se presentan las condiciones de diseño y un esquema de la cámara de vacío, además de el código y el párrafo con el que esta diseñado.

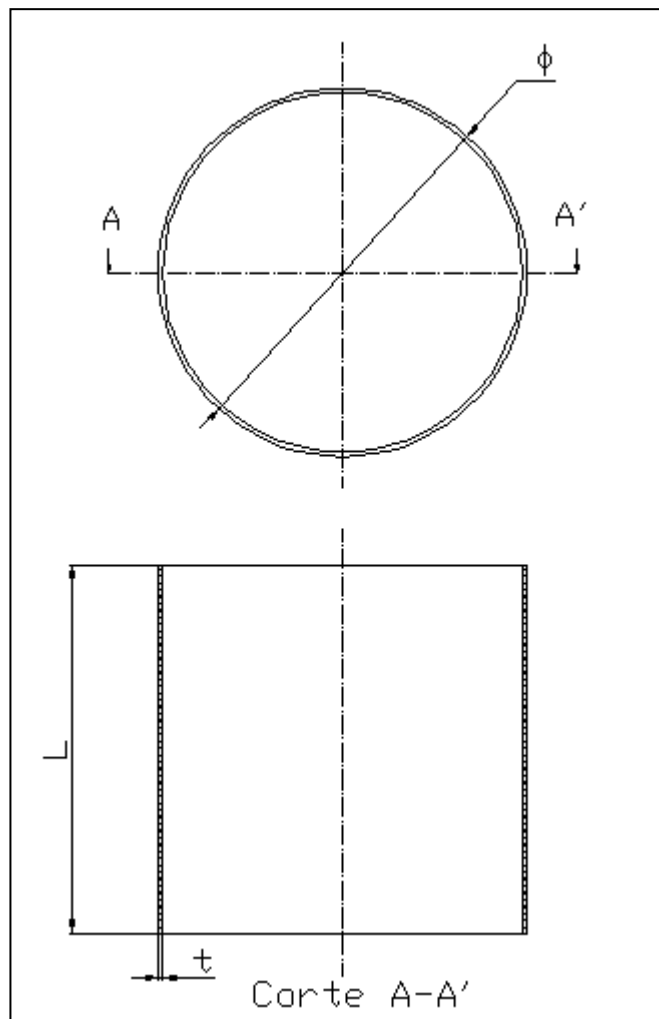


Figura 2.2 Esquema del cuerpo cilíndrico



**Código:**

ASME SECCION VIII DIVISION 1

Párrafo:

UG-27

Material:

SA-240-TP304

**Condiciones de Diseño:**

|            |       |                              |
|------------|-------|------------------------------|
| CA := 0    |       | ( Corrosión Admisible )      |
| P := 30    | (PSI) | ( Presión Interna )          |
| T := 77    | (°F)  | ( Temperatura de operación ) |
| Do := 8.40 | (in)  | ( Diámetro Exterior )        |
| Di := 8.00 | (in)  | ( Diámetro interior )        |

El valor “P” se considera como inyección de presión (presión interna) a pesar que el diseño se debe realizar en base a la succión (Vacío) ya que las fuerzas ejercidas sobre la superficie externa de la cámara es la presión atmosférica del lugar en donde esta se encuentre.

Para iniciar los cálculos primeramente se establece la presión de diseño (Pi), luego con la resistencia del material (S), el radio interno de la cámara (ri) y la eficiencia de la junta (E1) se obtendrá un espesor (ti) tanto para los esfuerzos circunferencial y longitudinal, escogiendo el mayor espesor de los obtenidos.

## Desarrollo:

$$P_i := P + 30 \quad (\text{PSI}) \quad (\text{Presión Interna o de diseño (Ec 2.1.)})$$

$$P_i = 60.00$$

$$r_i := \frac{D_i}{2} \quad (\text{in})$$

$$r_i = 4.00$$

(Anexo A.1.)

$$S := 16700 \quad (\text{PSI})$$

(Esfuerzo del material Subparte 1, Sección II, Parte D)

(Anexo A.2.)

$$E_1 := 0.7 \quad (\text{FULL})$$

(Tabla UW - 12, eficiencia de junta)

$$t_{i1} := \frac{P_i \cdot r_i}{S \cdot E_1 - 0.6 \cdot P_i} \quad (\text{Esfuerzo Circunferencia (Ec 2.2.)})$$

$$t_{i1} = 0.02 \quad (\text{in}) \quad (\text{Espesor del cuerpo cilíndrico})$$

$$t_{i1\_mm} := t_{i1} \cdot 25.4$$

$$t_{i1\_mm} = 0.52 \quad (\text{mm})$$

$$t_{i2} := \frac{P_i \cdot r_i}{S \cdot E_1 + 0.4 \cdot P_i} \quad (\text{Esfuerzo longitudinal (Ec 2.3.)})$$

$$t_{i2} = 0.02 \quad (\text{in})$$

(Espesor del cuerpo cilíndrico)

$$t_{i2\_mm} := t_{i2} \cdot 25.4$$

$$t_{i2\_mm} = 0.52 \quad (\text{mm})$$

**Conclusión:** Efectuados todos los cálculos necesarios se obtuvo espesores de 0.52mm, siendo iguales tanto en el esfuerzo circunferencial como longitudinal.

A continuación se presenta el diseño de la cabeza en este caso de tipo toriesferica, por ser la cabeza más común que se fabrica en el país,

## Diseño de la cabeza

Se inicia con los valores del diámetro del faldón, radio de rebordeo, los valores anteriores de eficiencia de la junta, la resistencia del material y así obtener el valor del espesor.

## 2.2.1.2 Cabeza Toriesferica

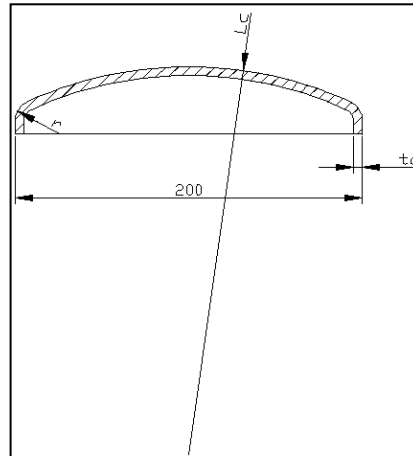


Figura 2.3 Esquema de la cabeza toriesferica

Párrafo:

UG-32 (e)

Material:

SA-240-TP304

Según UG 32 (j)

$L_c := D_o$  ( Diámetro exterior del faldón

$L_c = 8.40$  (in)

$r := 0.06 \cdot D_o$  ( radio de rebordeo )

$r = 0.50$  (in) (Ec 2.4.)

$$\frac{L_c}{r} = 16.67$$

Como  $L_c/r = 16 \frac{2}{3}$  aplicamos la siguiente fórmula

$$t_c := \frac{0.885 \cdot P_i \cdot L_c}{S \cdot E_1 - 0.1 \cdot P_i} \quad (\text{Ec 2.5.})$$

$t_c = 0.04$  (in) ( Espesor de la cabeza )

$t_{c\_mm} := t_c \cdot 25.4$

$t_{c\_mm} = 0.97$  (mm)

**Conclusión:** El espesor obtenido es de 0.97mm y al compararlo con el calculado en el cuerpo (0.52mm). Por lo tanto el mayor es el de la cabeza (0.97mm) pero por las condiciones a las que estará expuesta la cámara como la constante limpieza y un mal manejo se trabajará con mayor espesor. Por lo tanto de  $t = 5\text{mm}$ .

### Calculo en base a datos reales

#### Datos Reales

$$Lc1 := 13.78 \quad (\text{in})$$

$$r1 := 0.9 \quad (\text{in}) \quad (\text{radio de rebordeo real})$$

$$\frac{Lc1}{r1} = 15.31 \quad (\text{Diámetro exterior del faldón real})$$

Como  $Lc/r < 16 \frac{2}{3}$  se aplica la siguiente fórmula

$$M := \frac{1}{4} \cdot \left( 3 + \sqrt{\frac{Lc1}{r1}} \right) \quad (\text{factor de corrección})$$

$$tcr := \frac{\text{Pi} \cdot Lc1 \cdot M}{2 \cdot S \cdot E1 + \text{Pi} \cdot (M - 0.2)} \quad (\text{Espesor de la cabeza})$$

$$tcr = 0.06 \quad (\text{in})$$

$$tcr\_mm := tcr \cdot 25.4$$

$$tcr\_mm = 1.55 \quad (\text{mm})$$

**Conclusión:** El espesor obtenido con valores reales de radio de rebordeo y diámetro exterior del faldón es de 1.55mm y al compararlo con el teórico (0.97mm) existe un incremento del 60% pero se trabajó con espesor de 5mm que al final no altera el diseño y la construcción.

## 2.2.2 PRESIÓN EXTERNA

Con lo expuesto en la conclusión anterior se procede a calcular la presión externa que podrá soportar la cámara, para lo cual necesita el espesor (t), además de otros factores que son proporcionados por las características del material a utilizar, como el módulo de elasticidad a la temperatura que está sometida y factores que se encuentran en figuras anexadas al final del documento, para encontrar la presión de operación de la cámara.

### 2.2.2.1 Cuerpo Cilíndrico

#### **Codigo:**

ASME SECCION VIII DIVISION 1

**Párrafo :** UG 28

#### **CUERPO CILINDRICO**

#### DATOS

$$D_o = 8.40 \quad (\text{in})$$

$$L := \frac{200}{25.4}$$

$$L = 7.87 \quad (\text{in})$$

$$t := \frac{5}{25.4}$$

$$t = 0.20 \quad (\text{in})$$

( Espesor seleccionado para el cuerpo cilíndrico )

$$\frac{L}{D_o} = 0.94 \quad (\text{Ec 2.6.})$$

$$\frac{D_o}{t} = 42.67 \quad (\text{Ec 2.7.})$$

$A := 0.0045$  (Anexo A.3.)  
( fig. G en subparte 3 Sección II, Parte D )

$E := 29 \cdot 10^6$  (PSI) (Anexo A.4.)  
( Subpart 3 of Section II, Part D.)

$B := 17000$  (Anexo A.5.)  
(Fig. HA-1 Subpart 3 of Section II, Part D.)

$$P_a := \frac{4 \cdot B}{3 \cdot \left( \frac{D_o}{t} \right)} \quad (\text{Ec 2.8.})$$

$P_a = 531.18$  (PSI) ( Presión admisible del cuerpo  
cilíndrico )

**Conclusión:** La presión admisible para el cuerpo cilíndrico es de 531.18 PSI

### 2.2.2.2 Cabeza Toriesferica

**Párrafo:**

UG-33 (e,d)

**Material:**

SA-240-TP304

$t = 0.2$

(in) ( Espesor seleccionado para  
la cabeza )

$R_o := D_o$

$R_o = 8.40$

(in)

$$A_c := \frac{0.125}{\frac{R_o}{t}}$$

(Ec 2.9.)

$A_c = 0.0029$

(Anexo A.6.)

$B_c := 16000$

Fig. HA-1 Subpart 3 of Section II, Part I

$$P_{ac} := \frac{B_c}{\frac{R_o}{t}}$$

(Ec 2.10.)

$P_{ac} = 374.95$

(PSI) ( Presión admisible de la cabeza )

**Conclusión:** La presión admisible para la cabeza es de 374.95 PSI. Como se puede apreciar las presiones admisibles para el cuerpo cilíndrico y para la cabeza son distintas, entonces se procederá a seleccionar el menor valor de presión obtenida que es de 374.95 PSI.

Por lo tanto la presión admisible va hacer mayor que la presión externa ejercida sobre la cámara  $374.95 > 14.7$ , con esto se asegura el correcto funcionamiento.

Además del diseño de la cabeza y el cuerpo cilíndrico es necesario el cálculo de las placas bases, que servirán como asiento y proporcionaran el sello hermético en el conjunto de la cámara de vacío.

Para el cálculo de las placas base se va ha tomar como referencia la placa ubicada en la parte inferior, debido a que esta, va ha soportar los esfuerzos producidos por el vacío que se genera y el peso total de la cámara.

### 2.2.3 DISEÑO PLACAS BASES

**Párrafo:** UG 34

DATOS

Long := 300 (mm)

Anch := 300 (mm)

$d := \frac{260}{25.4}$  (in) ( Diámetro del circulo de pernos  
Factor de unión Cuerpo-Placa Base  
Fig. UG 34 (P) **(Anexo A.7)**

C := 0.25

Pi = 60.00 (PSI) Presión de diseño

$tp := d \cdot \sqrt{\frac{C \cdot Pi}{S \cdot El}}$  **(Ec 2.11.)**

tp = 0.37 (in) ( Espesor de la placa base )

tp\_mm:= tp · 25.4

tp\_mm= 9.31 (mm)

**Conclusión:** El espesor de la placa base tp es de 9.31mm, por lo tanto se utilizaran placas base de espesor igual a 10mm.

## 2.3 ANÁLISIS DE ESFUERZOS COMBINADOS

Los esfuerzos que van a ser analizados, corresponden a un recipiente cilíndrico sometido a presión externa, presentándose dos tipos de esfuerzos, Longitudinal y Circunferencial.

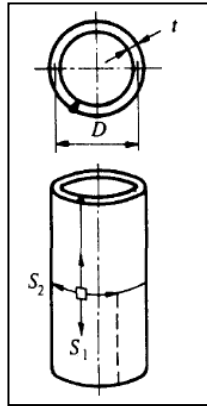


Figura 2.4 Esquema de los esfuerzos presentes.

### Párrafo:

UG-23

### DATOS

|                   |       |                                |
|-------------------|-------|--------------------------------|
| $t = 0.2$         | (in)  | (Espesor seleccionado)         |
| $D_i = 8.00$      | (in)  | (Diámetro interior)            |
| $P_{ac} = 374.95$ | (PSI) | (Presión admisible de trabajo) |

Esfuerzo Longitudinal ( $S_1$ )

$$S_1 := \frac{P_a \cdot D_i}{4 \cdot t} \quad (\text{Ec 2.12.})$$

$$S_1 = 5396.83 \quad (\text{PSI})$$

Esfuerzo Circunferencial ( $S_2$ )

$$S_2 := \frac{P_a \cdot D_i}{2 \cdot t} \quad (\text{Ec 2.13.})$$

$$S_2 = 10793.65 \quad (\text{PSI})$$



**Conclusión:** para una presión admisible de 374.95 PSI, se presentan esfuerzos longitudinal y circunferencial de 5396.83 PSI y 10793.65 PSI respectivamente

## 2.4 DISEÑO DE LA BOCA

El diseño de la boca se realizó en base al código ASME, sección VIII, división 1, párrafos UG 36 – 43.

Los datos requeridos para el cálculo de la boca fueron obtenidos de acuerdo al diámetro de la conexión de la bomba de vacío, cuyo diámetro interno es aproximadamente 1 pulgada, con está medida se procede a realizar los cálculos respectivos para obtener el espesor de tubería que va a ser colocada en la boca.

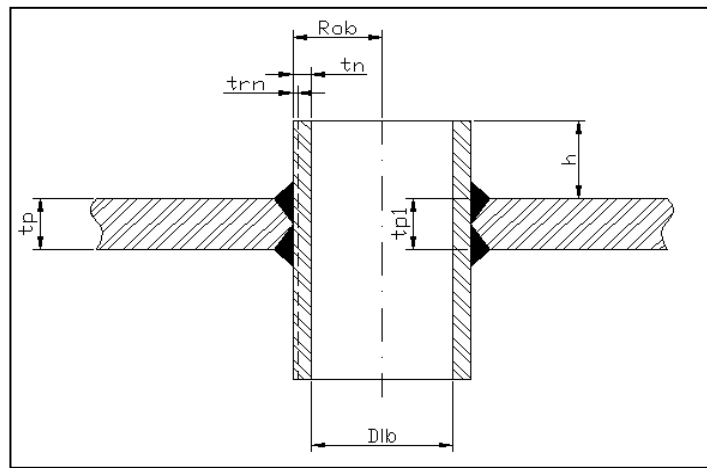
**Párrafo:** UG 36-43

### Condiciones de diseño para la boca

#### Material:

SA-240-TP304

|                              |       |  |
|------------------------------|-------|--|
| $D_n := 1$                   | (in)  | ( Diámetro nominal )   |
| Cédula = 40                  |       | (Anexo A.8.)   |
| $L_{s1} := \frac{5}{16}$     | (in)  | ( Garganta soldadura interior )  |
| $L_{s2} := \frac{5}{16}$     | (in)  | ( Garganta soldadura exterior )  |
| $t_n := 0.133$               | (in)  | ( Espesor nominal )  |
| $D_{ob} := 1.315$            | (in)  |  |
| $R_{ob} := \frac{D_{ob}}{2}$ |       | ( Radio Externo )  |
| $R_{ob} = 0.66$              | (in)  |  |
| $P_b := P_{ac}$              |       | ( Presión de diseño )  |
| $P_b = 374.95$               | (PSI) |  |
| $S = 16700.00$               |       | ( Esfuerzo del material Subparte 1, (Anexo A.1.)<br>Sección II, Parte D) |
| $E_1 = 0.70$                 |       | ( Tabla UW - 12, eficiencia de junta (Anexo A.2.)                        |



**Figura 2.5 Esquema de la Boca.**

### Desarrollo

$$\text{trn} := \frac{\text{Pa} \cdot \text{Rob}}{\text{S} \cdot \text{E1} + 0.4 \cdot \text{Pa}} \quad (\text{Espesor requerido en la pared de la boca}) \quad (\text{Ec 2.14.})$$

$$\text{trn} = 0.0293 \quad (\text{in})$$

$$\text{trn}_{\text{mm}} := \text{trn} \cdot 25.4$$

$$\text{trn}_{\text{mm}} = 0.75 \quad (\text{mm})$$

En el siguiente cálculo se va a verificar si es que la boca necesita refuerzo

### Areas

$$\text{tp} = 0.37 \quad (\text{in}) \quad (\text{Espesor de la placa base})$$

$$\text{tp1} := \text{tp}$$

$$\text{tp1} = 0.37 \quad (\text{in}) \quad (\text{Espesor de la placa base con C.A.})$$

$$\text{Dib} := 1.049 \quad (\text{in}) \quad (\text{Diámetro Interno Boca})$$

$$\text{CA} = 0.00 \quad (\text{in}) \quad (\text{Corrosión Admisible})$$

$$\text{Lim} := 2 \quad (\text{in}) \quad (\text{Límite máximo de altura de la boca})$$

$$h := \frac{1}{2} \quad (\text{in}) \quad (\text{Proyección interna de la boca})$$

$$\text{At} := \text{Dib} \cdot \text{tp} \quad (\text{Área total transversal}) \quad (\text{Ec 2.15.})$$

$$\text{At} = 0.38 \quad (\text{in}^2)$$

**Primera fuente de refuerzo** (Exceso de espesor en la pared del recipiente)

$$\text{A1} := (\text{tp1} - \text{tp}) \cdot \text{Dib} \quad (\text{Ec 2.16.})$$

$$\text{A1} = 0.00 \quad (\text{in}^2)$$

**Segunda fuente de refuerzo**

( Exceso de espesor en la proyeccion externa de la boca se toma el menor )

$$A2 := (tn - trn) \cdot 5tp \quad (\text{Ec 2.17.})$$

$$A2 = 0.19 \quad (\text{in}^2)$$

$$A21 := (tn - trn) \cdot 5 \cdot tn \quad (\text{Ec 2.18.})$$

$$A21 = 0.07 \quad (\text{in}^2)$$

**Tercera fuente de refuerzo**

( Exceso de espesor en la proyeccion interna de la boca )

$$h < lim$$

Altura es menor que el límite por lo tanto no existe problema con la proyeccion intern

$$A3 := (tn - CA) \cdot 2 \cdot h \quad (\text{Ec 2.19.})$$

$$A3 = 0.13 \quad (\text{in}^2)$$

**Cuarta fuente de refuerzo**

( Área disponible en las soldaduras )

$$A4 := Ls1^2 + Ls2^2 \quad (\text{Ec 2.20.})$$

$$A4 = 0.20 \quad (\text{in}^2)$$

**Análisis para verificar si se necesita colocar refuerzo**

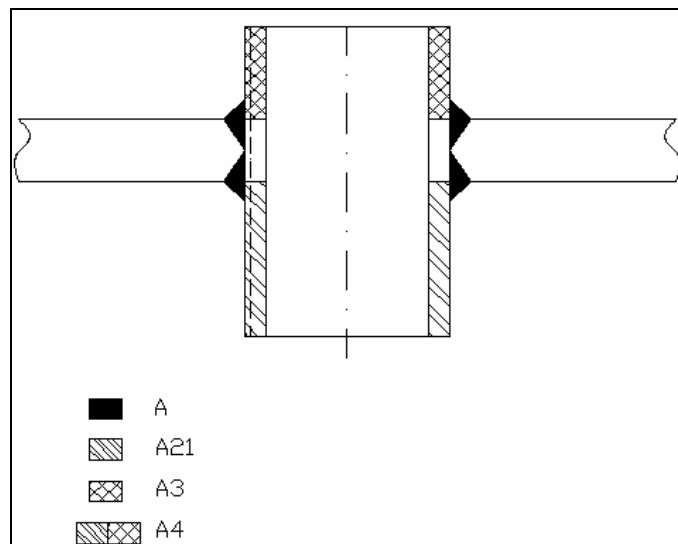
$$At = 0.38$$

$$AT := A1 + A21 + A3 + A4 \quad (\text{Ec 2.21.})$$

$$AT = 0.40$$

$$At < AT$$

**Conclusión:** Como At es menor que AT, por lo tanto no se necesita colocar refuerzo



**Figura 2.6 Esquema de Áreas de la Boca.**

## **2.5 PLANOS GENERAL**

( Ver Anexo B )

## **CAPÍTULO III**

### **CONSTRUCCIÓN DE LA CÁMARA**

#### **3.1 PLANOS DE TALLER**

(Ver anexo C)

#### **3.2 PROCESOS DE MANUFACTURA**

(Ver anexo D)

#### **3.3 TOLERANCIAS DE CONSTRUCCIÓN**

Indicadas en los planos de taller (Ver anexo C)

#### **3.4 CONSTRUCCIÓN DE LAS BOCAS**

Las bocas se construyeron de acuerdo al diseño y la necesidad de conectar el vacuometro y la bomba de vacío. Las dos bocas fueron soldadas en la cabeza de la cámara y en la placa base respectivamente. (Ver anexo C y D)

#### **3.5 CONFORMADO DE LA CABEZA**

Siendo difícil hallar matrices para el diámetro de diseño (8pulg.) el procedimiento para realizar el conformado de dicha cabeza (Toriesferica), fue complicado lo que llevó más tiempo que el programado para realizar este proceso.

Se elaboró un molde aproximado al requerido, para luego realizar el conformado a través del proceso de forja. (Ver anexos C y D)

### **3.6 ROLADO DEL CUERPO**

Se procedió a cortar la plancha de acero inoxidable de espesor 5 mm., utilizando la cortadora de plasma, luego se pulió las partes expuestas al corte que presentaban limallas y residuos debido al corte mismo, por último se roló el cuerpo con una baroladora cuya capacidad máxima es 10 mm. de espesor. (Ver anexo C y D)

### **3.7 ENSAMBLE**

Primeramente se unió el cuerpo (5 mm. de espesor) previo al proceso del rolado, luego hacia la brida (10 mm. de espesor), con el fin de darle la forma cilíndrica, posteriormente se colocó la cabeza (5 mm. espesor), se instaló una placa bajo la cabeza para sujetar al sustrato que será metalizado, finalmente una boca sobre la cabeza, para instalar el vacuometro, por el centro de esta se efectuó un pequeño orificio pasante para que el vacuometro pueda medir el vacío que se produce. Todas las uniones fueron realizadas por medio del proceso de soldadura.

Después de construida la cámara, es necesario darle un acabado superficial de buenas características a la superficie que será expuesta al vacío, para minimizar la cantidad de gas absorbido en las paredes del contenedor.

En la placa base se efectuó una perforación concéntrica en donde se soldará una boca (1" NPS) que servirá de nexo entre el vacío y el ambiente, es decir es una conexión hacia la bomba de vacío y una válvula de desfogue (válvula de globo 3/8"). (Ver anexo B)

# CAPÍTULO IV

## SISTEMA DE VACÍO

### 4.1 PRODUCCIÓN DE VACÍO

A lo largo de la historia de la ciencia hay una serie de cuestiones que han suscitado discusiones muy vivas. El vacío es una de ellas. Quizás porque ciertos conceptos como el tiempo o como el vacío afectan al cuadro general con que se aborda el estudio de la realidad. En cierto modo, son conceptos que aluden a los límites de la realidad: el tiempo, por ejemplo, no es directamente perceptible sino como parámetro del cambio. El vacío, por su parte, es el límite máximo en la rarificación de la materia, su ausencia.

En esa larga búsqueda de los componentes últimos de la naturaleza, el vacío ha ido ganando protagonismo. Pero ese vacío no es sólo un componente de la realidad, yuxtapuesto a otra cosa la materia que sería el no-vacío.

La revolución teórica y práctica sufrida por las ciencias físicas en este siglo ha mostrado que la separación entre materia y no-materia (vacío) no es un límite insalvable, que la relación entre ambos términos es profunda. Por una parte, Einstein enseñó que la masa podía transformarse en energía (según la famosa ecuación  $E=mc^2$ ); por otra parte, la mecánica cuántica condujo al modelo del comportamiento dual onda / partícula. Los dos lados de la realidad dejaron, pues, de ser compartimentos estancos.

La definición hoy aceptada del vacío recoge esta ambigüedad: entiende que el vacío es una fluctuación de campo de pares de partículas-antipartículas, fluctuación de media nula. Eso explicaría que una alteración de esa fluctuación diera como resultado la “paradoja” de la emisión de partículas por parte del vacío. Son fenómenos que han sido detectados en el laboratorio y que se confirman en la paradoja de la emisión de partículas por parte de un agujero negro, emisión en principio inesperada por cuanto un agujero negro es una

concentración gravitatoria de tal intensidad que no deja escapar de sí ni a la propia luz.

Esta paradoja del vacío como emisor de partículas señala un paso más en la comprensión de los límites de la realidad. Esta ya no se compone de dos ámbitos, vacío y materia, perfectamente independientes. La visión premoderna negó uno de esos componentes, el vacío; el siguiente paso fue admitirlo como componente posible, pero como simple contrapunto inerte de lo existente. El último paso ha sido poner en relación los dos ámbitos aparentemente contradictorios.

LA IMPORTANCIA del vacío no estriba tanto en su generación, ni en el significado físico que tiene, sino en su gran utilidad que lo hace acreedor de un número enorme de estudios y usos. Se depende del vacío desde el proceso fundamental de respirar, hasta en los más grandes adelantos industriales y científicos. Debido a esto, se propone dar una idea general de su amplio campo de aplicación.

En la tabla 4.1 se presenta una descripción de las aplicaciones del vacío, y a continuación se exponen de manera breve varias de ellas con la finalidad de profundizar un poco en los respectivos temas.



**TABLA 4.1. Aplicaciones de las técnicas de vacío.**

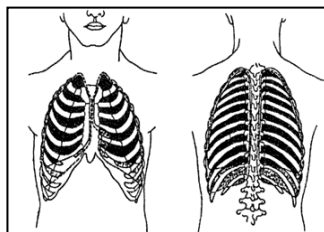
| <b>APLICACIONES DE LAS TÉCNICAS DE VACÍO.</b>   |  |   |
|---|--|---|
| <b>Tipo de Vacío</b>  | <b>Objetivo</b>                                | <b>Aplicaciones</b>   |
| Bajo Vacío  | Obtener una diferencia de presión              | Levitar, moldear, levantar, transportar   |
| Medio Vacío   | Remover constituyentes activos de la atmósfera | Lámparas (incandescentes, fluorescentes, tubos eléctricos), fundición, recocido, empaquetado, encapsulado, detección de fugas   |
|   | Remover gases ocluidos o disueltos             | Secado, deshidratación, concentración, degasamiento, liofilización, impregnación  |
|   | Disminuir la transferencia de energía          | Aislamiento térmico, aislamiento eléctrico, microbalanza de vacío, simulación espacial  |
| Alto Vacío  | Evitar colisiones                              | Tubo de electrones, rayos catódicos, televisión, fotoceldas, fotomultiplicadores, rayos X, aceleradores, espectrómetros de masas, separadores de isótopos, soldadura de haz de electrones, calentamiento, microscopio electrónico, recubrimiento, destilación molecular |
| Ultra Vacío   | Obtener superficies limpias                    | Fricción, adhesión, estudios de emisión, pruebas de materiales para uso especial  |
| <b>Referencia:</b><br><a href="http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_11.htm">http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_11.htm</a> |  |   |

## 4.1.1 APLICACIONES DEL VACIO

### 4.1.1.1 La mecánica de la respiración

El acto respiratorio depende por completo del hecho de que la cavidad torácica, que es la caja formada por las costillas, es en efecto un compartimento cerrado, cuya única abertura al exterior es la tráquea, que es el conducto que va a la garganta. Por consiguiente, cuando aumenta el volumen de la cavidad torácica, disminuye la presión en la misma, y el vacío generado da lugar a que el aire sea aspirado hacia el interior por la tráquea; cuando disminuye el volumen, aumenta la presión en la cavidad ocasionando la expulsión del aire. La respiración consiste sencillamente en expansiones y contracciones periódicas de la cavidad torácica producidas por contracciones intermitentes de los músculos respiratorios y retracciones pasivas de los pulmones elásticos.

Ahora bien, los músculos respiratorios se clasifican en inspiratorios y expiratorios. Los inspiratorios van desde el cuello y brazos, hasta las costillas y desde una costilla hasta la siguiente. Cuando se contraen, levantan las costillas empleando la cavidad torácica. El descenso de la base del tórax también provoca inspiración; esta acción la realiza el músculo respiratorio más importante: el diafragma, que aunque a menudo se piensa que es sólo un tabique que separa el abdomen del tórax, en realidad es un órgano de notable diseño y prodigiosa actividad, capaz de mantener una respiración adecuada cuando todos los otros músculos respiratorios están paralizados (Figura 4.1)<sup>11</sup>. Al contraerse las fibras del diafragma en la inspiración, se aumenta la dimensión vertical de la cavidad torácica.



**Figura 4.1. Pulmones humanos.**

<sup>11</sup>Fuente: [http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec\\_11.htm](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_11.htm)

La expiración es primordialmente un acto pasivo debido a la reacción elástica de los pulmones. Los cambios de presión durante la respiración tranquila son pequeños, pero suficientes para mover el aire hacia dentro y hacia fuera. Al final de la inspiración, la tendencia de los pulmones a retraerse hace que la presión en la pleura, que es la bolsa que rodea a los pulmones, descienda de 760 torr hasta 751 torr y se genera con ello un vacío ligero. La diferencia de presión es pequeña, pero el área es grande y la fuerza es suficiente para provocar los movimientos respiratorios.

La tecnología de vacío, por otro lado, ha contribuido al avance médico, y un ejemplo de esto es el equipo utilizado en la *respiración artificial*. Cuando el acto de la respiración ha cesado, se puede renovar el aire en los pulmones con este método mecánico, el cual comprende dos técnicas denominadas *resucitadores* y *respiradores corporales* ("pulmones de acero"). Un resucitador ventila los pulmones aplicando de manera alternada presiones positivas y negativas (con respecto a la presión ambiental) mediante una máscara facial o una sonda traqueal. Este dispositivo es empleado a menudo por bomberos y salvavidas que atienden casos agudos de deficiencia respiratoria en sitios alejados de un hospital (Figura 4.2)<sup>12</sup>

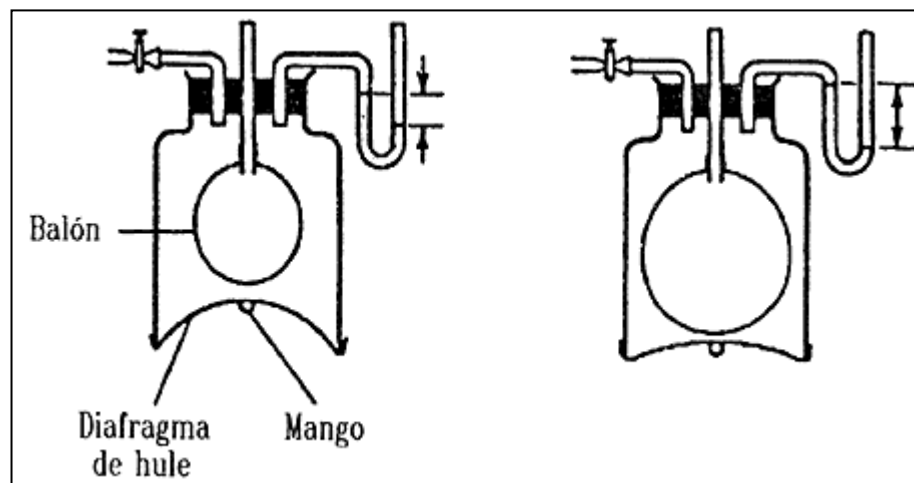


Figura 4.2. Pulmón artificial.

<sup>12</sup>Fuente: [http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec\\_11.htm](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_11.htm)

Un "pulmón de acero" difiere de un resucitador en que opera sobre el fuelle torácico, no mediante la aplicación de presión sobre la nariz y la boca, sino mediante la aplicación directa de presiones positivas y negativas alternadas sobre todo el tórax. Para hacerlo, se coloca al sujeto en una cámara cerrada, cilíndrica, de presión, que deja salir sólo la cabeza del individuo, con un collar de hule perfectamente ajustado al cuello. La presión dentro de la cámara se aumenta y disminuye alternadamente por medio de una bomba eléctrica. Las presiones alternas expanden y comprimen el tórax, sustituyendo con éxito los movimientos respiratorios normales. Este tipo de aparato ha mantenido con vida a muchas personas durante años después de una falla respiratoria.

#### **4.1.1.2 La producción de azúcar**

Aproximadamente 85% del azúcar de caña obtenida en el campo se produce en forma "cruda", la cual requiere un proceso de refinamiento (Figura 4.3)<sup>13</sup>. Dicho tratamiento se inicia al moler la caña y obtener el jugo, éste se purifica mediante calentamiento, agregando una suspensión de hidróxido de calcio. Acto seguido, se envía a un clarificador continuo de jugo donde es separado en un jugo claro y uno turbio. El primero se manda a un evaporador y el segundo a un filtro continuo rotatorio de vacío. Los filtrados son agregados al jugo claro y se envía al evaporador. Esta nueva mezcla de miel cruda se concentra en un horno de vacío hasta que se cristaliza la azúcar formando un nuevo concentrado conocido como masacote. Por último, los cristales de azúcar se separan del masacote por medio de un centrifugador. Es importante la producción de azúcar "cruda" por el uso que tiene en la elaboración de productos como comidas preparadas, almíbares, bebidas, alcohol, azúcar de uso casero y dulces.

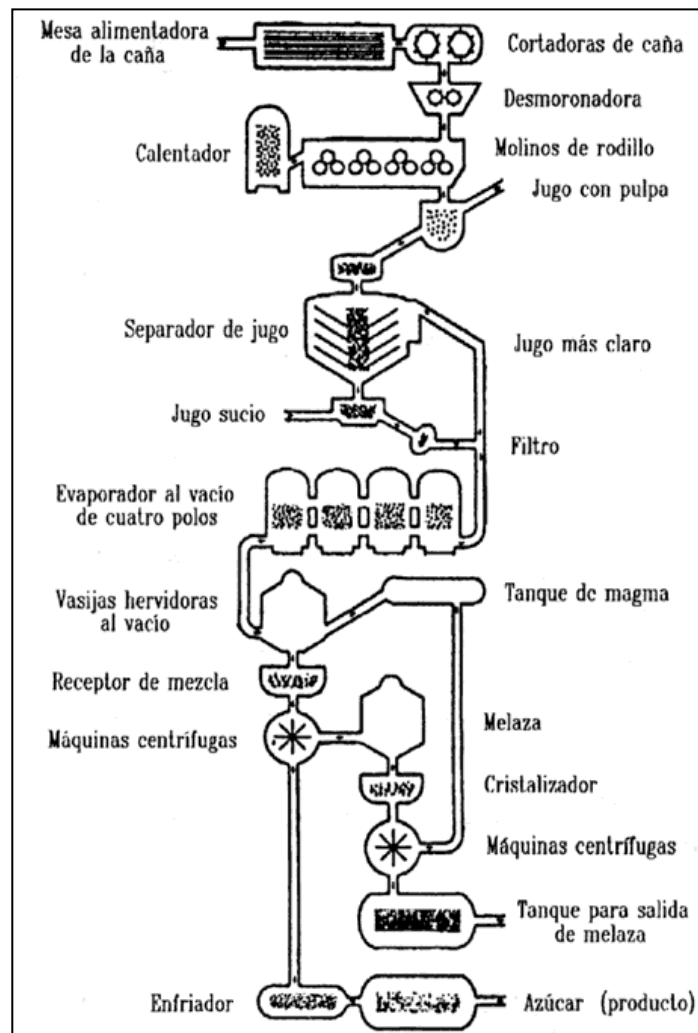


Figura 4.3. Proceso de refinamiento del azúcar

#### 4.1.1.3 Los frenos en sistemas automotrices

La mayoría de los frenos automotrices constan de dos semicírculos que tienen una superficie de fricción y son presionados contra el interior del tambor, al cual está sujeto el aro de la llanta del vehículo.

El incremento en la velocidad y peso de los vehículos de los años cincuenta hizo difícil la operación eficaz de los frenos hidráulicos, por lo que la mayoría de los vehículos fueron equipados con sistemas de frenos de potencia; éstos se diferencian de los frenos hidráulicos en que el pistón del cilindro maestro es operado por un pistón y cilindro entre los cuales existe vacío, en lugar de la presión ejercida sobre el pedal del freno (véase la figura 4.4)<sup>14</sup>. El cilindro

<sup>13</sup>Fuente: [http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec\\_11.htm](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_11.htm)

maestro y el cilindro de vacío forman una unidad. Cuando el conductor empieza a oprimir el pedal del freno, la válvula de control cierra los puertos atmosféricos. Al seguir oprimiendo, el pedal abre el puerto que conecta la entrada del vacío con el cilindro de vacío a la izquierda del pistón. La tubería de vacío está conectada a la entrada del múltiple de escape, y cuando la válvula de vacío abre el puerto se forma un vacío en el lado izquierdo del pistón. La presión atmosférica que actúa en el lado derecho del pistón causa que éste se mueva hacia la izquierda, ejerciendo así presión sobre el pistón del cilindro esclavo, lo cual ocasiona que las llantas frenen.

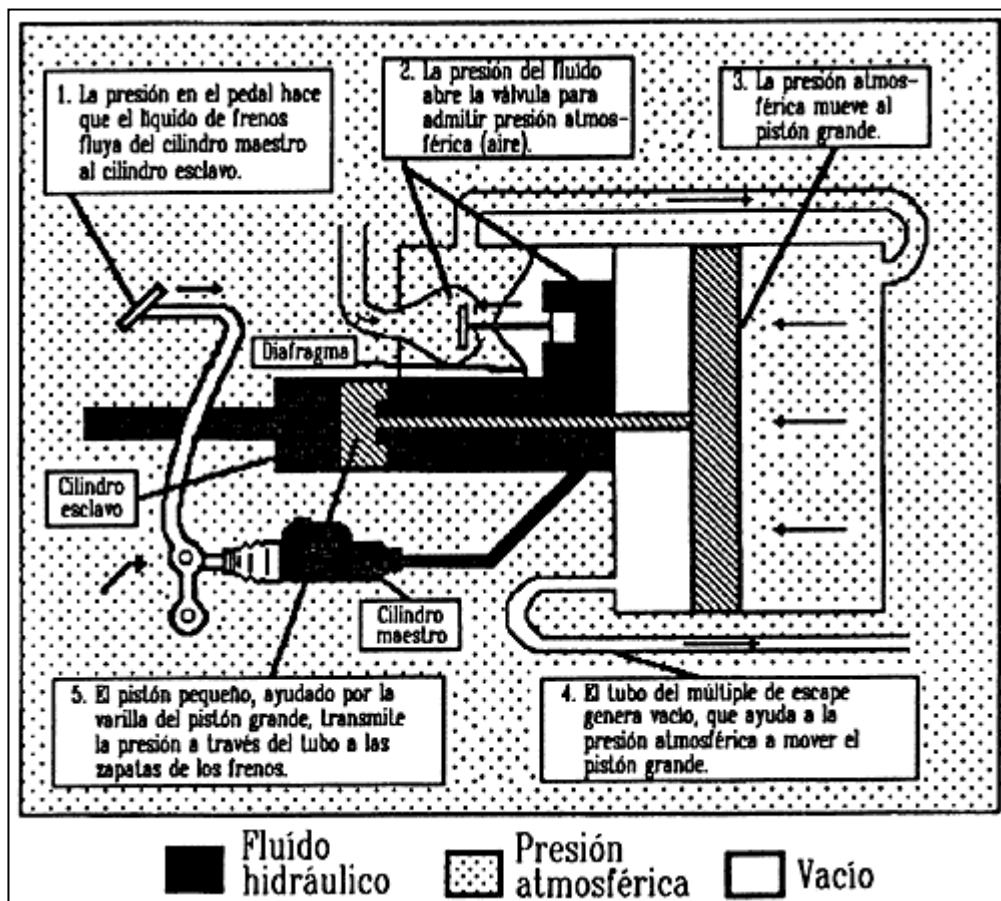


Figura 4.4. Corte esquemático de un sistema de frenos de potencia activado mediante vacío.

<sup>14</sup>Fuente: [http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec\\_11.htm](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_11.htm)

#### **4.1.1.4 La conservación de alimentos**

El proceso de liofilización (secado mediante congelamiento) se usa para conservar ciertos productos químicos delicados, sustancias biológicas o tejidos. En este proceso, el material es congelado y en condiciones de alto vacío se elimina el agua sublimándola a vapor mientras el material se mantiene congelado. Esto permite establecer condiciones de temperatura y presión específicas para mantener el material sólido en el mejor nivel para una exitosa deshidratación y para favorecer una satisfactoria rehidratación.

Durante el proceso de liofilización la estructura celular de muchos materiales se mantiene esencialmente intacta y se preserva la característica básica del producto; mientras que en el caso de otros productos, su forma cambia a la de un polvo, aunque se conservan sus características básicas. Este proceso es necesario para ciertos materiales en extremo delicados, pero también se usa en la elaboración de comida procesada. Por ejemplo, el primer uso importante fue en la producción de un mejor café instantáneo, seguido por el desarrollo de comida preparada, como carne. Ésta puede ser liofilizada y transformada en un material de apariencia esponjosa que cuando es reconstituido al agregar agua, tiene mucho de la apariencia y sabor del material original.

Por último se mencionará la aplicación en la transportación de verduras, las cuales se enfrían mediante un sistema de enfriamiento al vacío, produciendo la rápida evaporación de pequeñas cantidades de agua con el fin de evitar su pronta descomposición durante el transporte; algunos ejemplos de verduras que se someten a este proceso son: espinacas, lechugas y repollo.

#### **4.1.1.5 El termo**

El termo es un recipiente de pared doble en el que el espacio entre ambas paredes es evacuado (está al vacío). Fue inventado por el físico y químico James Dewar por los años de 1890. Un recipiente se considera un termo cuando el envase de vidrio se protege con una cobertura metálica.

El termo se creó para preservar gases licuados y evitar la transferencia de calor del medio ambiente al líquido. El espacio entre las paredes de vidrio

prácticamente no conduce el calor; la radiación se reduce a un mínimo mediante el aluminizado de las paredes internas del termo. La vía principal por la cual se puede comunicar calor al interior de la botella es por el cuello, que es la única unión entre las paredes, el cual, en consecuencia, se hace del menor tamaño posible (Figura 4.5)<sup>15</sup>.

El aislamiento térmico se aplica tanto para conservar el frío como el calor, y por este medio es posible mantener la temperatura de un líquido por un periodo largo de tiempo.

#### 4.1.1.6 Los envases

Los envases se fabrican dependiendo de las características del producto que se va a envasar; al diseñarlos se toman en cuenta cuatro aspectos importantes: el tipo de producto, su mercado, el problema de la producción y el costo de operación.

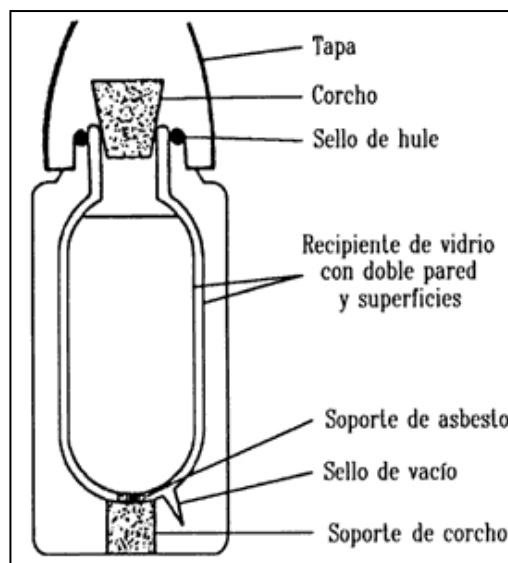


Figura 4.5. Envase al vacío.

<sup>15</sup>Fuente: [http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec\\_11.htm](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_11.htm)

En la industria alimenticia, el empaquetado y embotellado de los diferentes alimentos requiere varios tipos de envases para los productos resultantes del



procesamiento, la esterilización, la pasteurización, así como deshidratación y congelamiento rápido.

Los envases metálicos o "latas", como comúnmente se conocen, y los contenedores de plástico como botellas y tarros se llenan al vacío (entre otras técnicas de llenado). Esto se hace con la intención de conservar las propiedades químicas y físicas del producto y evitar un crecimiento microbiológico contaminante en el mismo.

El llenado al vacío es la forma más limpia, eficiente y económica de manejar muchos productos. Por ejemplo, a pesar del cuidado que se tiene en la fabricación y en la limpieza de las botellas, siempre existe un porcentaje de agujeros, astillas y agrietamientos. Las máquinas para llenar al vacío detectan de manera automática estos defectos.

El sistema de vacío requiere de un tanque de alimentación que se encuentra por debajo del nivel de las botellas que serán llenadas; del tanque de alimentación sale la tubería que se une al conector que hará contacto con la boca de la botella, así como la línea del receptor de sobreflujo. Cuando la máquina se enciende, se crea un vacío en el receptor de sobreflujo y hace succión sobre el conector. Cuando la boca de la botella entra en contacto con el conector se forma un vacío dentro de la botella (siempre y cuando la botella no tenga imperfecciones). El vacío succiona el líquido del tanque de alimentación a través del conector, llenando la botella. Al llegar el líquido al receptor de sobreflujo, automáticamente se corta el vacío, causando la detención inmediata del líquido. Entonces, el conector se separa de la botella y ésta pasa a la siguiente etapa. Con este sistema no es necesario lavar o limpiar la parte externa de las botellas antes de etiquetarlas, ya que pone la cantidad correcta de producto sin derramarlo.

#### **4.1.1.7 Los concretos**

El concreto es un producto endurecido creado al mezclar material granular (arena, grava o piedra) químicamente inerte, con cemento y agua. Ha sido

empleado como material de construcción durante siglos, pues en la mayoría de las civilizaciones han existido depósitos naturales de cemento. En vestigios encontrados de civilizaciones de la zona mediterránea se descubrieron restos de concreto del tipo usado en las construcciones romanas, los cuales se consideran los primeros indicios de construcciones de concreto.

Los diversos tipos de concretos para propósitos estructurales diferentes se identifican por la naturaleza del agregado, el cemento y ciertos atributos especiales o tratamientos. Entre los tipos de concreto existentes se encuentra uno que es elaborado en condiciones de vacío, llamado "concreto tratado al vacío".

Este concreto es sometido a una succión inmediatamente después de haber sido puesto en un molde. En tal proceso se extrae parte de la humedad dejando un concreto más seco que, pasado un tiempo, alcanzará una dureza mucho mayor que la del concreto común. Esto hace que se use ordinariamente un proceso de vacío en la fabricación de losas de concreto y productos similares hechos con prensas hidráulicas.

#### **4.1.1.8 La cerámica industrial**

La cerámica industrial comprende todo tipo de materiales sólidos, que no sean metálicos u orgánicos, usados en la industria. Dentro de las diferentes estructuras químicas de las cerámicas están: policristalinas, vidrios, combinaciones de multicristales con fases cristalinas, o cristales simples. Algunas de las propiedades de la cerámica que la hacen tan útil son su durabilidad química (a temperaturas normales y elevadas) además de su bajo deterioro por agua líquida o vapor, oxígeno, ácidos, bases, sales en altas concentraciones y solventes orgánicos, así como la posibilidad de ser decorada con una amplia gama de colores, texturas y dibujos.

Los materiales primarios que se usan para hacer la cerámica se preparan por lo general mediante reacciones químicas que involucran precipitación, filtración, calcinación y reacciones de estado sólido, así como mediante la técnica de secado por congelamiento. Esta última técnica supone un procesamiento al vacío, similar al que se explicó con anterioridad para el caso de la conservación

de alimentos. La cerámica ha sido de gran utilidad en la industria química, eléctrica, nuclear, automotriz, aeroespacial y electrónica.

#### **4.1.1.9 Las centrífugas**

Una centrífuga es una máquina en la cual se separan partículas sólidas o líquidas con diferentes densidades, por rotación a alta velocidad en un recipiente cilíndrico. En la actualidad está muy extendido el uso de estas máquinas para la concentración y purificación de materiales en suspensión o disueltos en fluidos.

La concentración de materiales en suspensión se logra debido a que las partículas sólidas son, en general, más densas que las líquidas. Al girar el recipiente, el líquido tiende a viajar a la periferia en donde encuentra el rápido desalojo del sistema, mientras que las partículas sólidas se agrupan en el centro de rotación.

En términos generales, las centrífugas se clasifican en tres categorías dependiendo de si la escudilla del vaso rotatorio tiene pared sólida, perforada o si es una combinación de ambas. En la industria hay varias clases de centrífugas, como las centrífugas de botella, las centrífugas tubulares, las centrífugas tipo disco, las de filtro, y las ultracentrífugas al vacío.

Las centrífugas industriales funcionan mediante el giro de un rotor, estando el material a presión atmosférica. Al aumentar la velocidad del rotor, la temperatura puede llegar a aumentar por arriba del punto de ebullición del agua, lo que afecta el sistema y la sustancia con que se está trabajando. Esto hace que se usen a velocidades moderadas.

Las ultracentrífugas, funcionan al vacío. La presión que rodea al rotor es ahora menor que  $10^{-6}$  torr y por medio de un termostato en la cámara de vacío se controla la baja temperatura existente ( $\sim 1.5^{\circ}\text{C}$ ), por lo que la cámara queda libre de gradientes térmicos. Este tipo de ultracentrífugas es indispensable en laboratorios donde se necesita purificar sustancias de importancia en bioquímica, biofísica, biología y medicina. La ultracentrífuga presentada en la figura 4.6<sup>16</sup> puede tener dos usos: para determinar pesos moleculares de varias

proteínas y para purificar materiales biológicos que no pueden ser separados con facilidad por medio de otras técnicas.

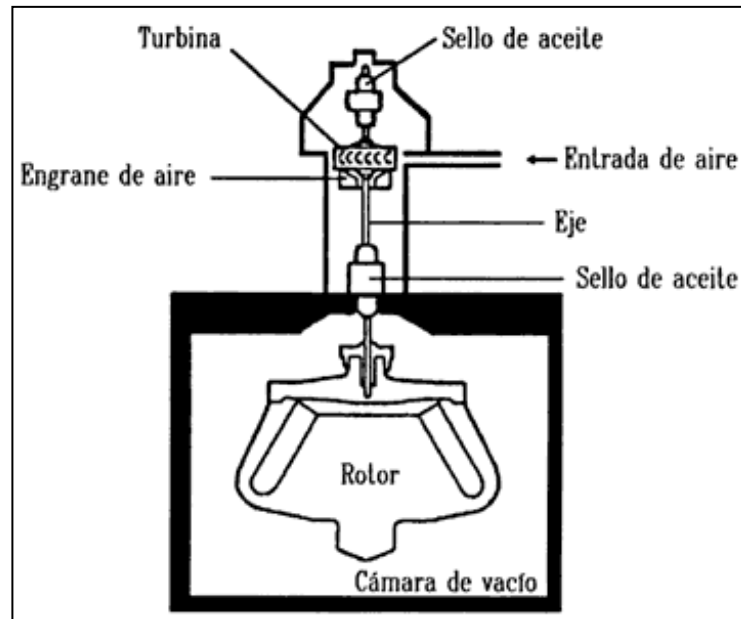


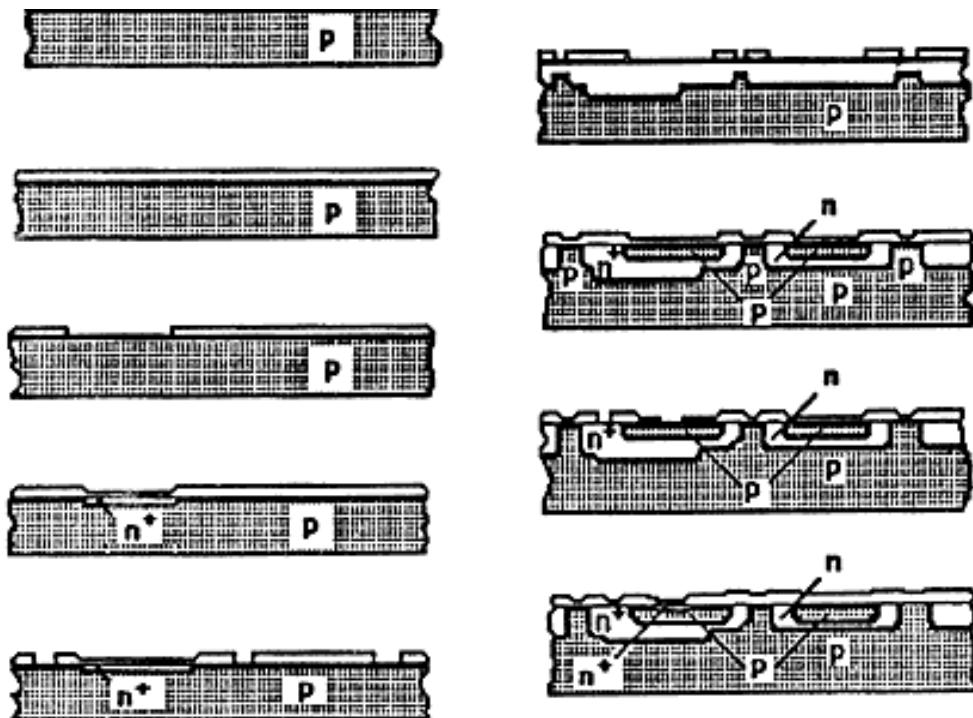
Figura 4.6. Ultracentrífuga de tipo vacío.

#### 4.1.1.10 Circuitos integrados (metalizado)

Un circuito integrado es una combinación de elementos electrónicos interconectados, tales como transistores y diodos, que están inseparablemente asociados con una base continua de material (sustrato). Generalmente los elementos de un circuito son de tamaño microscópico, por lo que también se usa el término de microcircuitos. Los beneficios de los circuitos eléctricos incluyen: menor tamaño, bajo consumo de energía, mayor velocidad de operación y reducción de costo.

<sup>16</sup>Fuente: [http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec\\_11.htm](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_11.htm)

Los tres tipos básicos de circuitos integrados que existen son: el circuito integrado monolítico, el circuito integrado multichip y los circuitos integrados en película, cuyos elementos son películas formadas sobre sustratos aislados. Las películas se hacen evaporando el material que la formará en un sistema aislado, al vacío, que también contendrá al sustrato. El material se vaporiza y se condensa sobre el sustrato. Este tipo de circuitos se utilizan para la fabricación de componentes para electrónica pasiva; por ejemplo, arreglos de resistencias (partes que impiden el flujo de corriente eléctrica) y capacitores (partes para restaurar la carga eléctrica). Este tipo de circuitos puede ser de películas gruesas o de películas delgadas, dependiendo principalmente de la técnica empleada para el depósito (ver Figura 4.7)<sup>17</sup>.



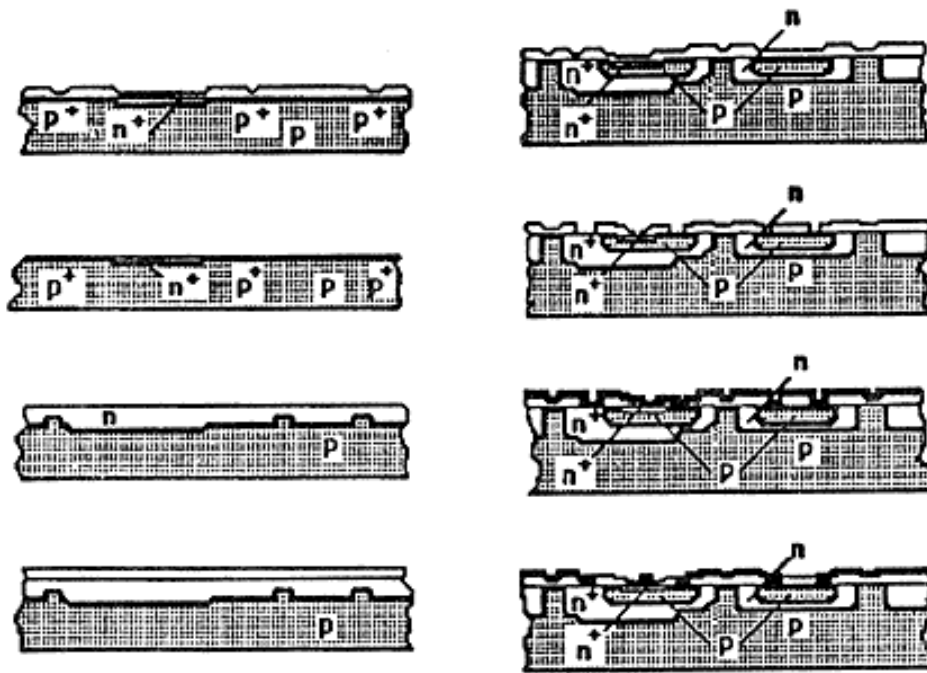


Figura 4.7. Sección transversal de un circuito integrado hecho a base de películas delgadas en un sistema al vacío.

#### 4.1.1.11 El motor de gasolina

La máquina de combustión interna surgió en el siglo XIX, un siglo después de las primeras máquinas de vapor que impulsaron la Revolución Industrial. La máquina de gasolina es una forma especializada de la máquina de combustión interna, obtiene su potencia al quemar una mezcla de vapor de gasolina y aire. Por sus aplicaciones y usos ha sido la máquina de combustión interna de más éxito a través del tiempo, y el motor de los automóviles es su aplicación más importante.

De las diferentes técnicas para recobrar la potencia de un proceso de combustión, la más importante ha sido el *ciclo de cuatro tiempos*, el cual se ilustra en la figura 4.8<sup>18</sup>. Con la válvula de entrada abierta, primero desciende el pistón durante el tiempo de entrada. Entonces, debido al vacío parcial creado, se introduce al cilindro una mezcla explosiva de vapor de gasolina y aire. Se comprime la mezcla cuando el pistón asciende durante el tiempo de

<sup>17</sup>Fuente: [http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec\\_11.htm](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_11.htm)

compresión con ambas válvulas cerradas. Casi al final de este proceso, se enciende la carga mediante una chispa eléctrica. Esto inicia el tiempo de potencia, que continúa con ambas válvulas cerradas fijamente, y la presión del gas, creada por la expansión del gas encendido, que presiona sobre la cabeza del pistón. Durante el tiempo de evacuado, al ascender el pistón obliga a los productos de la combustión a salir a través de las válvulas de evacuado abiertas. El proceso se vuelve a repetir requiriendo de los cuatro tiempos del pistón (entrada, compresión, potencia y evacuado).

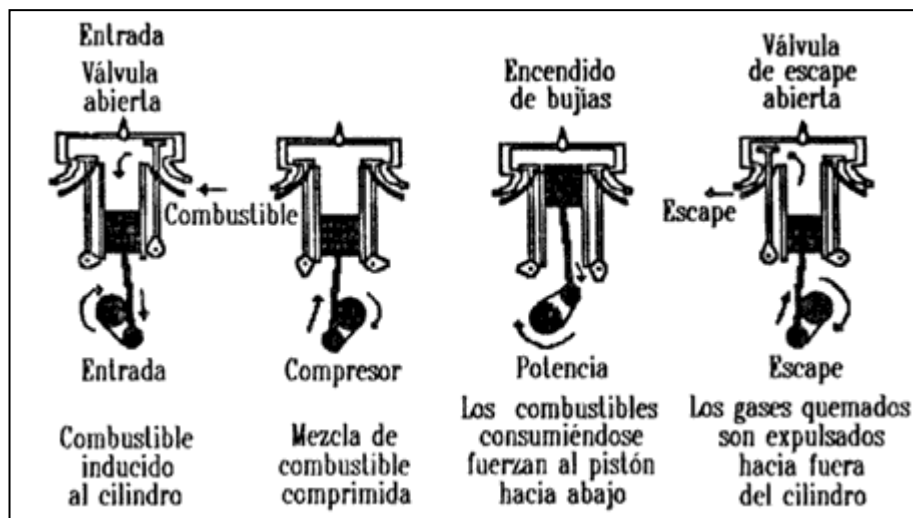


Figura 4.8. Pasos de un ciclo de cuatro tiempos.

#### 4.1.1.12 La metalurgia

Se denomina procesos metalúrgicos a los procesos relacionados con la purificación de los materiales extraídos de los minerales. Los procesos metalúrgicos constan de una serie de pasos por los cuales las impurezas minerales que tienen que ser aisladas se reducen a metales, refinamientos o aleaciones. La separación se logra ya sea por extracción o por revestimiento mineral, haciéndolos disponibles con ciertas especificaciones. La manera antigua de hacerlo era por medio de cambios químicos que rompían o

<sup>18</sup>Fuente: [http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec\\_11.htm](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_11.htm)

descomponían las impurezas minerales dentro de sus componentes metálicas y no metálicas. Los pasos que se siguen para recobrar metales de los minerales son normalmente seleccionados con base en varias consideraciones, entre ellas, la naturaleza química de los propios minerales, los cuales pueden ser sulfitos, óxidos, carbonatos, silicatos u otras especies. Existen tres clases de métodos: 1) la pirometalurgia, que hace uso del calor; 2) la electrometalurgia, que usa la electricidad, y 3) la hidrometalurgia, que hace uso del agua.

Se analizará una parte del proceso de la pirometalurgia que involucra técnicas de vacío en su desarrollo, como es el fundido inducido por vacío. La pirometalurgia es cualquier proceso metalúrgico extractivo en que se utilizan altas temperaturas, resultantes de la acción del calor de algún combustible como gasolina, aceite o energía eléctrica.

A continuación se explica la técnica de fundido inducido por vacío. Primero que nada, se dirá que la preparación de metales en el estado líquido es una fase distinta en la mayoría de los procesos metalúrgicos. El fundido es el inicio de una serie de operaciones por las cuales el metal se lleva hasta su forma final. El fundido inducido por vacío se usa principalmente en tratamientos de metales reactivos, como el titanio, que debido a su afinidad con gases de nitrógeno, oxígeno e hidrógeno, debe ser fundido y tratado bajo condiciones de vacío o en presencia de un gas inerte.

En el fundido inducido por vacío, la carga con que se calienta el material, previamente puesto al vacío, se aplica de forma externa. Iniciado el proceso los gases son removidos de la cámara, sosteniendo así la presión establecida para el tratamiento. La cámara tiene a su vez un sistema de circulación de agua fría que limita la contaminación entre el fundido y las paredes de la cámara. Este método se usa mucho en la consolidación de metales reactivos y refractarios, así como en la producción de altas temperaturas y energías para la formación de aleaciones.

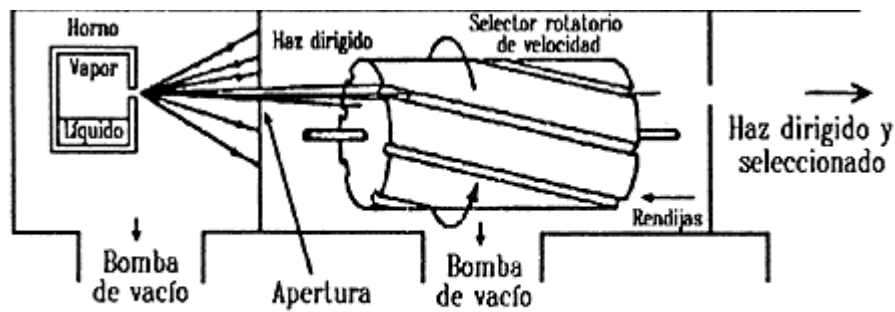


#### **4.1.1.13 Los aceleradores de partículas**

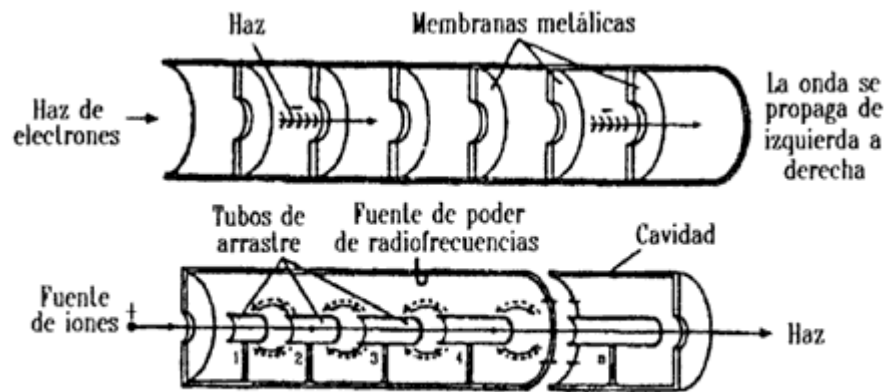
Un acelerador de partículas es un sistema que produce un haz de rápido movimiento, eléctricamente cargado, con partículas atómicas y subatómicas. La efectividad de un acelerador se caracteriza por la energía cinética con que se mueven las partículas. La unidad de energía que se emplea es el electrón voltio (eV), trabajando con energías desde 1.2 MeV (millones de eV) hasta 1.2 GeV (miles de millones de eV), según el acelerador. Una característica importante de las partículas aceleradas es que son de masa muy pequeña, por lo que la energía cinética en este rango corresponde a velocidades muy altas. Por ejemplo, la velocidad de un haz pequeño de iones acelerados es de aproximadamente 8 000 kilómetros por segundo. Las partículas que son aceleradas son los electrones, positrones o átomos ionizados, tales como hidrógeno ionizado y helio ionizado.

Los aceleradores de partículas se utilizan en la investigación científica de la estructura del núcleo, la naturaleza de las fuerzas nucleares y las propiedades del núcleo que no se encuentran en elementos naturales; como los presentes en los elementos inestables. En medicina los aceleradores se usan en la producción de radioisótopos, terapias contra el cáncer, esterilización de materiales biológicos; mientras que en la industria se aplican en la obtención de radiografías industriales y polimerización de plásticos. Se tienen, por sus diferentes usos, aceleradores de distintas características, como el betatrón, ciclotrón, acelerador lineal de electrones o protones, microtrón, etcétera.

Un acelerador de partículas tiene tres componentes esenciales: una fuente de las partículas que serán aceleradas, una cámara de vacío donde se acelerarán, y una fuente de campo eléctrico necesaria para el efecto de aceleración (Figura 4.9)<sup>19</sup>.



a



b

Figura 4.9. a) Acelerador de partículas; b) forma distinta de colimar un haz.

#### 4.1.1.14 Destilación del petróleo al vacío

El petróleo se encuentra en la naturaleza y consiste en una mezcla compleja de hidrocarburos, que son compuestos que contienen hidrógeno y carbón. En el proceso de refinamiento de petróleo se obtiene gasolina, aceite de motor y petroquímicos, entre una gran variedad de sustancias.

Según la región de donde se obtiene el crudo, se ha encontrado que cada petróleo es diferente y, por lo tanto, puede utilizarse para distintos propósitos. Por ejemplo, el petróleo mexicano es pesado por ser rico en asfalto, mientras que el crudo argelino es ligero comparado con éste.

<sup>19</sup>Fuente: [http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec\\_11.htm](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_11.htm)

La separación del petróleo en sus componentes se hace por medio de la destilación fraccional, conocida como proceso primario de refinamiento, a cual puede ser seguida por otros métodos de separación física. La extracción de solventes es un ejemplo de ello, donde una cantidad de lubricantes son extraídos por medio de un solvente.

En la figura 4.10<sup>20</sup> se puede ver los principios de operación de una unidad de destilación fraccional. Una unidad de destilación fraccional es de forma cilíndrica y tiene aproximadamente 45 m de alto. Tiene entre 30 y 40 placas perforadas que la dividen en intervalos rectangulares, donde el petróleo es primero bombeado hasta la cima del destilador, y después desciende dentro de él, expuesto a diferentes temperaturas durante el descenso. Los hidrocarburos que forman el petróleo tienen distintos puntos de ebullición, y cada uno de éstos determina el producto que se obtiene. Por ejemplo, el punto de ebullición de la gasolina es de 25-95°C; el de la naftalina es de 95-150°C; el del keroseno, 150-230°C, y el del aceite, 230-340°C. El residuo de esta destilación es el asfalto.

La destilación al vacío se hace utilizando un destilador del tipo fraccional pero con menor diámetro en la columna para mantener comparable la velocidad de vapor a presión reducida. El vacío se produce mediante expulsores de vapor en la destilación al vacío. Esta técnica es importante dentro de los procesos de destilación, pues por medio de ella se ha logrado que componentes menos volátiles puedan ser destilados sin aumentar la temperatura al intervalo en el que ocurre el rompimiento, como sucedería a presión atmosférica. Esto significa que se puede destilar sin exponer el destilador a altas temperaturas, lo cual trae consigo ahorros considerables en el gasto de energía.

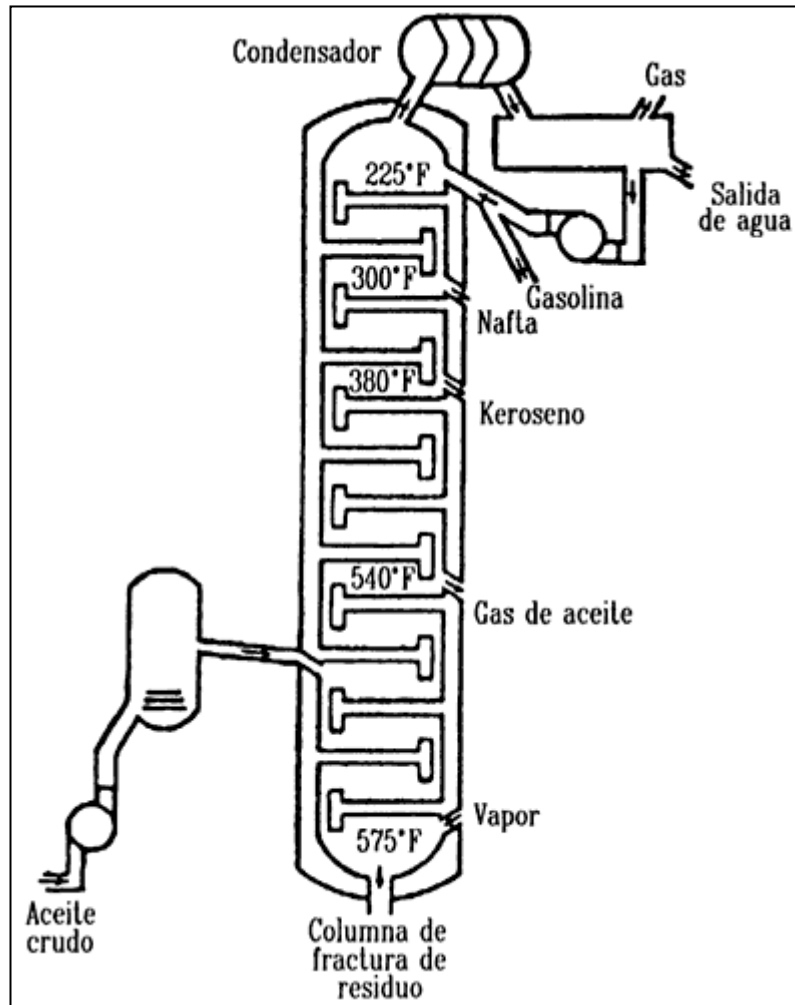


Figura 4.10. Unidad de destilación fraccional.

#### 4.1.1.15 La manufactura y fabricación de plásticos

El procesamiento de plásticos requiere de materiales de diversos tipos, éstos se pueden dividir en: 1) componentes naturales, como la celulosa, los productos derivados del petróleo y el hule; 2) componentes químicos, y 3) aditivos, como estabilizadores, antioxidantes y colorantes.

<sup>20</sup>Fuente: [http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec\\_11.htm](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_11.htm)

Las técnicas básicas para el procesamiento de plásticos suponen un equipo especial para su fabricación y terminado. Las máquinas para este tipo de operación son máquinas mecánicas, soldadoras, proceso de radiación, metalización al vacío, electroplateado, impresos, pintura y decoración.

La metalización al vacío es uno de los métodos más sencillos para hacer recubrimientos metálicos sobre plásticos. Básicamente consiste en la evaporación del metal, usualmente aluminio, sobre la superficie del plástico dentro de una cámara de alto vacío. Una cámara común mide 2 m de diámetro y contiene manipuladores para rotar las piezas de plástico con la finalidad de obtener un recubrimiento uniforme. Se utiliza un filamento de tungsteno para la evaporación del metal. En el filamento se deposita el material a evaporarse, se calienta y con esto se provoca la evaporación. La metalización al vacío se lleva a cabo en un ambiente de muy baja presión atmosférica, entre  $10^{-7}$  y  $10^{-10}$  torr (Figura 4.11)<sup>21</sup>. El metalizado de plásticos se usa en procesos de decoración, en la formación de capacitores eléctricos y cortes finos para placas metálicas.

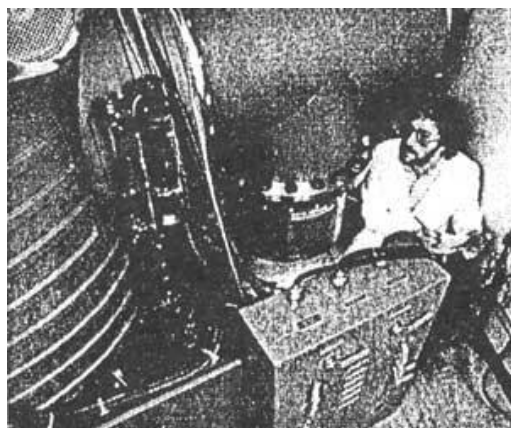


Figura 4.11. Equipo para recubrimientos metálicos.

#### 4.1.1.16 La manufactura de sal

En la manufactura de sal a partir de la salmuera o el agua de mar se usa la evaporación; ésta se logra por medio del Sol o por calentamiento artificial, que es el caso que interesa al tema de nuestro estudio.

---

<sup>21</sup>Fuente: [http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec\\_11.htm](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_11.htm)

El calentamiento artificial se lleva a cabo a partir de efectos múltiples en evaporadores al vacío, y el producto obtenido forma cristales de sal, que son utilizados en la industria para el procesamiento de alimentos. La salmuera o el agua de mar es bombeada a tanques de asentamiento, donde los componentes de calcio y magnesio son removidos mediante tratamientos químicos, y después se pasa a otro depósito donde es evaporada. La evaporación al vacío ocurre sobre la superficie del líquido, formándose entonces el cristal de sal. La evaporación al vacío es un proceso similar al de liofilización de alimentos. La forma de aumentar la eficacia de la evaporación es colocar tres tanques para evaporación; la característica principal es que el vapor del primer tanque sea lo suficiente para provocar la ebullición de la salmuera o agua de mar, la cual se envía al segundo tanque, y el vapor del segundo, suple el calor para operar el tercer recipiente (Figura 4.12)<sup>22</sup>.

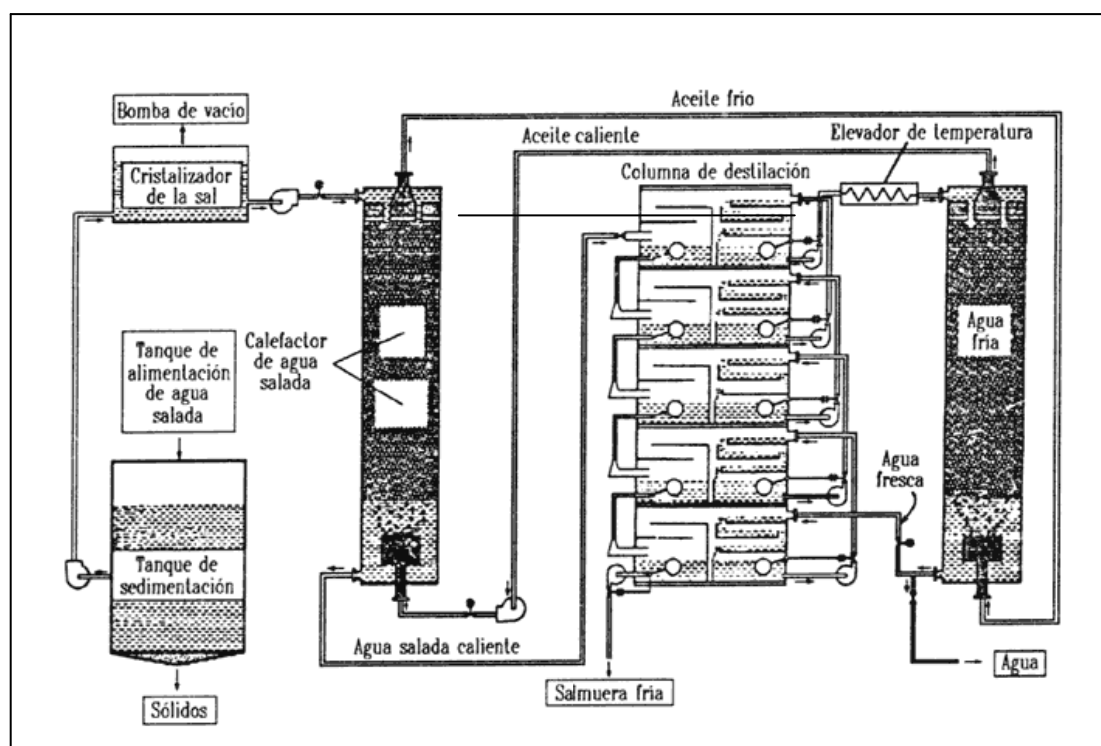


Figura 4.12. Procesamiento de sal.

<sup>22</sup>Fuente: [http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec\\_11.htm](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_11.htm)

La diferencia entre estos métodos de evaporación es la siguiente: mientras en la evaporación por medio del Sol se requiere alrededor de 4 500 a 5 400 kg de vapor para producir 900 kg de sal, en la evaporación por medio de tanques al vacío la cantidad de vapor se reduce a 630 kg para obtener una tonelada de sal.

#### **4.1.1.17 Los haces moleculares o atómicos**

Un haz molecular o atómico es un grupo de moléculas o átomos moviéndose a altas velocidades y viajando en la misma dirección. Se generan en mecanismos al vacío y viajan dentro de un sistema también al vacío. El estudio de estos haces se lleva a cabo para obtener un conocimiento más amplio acerca del comportamiento molecular o atómico del haz, así como de las interacciones entre el haz y materiales sólidos, gases y campos eléctricos o magnéticos.

La deflexión del haz en campos eléctricos o magnéticos da información acerca de la estructura y propiedades (como rotación y espín) de las moléculas, o átomos, en el haz. El estudio de la interacción del haz con la materia se conoce como espectroscopía de haz molecular. Mediante haces moleculares se puede limpiar imperfecciones en superficies, o conocer su constitución química y física.

#### **4.1.1.18 La producción de acero inoxidable**

El horno eléctrico tiene un uso muy extendido en la producción de aceros con un alto porcentaje de cromo, especialmente en la de acero inoxidable, que contiene arriba del 5% de dicho elemento. Las temperaturas ordinarias para fabricar el acero son alrededor de 1 600°C. Este tipo de horno no es práctico por la pérdida de cromo que sufre el acero durante su manufactura. Otra manera más eficaz de procesar el acero inoxidable que con el horno eléctrico es mediante su *procesamiento al vacío*, que se explica a continuación.

Si el acero líquido viene en contacto con humedad o agua, el hidrógeno del agua se puede disolver en el metal debido a la reacción resultante. El nivel usual de hidrógeno encontrado es una porción de una a diez partes por millón de su peso. Cuando el acero se sobreenfría, la solubilidad del hidrógeno en el

acero disminuye; y si el acero es enfriado muy rápidamente, el hidrógeno emigra a la superficie y escapa, debido a lo cual se pueden presentar pequeñas rupturas en la superficie del acero.

Para eliminar el hidrógeno y con él las rupturas en el acero inoxidable cuando se solidifica, se necesita poner el acero líquido en una cámara de vacío, lo cual permite que el hidrógeno sea bombeado y reducido de 1.5 a 2 partes por millón. Si el acero no entra en contacto con humedad antes de ser solidificado, el problema de las rupturas internas puede ser eliminado.

El oxígeno también disminuye por el bombeo en la cámara de vacío, ya que en combinación con el carbón forma monóxido de carbono, que es un gas y se bombea. Además, de esta forma se evitan las pérdidas de cromo que puede haber durante el proceso en el horno eléctrico debido a la combinación del cromo con el desoxidante.

#### **4.1.1.19 Los expulsores de vapor**

El expulsor de vapor hace uso de la energía cinética desarrollada mediante una descarga de vapor a través de un conector, para producir vacío. En las plantas modernas de energía, los expulsores de vapor se utilizan para remover gases no condensables de las superficies condensadoras. Los expulsores de vapor también se usan en las operaciones donde el producto debe ser expuesto al vacío.

El agua puede ser refrigerada por el uso de un expulsor de vapor. Para esto se rocía el agua dentro de la zona de vacío generada por el expulsor de vapor, y después puede ser empleada en sistemas de aire acondicionado o procesos de enfriamiento.

#### **4.1.1.20 Innovaciones a los transportes ferroviarios**

El ferrocarril ha sido uno de los transportes colectivos más usados durante el presente siglo. Ya en los umbrales del siglo XXI, se han propuesto varias ideas para el mejoramiento del sistema ferroviario con la finalidad de aumentar su comodidad y, aún más importante, la seguridad del viaje y la rapidez de su realización. Una de estas ideas ha venido tomando forma por la accesibilidad a



nuevas tecnologías: el sistema de tubo gravedad-vacío. Este nuevo modelo supone un concepto que data del siglo XIX: un tren que pueda ser acelerado y frenado por una combinación de gravedad y presión atmosférica. El tren habrá de tener una sección transversal circular y será mucho más largo que la mayoría de los actuales. Con las ruedas ubicadas entre los carros, un tren de este tipo formará una especie de empaque para sellar con las paredes del tubo, el cual podrá descender de cada estación y ascender a la siguiente. La gravedad reforzará la fuerza ejercida por la presión atmosférica mientras se genera vacío en la porción del tubo enfrente del tren. El bajo costo de construcción del tren hace atractivo el proyecto, aunque el problema a enfrentar es la elaboración de frenos óptimos para el sistema. La figura 4.13<sup>23</sup> ilustra un prototipo.

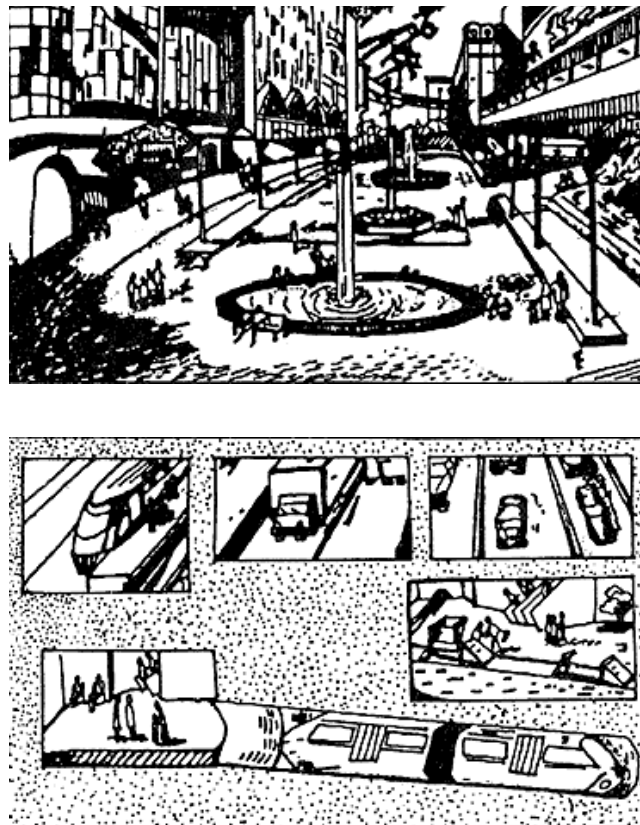


Figura 4.13. Transporte ferroviario.

---

<sup>23</sup>Fuente: [http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec\\_11.htm](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_11.htm)

#### 4.1.1.21 El tubo de rayos catódicos

Los tubos de rayos catódicos están al vacío y contienen un circuito eléctrico para la emisión de electrones. El circuito consta de un cátodo, un ánodo y un filamento conectados a una fuente de voltaje. En algunos casos, en vez de vacío se emplea un gas a baja presión.

El tubo de rayos catódicos es de gran utilidad en la industria y sus aplicaciones son muy variadas. Con él se ha creado la televisión, que sirve para amplificar señales débiles de radio o audio, generando oscilaciones eléctricas para radiofrecuencias o tonos de audio. También se usan para la producción de rayos X, así como en los osciloscopios, etc. Agregando un gas al tubo de rayos catódicos se puede obtener lámparas incandescentes, las lámparas de neón, por ejemplo.

Los electrones en los tubos de rayos catódicos se producen por emisión termoiónica de un cátodo. En este proceso se calienta un metal (cátodo) a altas temperaturas, lo cual provoca que los electrones de dicho metal se exciten, adquiriendo la energía necesaria para escapar de la superficie metálica. La dirección que toma el haz de electrones se controla con el ánodo (Figura 4.14)<sup>24</sup>.

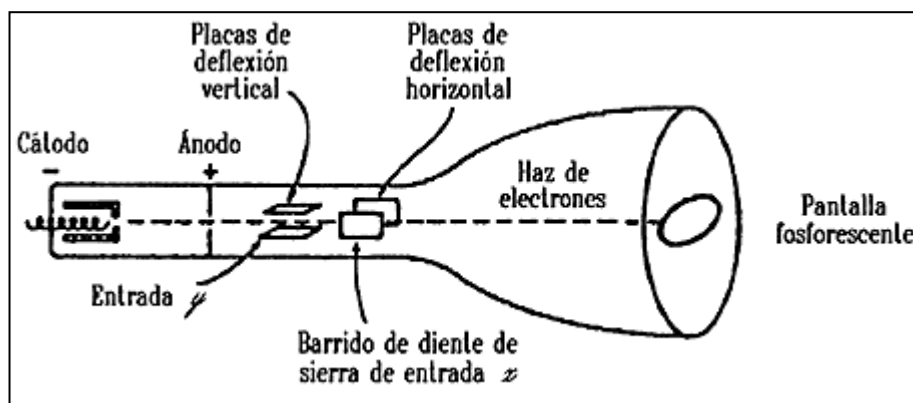


Figura 4.14. Diagrama de un tubo de rayos catódicos.

<sup>24</sup>Fuente: [http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec\\_11.htm](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_11.htm)

#### 4.1.1.21.1 Algunas aplicaciones del tubo de rayos catódicos

*Televisión.* La pantalla de la televisión se encuentra en la parte interna de uno de los extremos del tubo de rayos catódicos (sección transversal mayor), y está compuesta de dos materiales fluorescentes, los cuales brillan con luz amarilla o azul por el choque de electrones sobre la pantalla. Dichos electrones provienen del extremo delgado del tubo. Para un viaje más eficiente de los electrones desde su fuente a la pantalla se necesita que el ambiente se encuentre a presiones mucho menores que la atmosférica, de otra forma chocan con las moléculas de gas y se desvían. El mismo principio se emplea en pantallas de computadora, y de una forma un poco más compleja, en la televisión a colores (Figura 4.15)<sup>25</sup>.

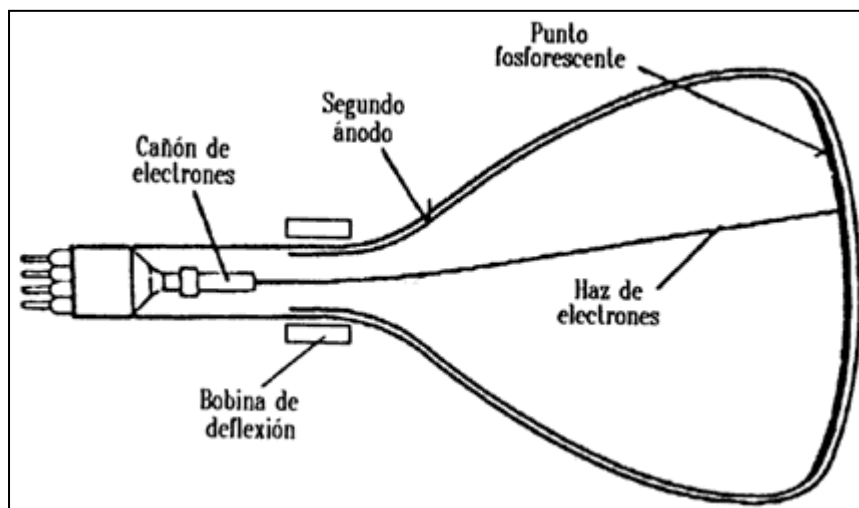


Figura 4.15. Elementos básicos de una pantalla monocromática.

*Lámparas incandescentes.* Cuando se le agrega un gas a un envase después de haber estado al vacío, es conveniente conocer la especie del gas de que se trata para aprovechar las características específicas del gas. Al aplicar una corriente eléctrica al filamento localizado dentro del envase, se puede crear en él una pequeña corriente de electrones que al chocar con el gas contenido en el envase produce iones. Los iones producidos viajan en dirección del cátodo (que se mantiene a temperatura alta por el calentador), y el impacto de los

<sup>25</sup>Fuente: [http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec\\_11.htm](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_11.htm)

iones con el cátodo produce la emisión de electrones termoiónicos que al chocar con las partículas del gas producen nuevamente iones. Cuando la cantidad de electrones termoiónicos es suficiente para producir los iones necesarios que generarán a su vez electrones suficientes para sostener el proceso, el gas en el tubo comienza a brillar obteniéndose así la descarga incandescente (Figura 4.16)<sup>26</sup>.

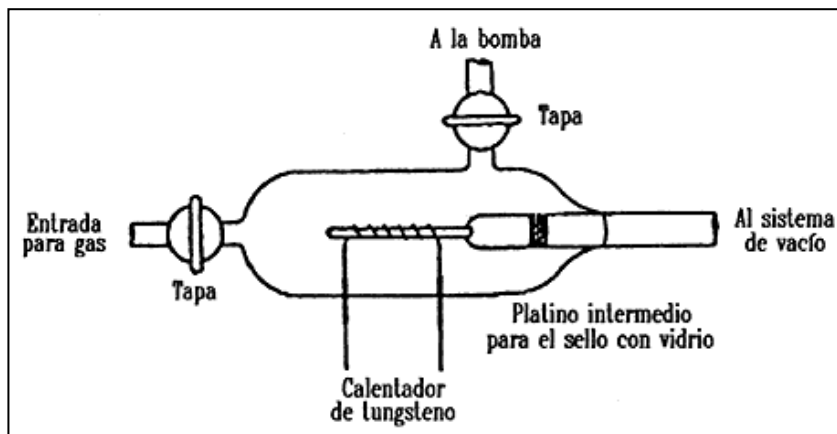


Figura 4.16. Lámparas incandescentes.

#### 4.1.1.22 La simulación espacial

##### *El vacío en el espacio*

La presión atmosférica a nivel del mar es de 760 torr, y la presión decrece con la altitud. Cerca de los 90 km de altitud la presión decrece a  $10^{-3}$  torr (troposfera y estratósfera). A los 1 000 km, la presión es de aproximadamente  $10^{-10}$  torr. Se calcula que después de esta altura la presión decrece en proporciones pequeñas, por lo que a los 10 000 km la presión es =  $10^{-13}$  torr. Por esta razón son importantes para la tecnología espacial las técnicas de ultra alto vacío, que ayudan en las pruebas de naves espaciales, trajes, materiales, satélites, autotransportes, equipo y herramienta en condiciones extremas de baja presión y microgravedad. La simulación espacial se hace en cámaras especiales, proporcionando un conocimiento más claro de los efectos obtenibles en el espacio y de la confiabilidad en el equipo con que se cuenta para este campo (Figura 4.17)<sup>27</sup>.

<sup>26</sup>Fuente: [http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec\\_11.htm](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_11.htm)

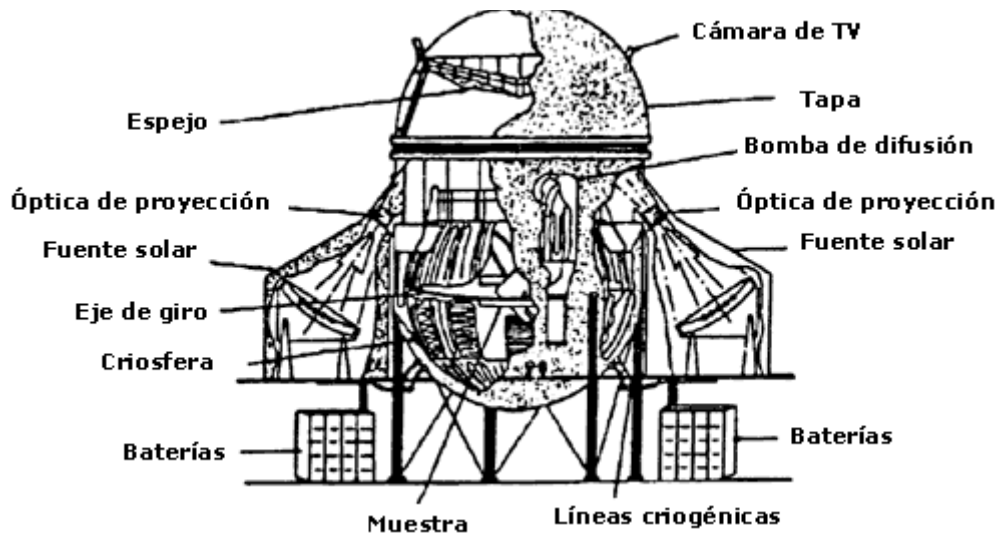
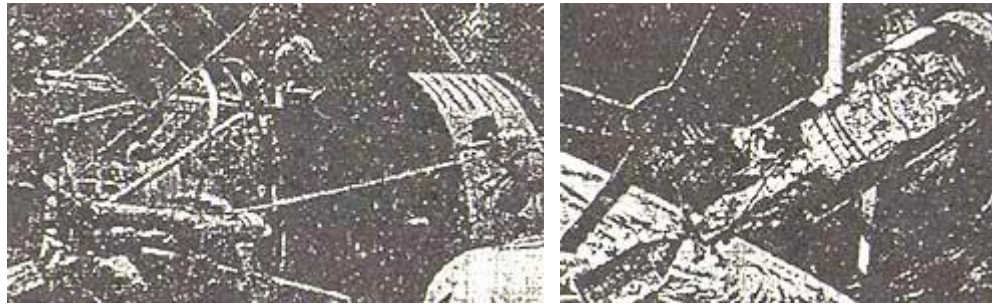


Figura 4.17. Simulación espacial.

#### 4.1.2 BOMBAS DE VACÍO

Las aplicaciones del vacío tanto en la industria como en los laboratorios de investigación son numerosas y variadas. Las bombas de vacío trabajan solamente en un rango de presiones limitado; por ello la evacuación de los sistemas de vacío se realiza en varias etapas, usándose para cada una de ellas una clase de bomba diferente.

El funcionamiento de una bomba de vacío está caracterizado por su velocidad de bombeo, y la cantidad de gas evacuado por unidad de tiempo. Toda bomba de vacío tiene una presión mínima de entrada, que es la presión más baja que puede obtenerse, y también, un límite superior a la salida o presión previa. Si la presión previa aumenta por encima de este valor, el bombeo cesa.

<sup>27</sup>Fuente: [http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec\\_11.htm](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_11.htm)

Las bombas previas, son capaces de bombear a partir de la presión atmosférica, hasta una presión a la cual empiezan a funcionar las bombas de alto vacío. El tipo de bomba previa más corriente es la rotativa con paletas deslizantes.

En esta clase de bombas de vacío debe evitarse la condensación de vapores, en particular el vapor de agua, pues causaría la contaminación del aceite. Por este motivo, la mayoría de las bombas actuales están equipadas con la llamada válvula de lastre de gas o "gas ballast", que trabaja de la siguiente manera: una vez comprimido el gas en el cuerpo de la bomba, se inyecta aire desde el exterior a través de la válvula de lastre, con lo cual la válvula que descarga a la atmósfera se abre antes, y reduce la relación de compresión para el vapor.

En términos generales, la historia del desarrollo de las bombas de vacío puede ser trazada como sigue: primero, se realizó la modificación de las bombas de agua existentes con pistones y válvulas, las cuales dejaron de utilizarse a finales del siglo XIX. Entonces se volvió a un concepto más primitivo de bombas de *pistón* de mercurio líquido. Después se estableció el uso de bombas mecánicas rotatorias, seguidas de adaptaciones de bombas de vapor, turbomaquinaria y, por último, de bombas basadas en fenómenos de ionización, combinación química y adsorción criogénica.

**TABLA 4.2. Historia de las bombas de vacío**

| <b>Historia de las bombas de vacío</b> |                     |                                    |
|--|---------------------|------------------------------------|
| <b><i>Año</i></b>                      | <b><i>Autor</i></b> | <b><i>Descubrimiento</i></b>       |
|  |                     |                                    |
| Siglo VIII                             | Hauskbee y Nollet   | Mejoras a la bomba de Von Guericke |
| 1850                                   | Geissler y Toepler  | Bomba de columna de Hg             |
| 1865                                   | Sprengel            | Bomba de gota de Hg                |
| 1905                                   | Wolfgang Gaede      | Bomba de vacío o rotatoria         |

|   |                 |                             |
|---|-----------------|-----------------------------|
| 1913  | Wolfgang Gaede  | Bomba molecular de vacío    |
| 1915  | Wolfgang Gaede  | Bomba de difusión           |
| 1916  | Irving Langmuir | Condensación-difusión       |
| 1923  | F. Holweck      | Bomba molecular             |
| 1935  | Wolfgang Gaede  | Bomba de balastra           |
| 1936  | Kenneth Hickman | Bomba de difusión de aceite |
| 1953  | Schwartz y Herb | Bomba iónica                |
|   |                 | Bomba criogénica            |
| <b>Referencia:</b>  |                 |                             |
| <a href="http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_8.htm">http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_8.htm</a> |                 |                             |

La tecnología actual del vacío permite obtener vacíos que van desde casi la presión atmosférica hasta  $10^{-13}$  torr mediante una gran variedad de sistemas de bombeo. El dispositivo conveniente para hacer vacío depende de cuál sea la aplicación que se le quiera dar.

#### 4.1.2.1 Parámetros y clasificaciones de las bombas de vacío

La selección de la bomba de vacío que va a emplearse para un cierto proceso está definida por sus parámetros específicos, los cuales determinan sus propiedades. Los parámetros más importantes de los sistemas de vacío son: **la presión más baja que puede lograr, el intervalo de presión, la velocidad de bombeo, la presión de descarga y el gas residual.** Un ejemplo de la utilización de bombas en un sistema típico de alto vacío se ilustra en la figura 4.18<sup>28</sup>.

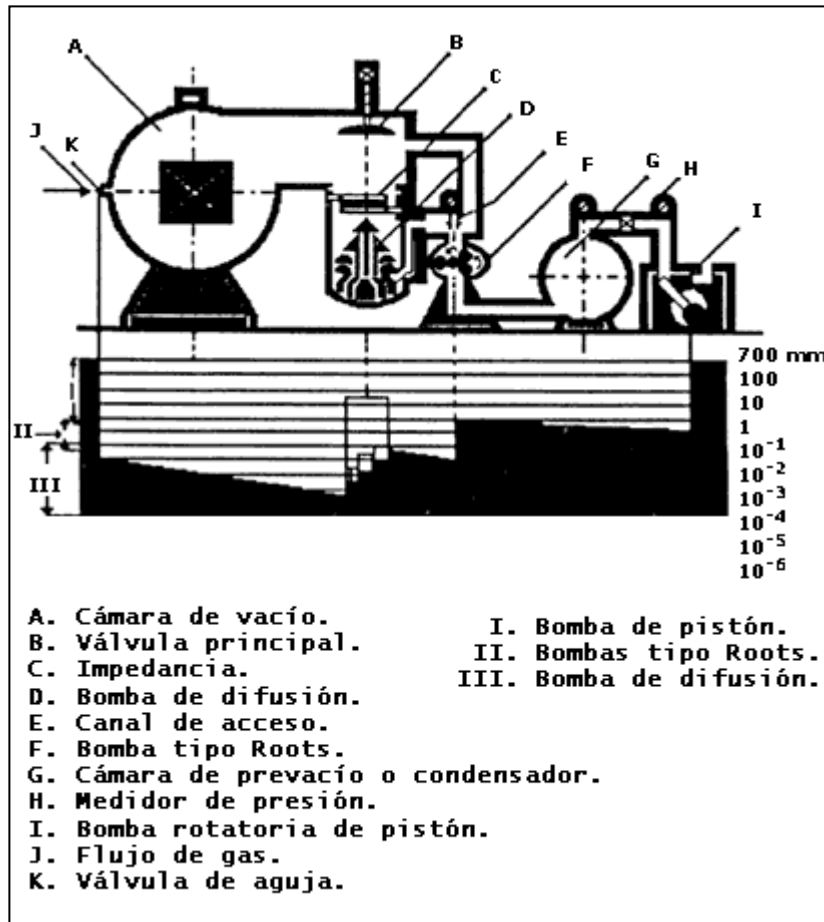


Figura 4.18. Sección transversal esquemática de un sistema industrial de vacío.

Por otra parte, la clasificación de las bombas de vacío se presenta en la figura 4.19<sup>29</sup> de acuerdo con su intervalo de presión.

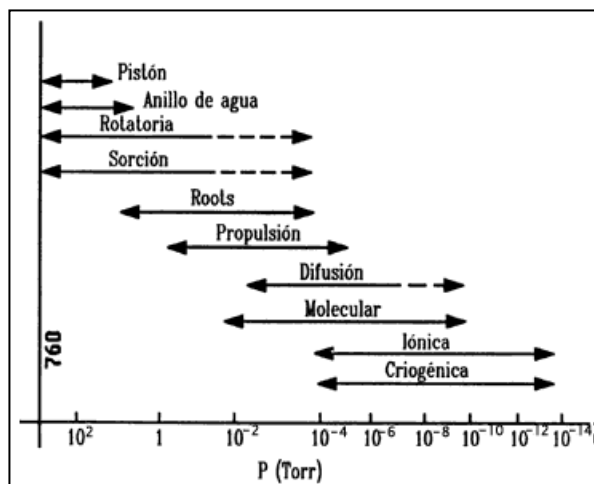


Figura 4.19 Rangos de presión para bomba de vacío.

<sup>28-29</sup>Fuente: [http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec\\_8.htm](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_8.htm)



#### 4.1.2.2 Descripción breve de algunas bombas de vacío

##### 4.1.2.2.1 Las bombas mecánicas.

Una de las primeras fue la bomba de Sprengel, que hoy en día tiene sólo interés histórico. Fue usada en la primera fábrica de lámparas. Esta bomba se basa en el principio ilustrado en la figura 4.20<sup>30</sup>. Las gotas de mercurio introducidas en el capilar capturan entre ellas burbujas de aire; de esta manera, el sistema evacua el aire del lado del tubo C, llevándolo a través del mercurio hacia la parte de abajo, a la atmósfera.

Hoy en día existen otros tipos de bombas mecánicas como las bombas de pistón, bombas de anillo de agua, bombas de paleta rotatoria, bomba tipo Roots, etc. Las bombas de paleta rotatoria son un ejemplo claro del funcionamiento de este tipo de bombas, éstas consisten en un espacio cilíndrico (estator) que alberga a un cilindro de diámetro menor que gira dentro de él (rotor). En el rotor, las paletas se encuentran sujetas por medio de un resorte.

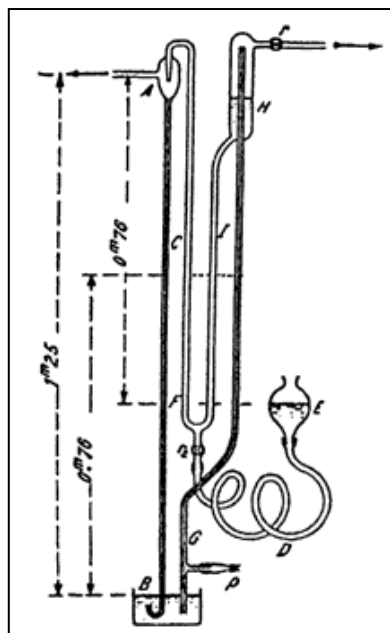


Figura 4.20. Bomba de Sprengel.

<sup>30</sup>Fuente: [http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec\\_8.htm](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_8.htm)

La bomba de paletas rotatorias posee dos ductos, uno de dimensiones mayores respecto al otro. El ducto mayor da al exterior de la bomba (conexión con la cámara a desalojar), y dentro de la bomba hasta el estator; es considerado como la entrada al estator. Por otra parte, el ducto pequeño es la salida del estator y conduce a un recipiente parcialmente lleno de aceite. Al final del ducto menor se coloca una válvula de descarga, la cual regula la salida de gas del estator al recipiente. El recipiente a su vez tiene salida al exterior de la bomba.

El funcionamiento de la bomba de paletas rotatorias es sencillo: al girar el rotor provoca que las paletas se deslicen sobre las paredes del estator (con una presión uniforme debido al resorte que sostiene a las paletas), esto permite la entrada del gas entre el estator y el rotor; después se mueve el volumen de gas contenido en esta región hasta la salida del estator. La figura 4.21<sup>31</sup> presenta esta operación en detalle.

#### 4.1.2.2.2 Las bombas de vapor.

Un ejemplo de este tipo de bombas de vacío es la bomba de difusión. La ventaja de este tipo de bomba para crear alto vacío, comparado con las bombas mecánicas, es que puede producir mayor velocidad de bombeo con el mismo tamaño, peso y costo. El primer diseño fue creado por Gaede pensando en términos de la teoría cinética de los gases. La acción de bombeo fue diseñada para la difusión del aire dentro de una nube de mercurio. Las bombas de difusión usan aceite o mercurio como fluido de bombeo (Figura 4.22)<sup>32</sup>.

La bomba de difusión es capaz de evacuar gas con alta eficiencia hasta presiones que no excedan 0.02 torr y una presión de descarga menor que 0.5 torr; no es posible que esta bomba funcione de manera independiente, se requiere de una bomba adicional para reducir la presión de la cámara hasta que la bomba de difusión pueda operar.

En un sistema típico de alto vacío, la bomba de difusión toma lugar entre la bomba mecánica y la cámara a evacuar. Estas bombas se construyen de acero

inoxidable o aluminio, aunque muchas bombas de tamaño reducido se fabrican de vidrio y algunas tienen cubiertas de este material con chimeneas de metal.

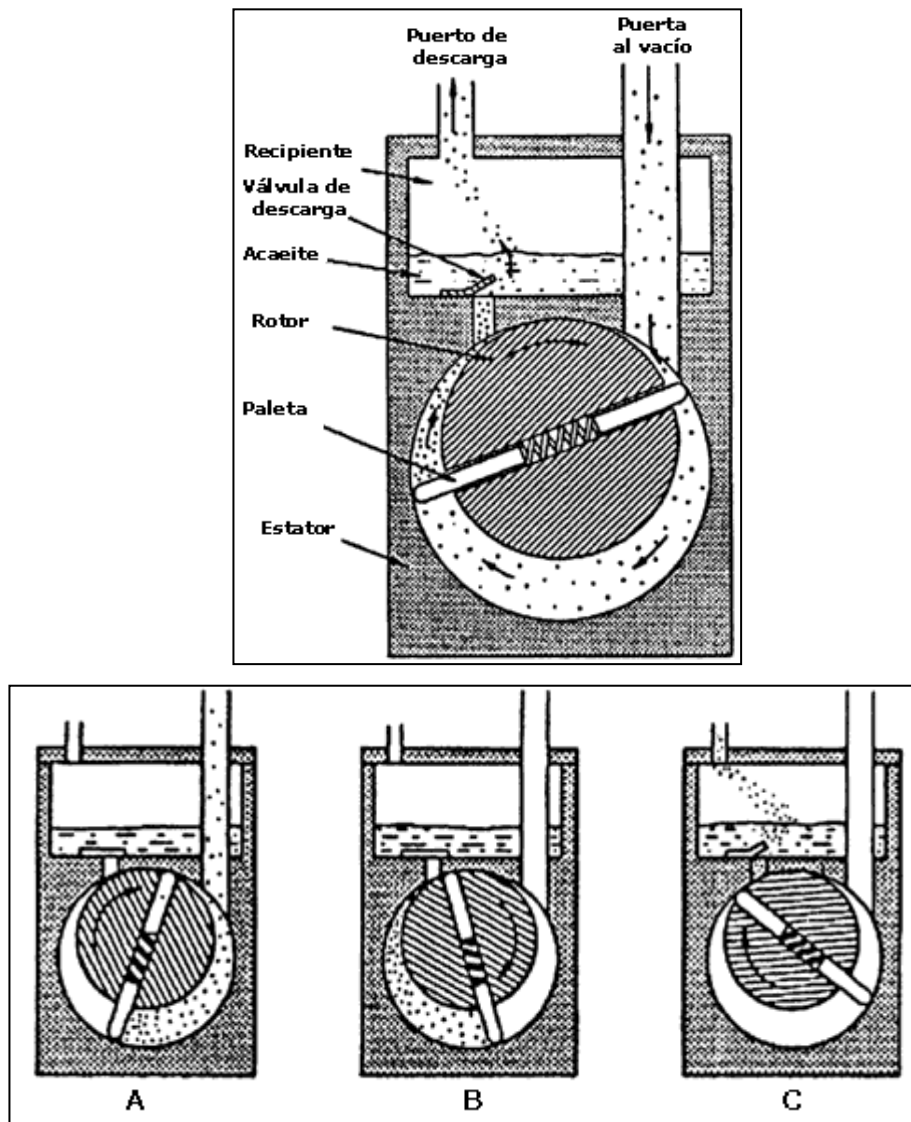
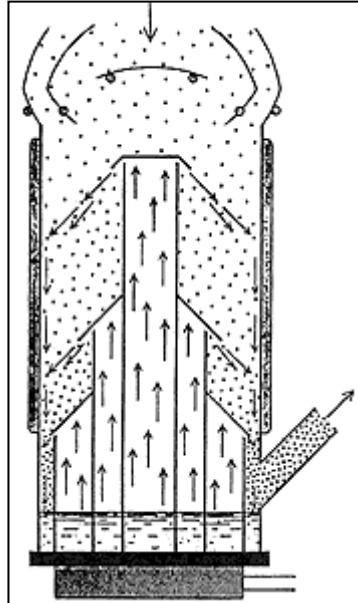


Figura 4.21. Bomba mecánica de paleta rotatoria en acción. A) Las paletas deslizantes se mueven cuando el rotor gira. El volumen entre la entrada y la paleta inferior es incrementado; esto causa que el gas se mueva dentro de esta área desde la entrada. B) El gas ha sido aislado del sistema de vacío y comienza a empujarse hacia la válvula de descarga. C) El gas se comprime ligeramente arriba de la presión atmosférica. La válvula de descarga se abre y el gas es expulsado fuera de la bomba a través del aceite en el recipiente.

<sup>31</sup>Fuente: [http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec\\_8.htm](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_8.htm)



**Figura 4.22. Bomba de difusión.** El fluido de bombeo se calienta hasta que se evapora mediante un calentador situado al fondo de la bomba. El vapor se eleva y es deflectado hacia abajo, trayéndose consigo las moléculas de gas de la cámara (puntos negros).

Los aceites usados como fluidos de bombeo están hechos de compuestos a base de silicio y pueden producir presiones del orden de  $10^{-7}$  torr.

Las bombas de mercurio son usadas cuando se quiere evitar contaminación de hidrocarburos que afecten al sistema.

#### 4.1.2.2.3 Las bombas criogénicas (de baja temperatura).

Se usan en aplicaciones específicas de ultra alto vacío. Una criobomba es una bomba de vacío que tiene una superficie interna enfriada a temperaturas menores a los  $120^{\circ}\text{K}$ , donde los gases y vapores se condensan. En esta superficie se inmovilizan las moléculas de gas, lo cual disminuye la presión del sistema. La superficie fría está colocada dentro de la cámara de vacío.

Existen varios mecanismos mediante los cuales se capturan los gases sobre la superficie fría, los más importantes se pueden representar por medio de las criotrapas y la criosorción.

<sup>32</sup>Fuente: [http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec\\_8.htm](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_8.htm)

Una trampa de vapor enfriada con nitrógeno líquido actúa como una criobomba. El término criotrampa se usa para la *condensación de gases* difícilmente condensables, por ejemplo el  $H_2$ , Ar,  $CH_4$ ,  $CO_2$ ,  $NH_3$  y los hidrocarburos pesados.

La criosorción se refiere a la captura de un gas con bajo punto de ebullición (difícil de condensar), efectuada por la adsorción sobre un gas condensado de alto punto de ebullición (fácilmente condensable). Un ejemplo es la criosorción de  $H_2$  sobre un sólido condensado de  $NH_3$  (Figura 4.23)<sup>33</sup>.

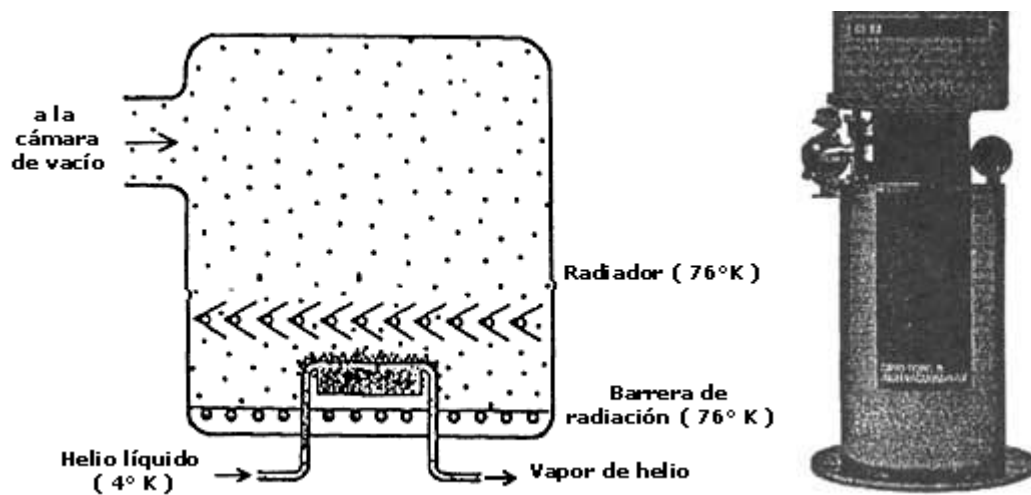


Figura 4.23. Bomba criogénica.

(Para más información sobre bombas de Vacío ver Anexo E)

<sup>33</sup>Fuente: [http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec\\_8.htm](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_8.htm)

## 4.2 MEDIDA DE VACÍO

La presión es una fuerza por unidad de superficie y puede expresarse en unidades tales como pascal, bar, atmósferas, kilogramos por centímetro cuadrado y psi (libras por pulgada cuadrada). En el Sistema Internacional (S.I.) esta normalizada en pascal de acuerdo con las Conferencias Generales de Pesas y Medidas que tuvieron lugar en París en octubre de 1967 y 1971, y según la Recomendación Internacional número 17, ratificada en la III Conferencia General de la Organización Internacional de Metrología Legal. El pascal es 1 newton por metro cuadrado (1 N/m<sup>2</sup>), siendo el newton la fuerza que aplicada a un cuerpo.

**TABLA 4.3. Tabla de conversión de unidades de presión**

| <b>Tabla de conversión de unidades de presión</b> |                 |                       |                       |                        |                      |
|---|-----------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|
| UNIDADES  | milibar         | Pascal                | bar                   | Atmósfera              | Torr                 |
|   | mbar            | Pa                    | bar                   | atm                    | Torr                 |
| 1mbar   | 1               | 100                   | 10 <sup>-3</sup>      | 9,87*10 <sup>-4</sup>  | 0,75                 |
| 1Pa   | 0,01            | 1                     | 10 <sup>-5</sup>      | 9,87*10 <sup>-6</sup>  | 7,5*10 <sup>-3</sup> |
| 1bar  | 10 <sup>3</sup> | 10 <sup>5</sup>       | 1                     | 0,987                  | 750                  |
| 1atm  | 1013            | 1,013*10 <sup>5</sup> | 1,013                 | 1                      | 760                  |
| 1Torr   | 1,33            | 133                   | 1,33*10 <sup>-3</sup> | 1,313*10 <sup>-3</sup> | 1                    |

Referencia: <http://bicho.uc3m.es/alumn/TV/intro.pdf>

**TABLA 4.4. Tabla de grados de vacío**

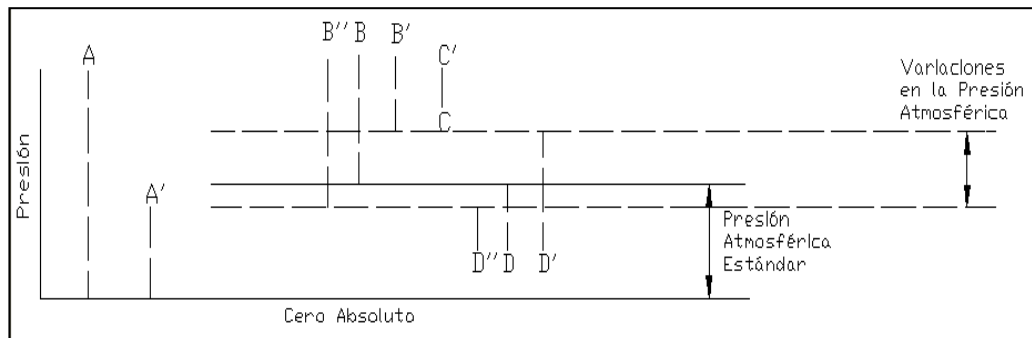
| <b>Tabla de grados de vacío</b> |                                       |     |
|---------------------------------|---------------------------------------|-----|
| <b>Grado de Vacío</b>           |                                       |     |
| 1bar > P > 1mbar                | Vacío grueso (Rough Vacuum)           | RV  |
| 1mbar > P > 10-3mbar            | Vacío medio (Medium Vacuum))          | MV  |
| 10-3mbar > P > 10-7mbar         | Vacío alto (High Vacuum))             | HV  |
| 10-7mbar > P .                  | Vacío ultra-alto (Ultra-high Vacuum)) | UHV |

Referencia: <http://bicho.uc3m.es/alumn/TV/intro.pdf>

**TABLA 4.5. Efectos del Vacío**

| <b>Efectos del Vacío</b>   |   |
|--|---|
| <b>Efectos</b>   |   |
| Mecánicos  | Diferencia de presiones con la atmósfera  |
| Densidad molecular   | Número de moléculas en un volumen   |
| Interacciones  | Recorrido libre medio: Longitud que recorre una molécula sin interactuar con otras. |
| Efectos superficiales  | Flujo de moléculas y tiempo de formación de capas superficiales                     |
| <b>Referencia: <a href="http://bicho.uc3m.es/alumn/TV/intro.pdf">http://bicho.uc3m.es/alumn/TV/intro.pdf</a></b> |   |

La presión puede medirse en valores absolutos o diferenciales. En la figura 4.24<sup>34</sup> se indican las clases de presión que los instrumentos miden comúnmente miden en las industrias.



**Figura 4.24. Clases de Presión.**

**La presión absoluta** mide con relación al cero absoluto de presión (puntos A y A' de la figura 4.24)<sup>34</sup>.

**La presión atmosférica** es la presión ejercida por la atmósfera terrestre medida mediante un barómetro. A nivel del mar, esta presión es próxima a 760 m.m. (29,9 pulgadas) de mercurio absolutas o 14,7 psi. (libras por pulgada cuadrada absolutas) y estos valores definen la presión ejercida por la atmósfera estándar.

**La presión relativa** es la determinada por un elemento que mide la diferencia entre la presión absoluta y la atmosférica del lugar donde se efectúa la medición (punto B de la figura). Hay que señalar que al aumentar o disminuir la

<sup>34</sup>Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos11/presi/presi.shtml>

presión atmosférica, disminuye o aumenta respectivamente la presión leída (puntos (B y B'), si bien ello es despreciable al medir presiones elevadas.

**La presión diferencial** es la diferencia entre dos presiones, puntos C y C'. El vacío es la diferencia de presiones entre la presión atmosférica existente y la presión absoluta, es decir, es la presión medida por debajo de la atmosférica (puntos D, D' y D"). Viene expresado en mm columna de mercurio, mm columna de agua o pulgadas de columna de agua. Las variaciones de la presión atmosférica influyen considerablemente en las lecturas del vacío.

#### **4.2.1 MEDIDORES DE PRESIÓN**

El campo de aplicación de los medidores de presión es amplio y abarca desde valores muy bajos (vacío) hasta presiones de miles de bar.

Los instrumentos de presión se clasifican en tres grupos: mecánicos, neumáticos, electromecánicos y electrónicos.

##### **4.2.1.1 Elementos mecánicos**

Se dividen en:

Elementos primarios de medida directa que miden la presión comparándola con la ejercida por un líquido de densidad y altura conocidas (barómetro de cubeta, manómetro de tubo en U, manómetro de tubo inclinado, manómetro de toro pendular, manómetro de campana).

Elementos primarios elásticos que se deforman por la presión interna del fluido que contienen.

Los elementos primarios elásticos más empleados son: el tubo Bourdon, el elemento en espiral, el helicoidal, el diafragma y el fuelle.

El tubo Bourdon es un tubo de sección elíptica que forma un anillo casi completo, cerrado por un extremo. Al aumentar la presión en el interior del tubo, éste tiende a enderezarse y el movimiento es transmitido a la aguja indicadora, por un sector dentado y un piñón. La ley de deformación del tubo



Bourdon es bastante compleja y ha sido determinada empíricamente a través de numerosas observaciones y ensayos en varios tubos.

El material empleado normalmente en el tubo Bourdon es de acero inoxidable, aleación de cobre o aleaciones especiales como hastelloy y monel.

El elemento en espiral se forma arrollando el tubo Bourdon en forma de espiral alrededor de un eje común, y el helicoidal arrollando más de una espira en forma de hélice. Estos elementos proporcionan un desplazamiento grande del extremo libre y por ello, son ideales para los registradores.

El diafragma consiste en una o varias capsulas circulares conectadas rígidamente entre si por soldadura, de forma que al aplicar presión, cada capsula se deforma y la suma de los pequeños desplazamientos es amplificada por un juego de palancas. El sistema se proyecta de tal modo que, al aplicar presión, el movimiento se aproxima a una relación lineal en un intervalo de medida lo mas amplio posible con un mínimo de histéresis y de desviación permanente en el cero del instrumento.

El material del diafragma es normalmente aleación de níquel o inconel x. Se utiliza para pequeñas presiones.

El fuelle es parecido al diafragma compuesto, pero de una sola pieza flexible axialmente, y puede dilatarse o contraerse con un desplazamiento considerable.

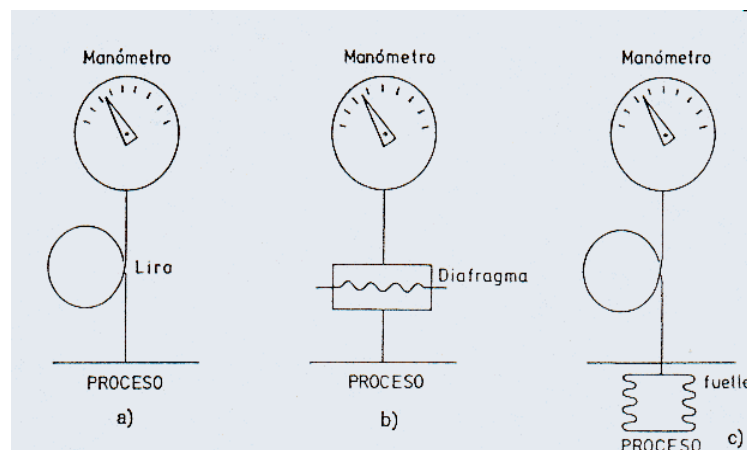
Hay que señalar que los elementos de fuelle se caracterizan por su larga duración, demostrada en ensayos en los que han soportado sin deformación alguna millones de ciclos de flexión. El material empleado para el fuelle es usualmente bronce fosforoso y el muelle es tratado térmicamente para mantener fija su constante de fuerza por unidad de compresión. Se emplean para pequeñas presiones.

Los medidores de presión absoluta consisten en un conjunto de fuelle y muelle opuesto a un fuelle sellado al vacío absoluto. El movimiento resultante de la unión de los dos fuelles equivale a la presión absoluta del fluido. El material

empleado para los fuelles es latón o acero inoxidable. Se utilizan para la medida exacta y el control preciso de bajas presiones, a las que puedan afectar las variaciones en la presión atmosférica. Por ejemplo, en el caso de emplear un vacuometro para el mantenimiento de una presión absoluta de 50 mm de mercurio en una columna de destilación, el punto de consigna sería de 710 mm, con una presión atmosférica de 760 mm. Si la presión atmosférica cambiase a 775 mm el vacuometro indicaría:  $710 + 15 = 725$  mm con lo cual la presión absoluta en la columna sería controlada a  $50 + 15 = 65$  mm, es decir, a un 30 % más de la deseada.

En la medida de presiones de fluidos corrosivos pueden emplearse elementos primarios elásticos con materiales especiales en contacto directo con el fluido. Sin embargo, en la mayoría de los casos es más económico utilizar un fluido de sello cuando él fluido es altamente viscoso y obtura el elemento (tubo Bourdon, por ejemplo), o bien, cuando la temperatura del proceso es demasiado alta. Tal ocurre en la medición de presión del vapor de agua en que el agua condensada aísla el tubo Bourdon de la alta temperatura del vapor (figura 4.25)<sup>35</sup>.

Se emplean asimismo sellos volumétricos de diafragma y de fuelle **figura b y c** que contienen un líquido incompresible para la transmisión de la presión.



**Figura 4.25 Tipos de Sellos**

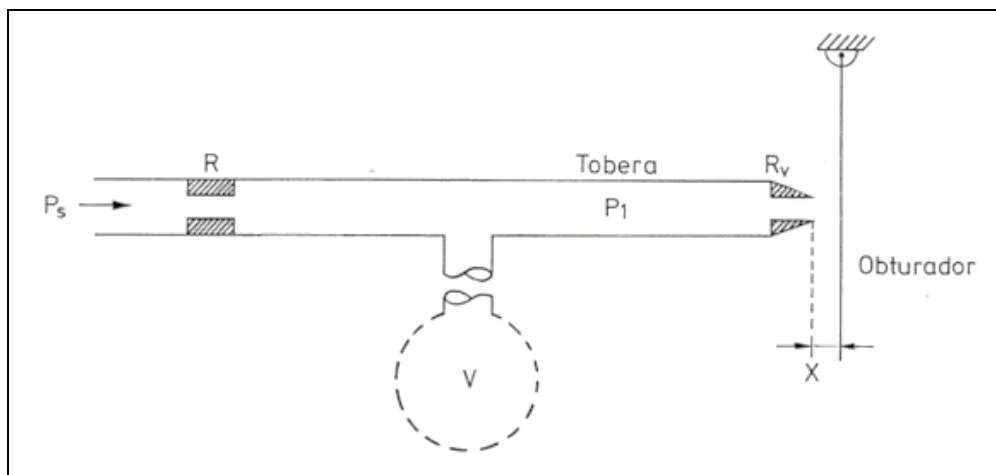
<sup>35</sup>Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos11/presi/presi.shtml>

#### 4.2.1.2 Elementos neumáticos

Como elementos neumáticos se consideran los instrumentos transmisores neumáticos

Los transmisores neumáticos se basan en el sistema tobera-obturador que convierte el movimiento del elemento de medición en una señal neumática.

El sistema tobera-obturador consiste en un tubo neumático aumentado a una presión constante  $P$  con una reducción en su salida en forma de tobera, la cual puede ser obstruida por una lámina llamada obturador cuya posición depende del elemento de medida. En la figura 4.26<sup>36</sup> se presenta el conjunto.



**Figura 4.26 Sistema tobera-obturador**

#### **4.2.1.3 Elementos Electromecánicos Electrónicos**

Los elementos electromecánicos de presión utilizan un elemento mecánico elástico combinado con un transductor eléctrico que genera la señal eléctrica correspondiente. El elemento mecánico consiste en un tubo Bourdon, espiral, hélice, diafragma, fuelle o una combinación de los mismos que, a través de un sistema de palancas convierte la presión en una fuerza o en un desplazamiento mecánico.

<sup>36</sup>Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos11/presi/presi.shtml>

Los elementos electromecánicos de presión se clasifican según el principio de funcionamiento en los siguientes tipos:

Transmisores electrónicos de equilibrio de fuerzas:

Resistivos.

Magnéticos

Capacitivos.

Extensométricos.

Piezoeléctricos.

Galgas extensométrica se basan en la variación de longitud y de diámetro, y por lo tanto de resistencia, que tiene lugar cuando un hilo de resistencia se encuentra sometido a una tensión mecánica por la acción de una presión.

Existen dos tipos de galgas extensométricas: galgas cementadas figura 4.27<sup>37</sup> formadas por varios bucles de hilo muy fino que están pegados a una hoja base de cerámica, papel o plástico, y galgas sin cementar en las que los hilos de resistencia descansan entre un armazón fijo y otro móvil bajo una ligera tensión inicial.

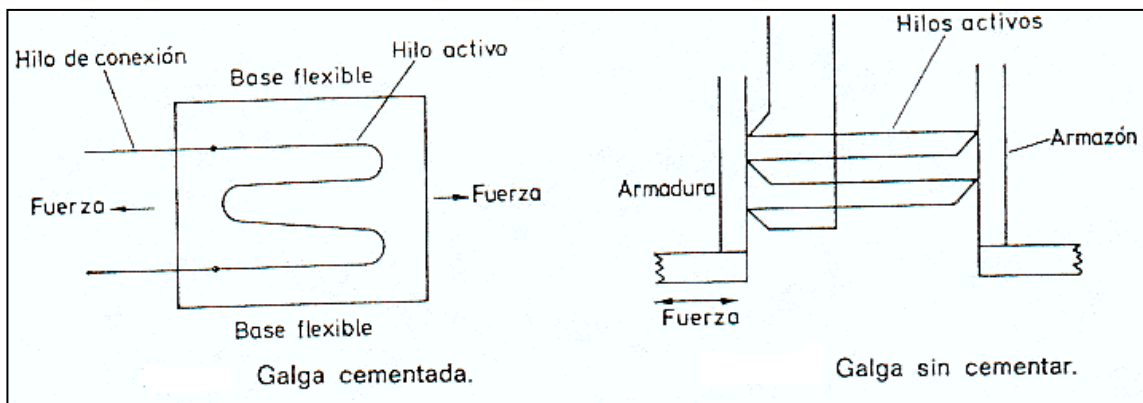


Figura 4.27. Galga cementada y Galga sin cementar

<sup>37</sup>Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos11/presi/presi.shtml>

En ambos tipos de galgas, la aplicación de presión estira o comprime los hilos según sea la disposición que el fabricante haya adoptado, modificando pues la resistencia de los mismos. **(Para más información sobre medidores de Vacío ver Anexo F)**

## **4.3 REGULACIÓN Y CONTROL DEL SISTEMA DE VACÍO**

### **4.3.1 COMPONENTES PARA EL CONTROL DEL VACÍO**

Existen componentes para el control del vacío, tales como bridas, mangueras flexibles, reductores, adaptadores, sellos, abrazaderas, controladores los cuales permiten medir con buena exactitud la masa de gas pasando a través de él y con una válvula interna que regula el flujo, entre otros componentes.

### **4.3.2 VÁLVULA DE SEGURIDAD DE VACÍO.**

Válvula de control que "atrapa" la presión en sistemas de vacío por un periodo indefinido de tiempo, en aplicaciones herméticas, tales como, manipulación con ventosas de láminas de metal o vidrio.

El objeto puede ser manipulado con un grado extremadamente alto de seguridad, incluso si se corta la fuente de aire comprimido, si hay un fallo en la bomba o si se activa la parada de emergencia, así evitando que el objeto se caiga.

### **4.3.3 FILTROS PARA VACÍO**

Filtra el polvo y otras pequeñas partículas del caudal de aspiración. Reduce el riesgo de avería o interrupción en el funcionamiento de la bomba. Elemento de filtro reemplazable.

## **4.4 SISTEMAS AUXILIARES**

Un contenedor puede tener diferentes extensiones (conexiones), en éstas se pueden colocar medidores de presión, calefactores, conexiones eléctricas o electrónicas, fuentes de voltaje, rayos X, ventanas, las diferentes bombas para hacer vacío, espectrómetros de masas, manipuladores de muestras, etc. Todo cuanto sea necesario para trabajar con comodidad, y lo más importante, las herramientas útiles para resolver los problemas que se presentan durante el desarrollo de cierto proceso industrial o algún experimento de interés científico o tecnológico.

## 4.4.1 TRAMPAS, VÁLVULAS, JUNTAS

### 4.4.1.1 Los Sellos (juntas)

Las extensiones en las cámaras de vacío son cilíndricas y de diferentes diámetros. Todo tipo de artefactos a introducirse en la cámara vienen montados en las bridas, las cuales funcionan como tapaderas de las extensiones. Para cerrar el sistema, entre las bridas y las extensiones existe una franja triangular para colocar los sellos (Figura 4.28)<sup>38</sup>. En los sistemas de vacío los sellos son en forma de anillos circulares con sección transversal rectangular o circular; son fabricados de materiales de vitón, neopreno o metálicos. Existen sellos estáticos (inmóviles) y sellos mecánicos (movibles dentro del sistema).

Para presiones menores a  $10^{-7}$  torr, los sellos de las conexiones de vacío se elaboran de una variedad de elastómeros, los más usuales son Buna-N, caucho sintético y Vitón-A. El Buna-N puede ser calentado hasta  $80^{\circ}\text{C}$  y no soporta largos periodos de compresión, mientras que los sellos de Vitón-A soportan temperaturas superiores a los  $250^{\circ}\text{C}$  y no son muy deformables por lo que soportan largos periodos de compresión. Otro tipo de sellos usados con frecuencia a presiones inferiores a  $10^{-7}$  torr, son los de cobre y aluminio. La ventaja de éstos es que el sistema puede ser horneado a altas temperaturas ( $\sim 450^{\circ}\text{C}$ ) sin que el sello presente problemas de elongación o deformación. Otra ventaja resulta de su bajo índice de degasamiento.

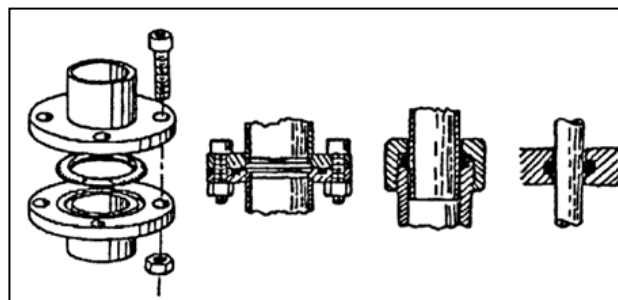


Figura 4.28. Sellos de anillo.

<sup>38</sup>Fuente: [http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec\\_10.htm](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_10.htm)

Los diámetros internos de los sellos varían de 2-3 mm hasta varios metros, lo cual da cuenta de la gran variedad de tamaños que se usan.

#### 4.4.1.2 Las Válvulas

Para el uso en sistemas de vidrio, sistemas de metal en alto vacío y ultra alto vacío existe poca variedad de válvulas en el mercado, ya que por lo general las **válvulas de vacío son tan complejas que resulta incosteable** para un laboratorio fabricarlas, y son las grandes compañías de equipo para vacío las que las producen.

Las dos válvulas de vidrio más comunes se ilustran en la figura 4.29<sup>39</sup>. Se emplean principalmente en sistemas para producción de vacío primario. En la figura 4.30<sup>40</sup> se ilustran válvulas de metal: a) la válvula de este tipo se hace de acero inoxidable con sellos de vitón y puede calentarse hasta 200°C; se usa comúnmente en sistemas con bombas de difusión en pequeños sistemas de alto vacío. Las válvulas de metal de la figura 4.30b) y c) se usan para aislar bombas de difusión o bombas iónicas de una cámara de alto vacío; se elaboran con aluminio o acero inoxidable y tienen una apertura interna de 5 a 25 centímetros.

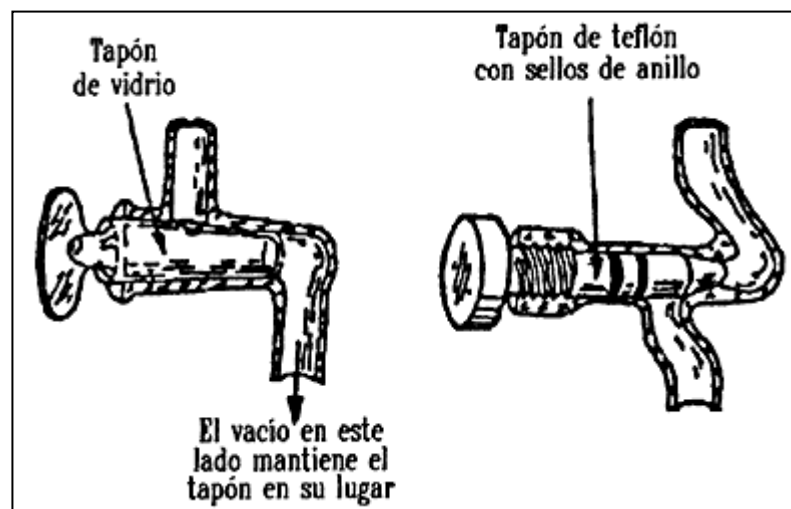


Figura 4.29. Válvulas de vidrio.

<sup>39</sup>Fuente: [http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec\\_10.htm](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_10.htm)

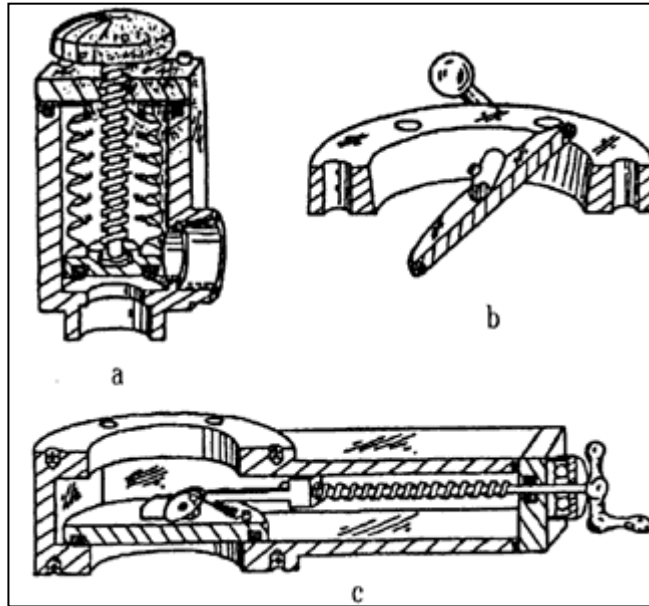


Figura 4.30. Válvulas de metal.

#### 4.4.2 SISTEMA DE DETECCIÓN DE FUGAS

Una fuga (entrada de aire) sube la presión base del sistema y deteriora el vacío. Cuando ocurre una fuga a presiones arriba de  $10^{-6}$  torr, es común encontrarla en lugares como la pared externa de la cámara. Para localizarla se usa un líquido o vapor para el cual la sensibilidad del medidor o la velocidad del bombeo son muy diferentes a la del aire bombeado. Con alcohol etílico, o una lata de aerosol de freón líquido se moja la superficie que se quiere probar. Estos líquidos usualmente causan un cambio abrupto en la presión indicada mientras fluyen por la fuga. Una desventaja de este método es que el solvente puede contaminar o dañar los sellos circulares.

En sistemas de alto y ultra alto vacío se puede usar helio para detectar fugas, ya que los medidores de ionización son poco sensibles a este gas y la presión decae al ser introducido el gas por la fuga.

En un sistema de vidrio, una fuga que sube la presión a un valor entre los 10 millitorr y varios torr puede ser localizada a través de una bobina tesla. La superficie del vidrio es barrida con la descarga de la bobina. La descarga será

<sup>40</sup>Fuente: [http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec\\_10.htm](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_10.htm)



dirigida preferencialmente hacia la fuga y unas manchas brillantes blancas darán a conocer su localización al pasar la descarga por ella, aunque no es conveniente usar este método en paredes delgadas o en uniones de metal y vidrio, porque la descarga puede agujerar el vidrio.

Para fugas muy pequeñas en sistemas de ultra alto vacío se necesita utilizar un espectrómetro de masas como detector.

## **4.5 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO**

### **4.5.1 PRUEBAS DE VACÍO.**

La bomba para efectuar el vacío tiene las siguientes características:

Marca: Edwards

Modelo: E2M8

Serie: 09628

Bomba de Alto vacío (High Vacuum Pump)

Caudal: 8 [m<sup>3</sup>/h]

Para realizar la pruebas de vacío se contó con un vacuometro analógico cuya escala va desde 0 hasta -30 [IN HG]<sup>41</sup> y su apreciación es de 1 [IN HG] ,

Las pruebas que se realizaron en la obtención del vacío fueron las siguientes:

#### **4.5.1.1 Primera prueba**

Esta primera prueba fue ejecutada cuando a la cámara no se le efectuó ningún tipo de perforación para colocar los pasamuros que se encargaran de transmitir el alto amperaje hacia la resistencia, el propósito es determinar si existía algún tipo de fuga en la soldadura del cuerpo, cabeza, brida, acople para el Vacuometro<sup>42</sup> y tubería en la placa base, además en la junta entre la cámara y la placa base a través del O – ring<sup>43</sup>.

---

<sup>41</sup>pulgadas de mercurio.

<sup>42</sup>Medidor de presión en Vacío.

<sup>43</sup>Elemento sellante para juntas desmontables.

**TABLA 4.6. Primera Prueba**

| <b>Primera Prueba</b> |                           |                         |                      |
|-----------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------|
| <b>TIEMPO [s]</b>     | <b>P. DE VACÍO[IN HG]</b> | <b>P. DE VACÍO[PSI]</b> | <b>OBSERVACIONES</b> |
| 45                    | -21.5                     | -10.56                  | No presenta fuga     |
| 300                   | -21.5                     | -10.56                  | No presenta fuga     |
| 1800                  | -21.5                     | -10.56                  | No presenta fuga     |

**4.5.1.2 Segunda prueba**

Se trabajó realizando las perforaciones para ubicar los pasamuros, posteriormente sellándolas con empaques de amianto y silicón de alta temperatura.

**TABLA 4.7. Segunda Prueba**

| <b>Segunda Prueba</b> |                           |                         |                      |
|-----------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------|
| <b>TIEMPO [s]</b>     | <b>P. DE VACÍO[IN HG]</b> | <b>P. DE VACÍO[PSI]</b> | <b>OBSERVACIONES</b> |
| 45                    | -21.5                     | -10.56                  | presenta fuga        |
| 300                   | -21.5                     | -10.56                  | presenta fuga        |
| 1800                  | -21.5                     | -10.56                  | presenta fuga        |

La fuga como es lógico se presentó en las perforaciones realizadas para los pasamuros, se la pudo controlar colocando una gran cantidad de silicón. Lo que produjo disminución paulatina de las fugas. Al final se obtuvo cero fugas, pero como se trabajo la resistencia que producía alta temperatura, este silicón se deterioró por ende regresaron las fugas.

**4.5.1.3 Tercera prueba**

Para esta tercera prueba se la realizó trabajando el recipiente a presión positiva, lo que produjo poder divisar todas las fugas presentes en el recipiente, así siendo más visibles y tangibles para el hombre.

Se observó que el material del recipiente en este caso acero inoxidable de espesor 5 mm., presentaba fugas en fracturas localizadas en la cabeza de la cámara, sello que efectuaba el O-ring y en las perforaciones de los pasamuros, lo cual fue remediado soldando las fracturas en la cabeza, cambiando el O-ring con otro de mayor diámetro, cambiando el silicón con otro que realiza una función similar sino que este al momento de cristalizarse se comporta como un elemento cerámico que en sus cualidades obtiene cero porosidades, llamado permatex.

**TABLA 4.8. Tercera Prueba**

| <b>Tercera Prueba</b> |                           |                         |                      |
|-----------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------|
| <b>TIEMPO [s]</b>     | <b>P. DE VACÍO[IN HG]</b> | <b>P. DE VACÍO[PSI]</b> | <b>OBSERVACIONES</b> |
| 45                    | -21.5                     | -10.56                  | No presenta fuga     |
| 300                   | -21.5                     | -10.56                  | No presenta fuga     |
| 1800                  | -21.5                     | -10.56                  | No presenta fuga     |

## **4.5.2 PRUEBAS DE RECUBRIMIENTO**

### **4.5.2.1 Primera prueba**

Para las pruebas de recubrimiento se contaba con los siguientes materiales:

Aluminio al 99.98% de pureza.

Cerámica (que funciona como resistencia, especial para trabajar en vacío).

Acrílico (material a recubrirse con aluminio)

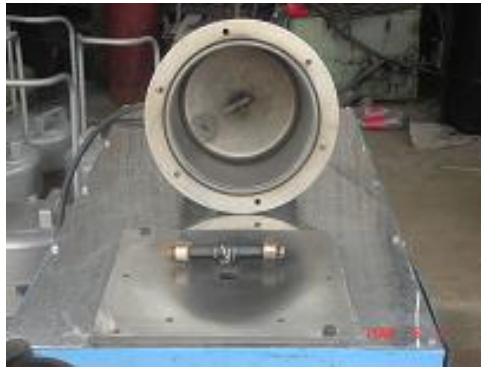
#### Procedimiento:

Las etapas para el recubrimiento son las siguientes:

- aplicación de una mano de barniz (pintura que forma una película transparente) incoloro sobre el material plástico, para sellar posibles poros y dar anclaje al aluminio,
- secado,
- introducción de las piezas en la cámara de vacío para efectuar la deposición del aluminio, Se colocó el acrílico a una distancia aproximada de 160mm de altura medidos desde la placa base (Fig. 4.31<sup>44</sup>).
- colocación de 80mm de aluminio, en el centro de la cerámica en forma de ganchos
- cierre de la cámara; se efectúa el vacío (Fig. 4.32<sup>44</sup>), alcanzando la presión de vacío obtenida en pruebas (Fig. 4.33<sup>44</sup>), se enciende el transformador seleccionando 250 amperios con un tiempo de 90 segundos, y se calienta la resistencia, por lo que el aluminio sublima (pasa de sólido a gas) ya que su temperatura de sublimación es mucho más baja en el vacío y se deposita en las zonas frías, o sea, en las

piezas, al culminar el tiempo se apaga el transformador, se descarga el vacío producido en la cámara (Fig. 4.34<sup>44</sup>, Fig. 4.35<sup>44</sup>),

- apertura de la cámara y extracción de las piezas,
- y el resultado luego de haber realizado los pasos anteriores se observa la las siguientes figuras (Fig. 4.36, Fig. 4.37, Fig. 4.38, Fig. 4.39, Fig. 4.40)<sup>44</sup>:



**Figura 4.31. Montaje de sustrato y aluminio puro**



**Figura 4.32. Montaje de Cámara sobre placa base**



**Figura 4.33. Presión de vacío Obtenida en pruebas**

<sup>44</sup>Fuente: Pruebas efectuadas material propio



**Figura 4.34. Swicht de cuchilla para encender el transformador**



**Figura 4.35. Amperaje seleccionado para realizar el proceso**



**Figura 4.36. Aluminio evaporado dentro de la cámara**

---

<sup>44</sup>Fuente: Pruebas efectuadas material propio



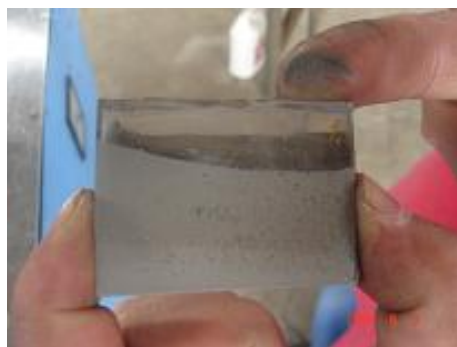
**Figura 4.37. Espesor capa de aluminio evaporada**



**Figura 4.38. Formación de costras de aluminio en la placa base**



**Figura 4.39. Sustrato recubierto de aluminio**



**Figura 4.40. Falta de adherencia del aluminio hacia el sustrato**

<sup>44</sup>Fuente: Pruebas efectuadas material propio

**Conclusión:** Se puede observar que el aluminio evaporado no presenta su brillo característico por lo que de igual forma no se adhiere hacia la superficie del plástico (sustrato), esto por que dentro de la cámara existe humedad y contaminación, entonces el aluminio evaporado se oxida inmediatamente al tomar contacto con la humedad y los agentes contaminantes.

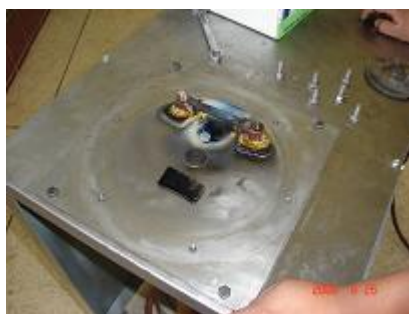
#### 4.5.2.2 Segunda prueba

##### Procedimiento:

Las cualidades de esta segunda prueba fueron de igual condición a las de la prueba anterior, la diferencia fue que antes de proceder a efectuar el vacío se inyectó nitrógeno con el propósito de eliminar la humedad y los contaminantes que se presentaban en un principio (Fig. 4.41<sup>44</sup>). Al seguir y culminar todos los pasos para el proceso de metalizado expuestos anteriormente, se observa los resultados en las siguientes figuras (Fig. 4.42, Fig. 4.43, Fig. 4.44)<sup>44</sup>:



**Figura 4.41. Inyección de Nitrógeno dentro de la cámara montada**



**Figura 4.42. Evaporación del aluminio en placa base y sustrato**

---

<sup>44</sup>Fuente: Pruebas efectuadas material propio



**Figura 4.43. Aluminio evaporado en las paredes internas de la cámara**



**Figura 4.44. Pequeña cantidad de metalizado sobre el sustrato**

**Conclusión:** Se puede observar que el aluminio evaporado se colocó sobre la superficie del sustrato en una pequeña cantidad de igual manera se puede ver que presenta brillo metálico en poca proporción pero este no se adhiere, se ha logrado eliminar las fugas, la humedad y contaminación que existía dentro de la cámara.

---

<sup>44</sup>Fuente: Pruebas efectuadas material propio



## CAPÍTULO V

### EVALUACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA

#### 5.1 EVALUACIÓN ECONÓMICA

##### 5.1.1 DISEÑO Y ADMINISTRACIÓN:

##### 5.1.1.1 Personal:

Para este punto se toma en cuenta a las personas directamente relacionadas con el proyecto.

TABLA 5.1. Costos Personal

| Costos Personal  |            |       |              |                       |
|------------------|------------|-------|--------------|-----------------------|
| CANTIDAD         | POSICIÓN   | HORAS | USD<br>Valor | USD<br>VALOR<br>TOTAL |
| 2                | Ejecutores | 760   | 4            | 6080                  |
| 1                | Director   | 30    | 20           | 230                   |
| 1                | Codirector | 20    | 20           |                       |
| <b>Total 5.1</b> |            |       |              | <b>6310</b>           |

##### 5.1.1.2 Misceláneos

Se toma en cuenta a los útiles de oficina, transporte, Internet y otros gastos de funcionamiento.

Tabla 5.2. Útiles de oficina

| Útiles de oficina |                        |             |            |
|-------------------|------------------------|-------------|------------|
| CANTIDAD          | MATERIAL               | C. UNITARIO | C. TOTAL   |
| 5                 | Resma de papel bond A4 | 4           | 20         |
| 2                 | Cartucho B.N.          | 23          | 46         |
| 1                 | Cartucho Colores       | 27          | 27         |
| 5                 | Recarga cartucho B.N.  | 5           | 25         |
| 1                 | Recarga cartucho color | 6           | 6          |
| 2000              | Impresión B.N.         | 0,02        | 40         |
| 100               | Impresión B.N.         | 0,15        | 15         |
| 15                | Anillados pequeños     | 0,6         | 9          |
| 4                 | Anillados grandes      | 1,5         | 6          |
| <b>Total 5.2</b>  |                        |             | <b>194</b> |

**TABLA 5.3. Transporte**

| Transporte           |  | Costo Total |
|----------------------|--|-------------|
| Trasporte Personal   |  | 120         |
| Trasporte Equipos    |  | 15          |
| Trasporte materiales |  | 18          |
| Trasporte Maquina    |  | 10          |
| <b>Total 5.3</b>     |  | <b>163</b>  |

**TABLA 5.4. Internet**

| Internet         |            |             |
|------------------|------------|-------------|
| Horas            | Costo/hora | Costo Total |
| 200              | 0,9        | 180         |
| <b>Total 5.4</b> |            | <b>180</b>  |

**TABLA 5.5 Otros gastos de funcionamiento**

| Otros gastos de funcionamiento |             |
|--------------------------------|-------------|
| Descripción                    | Costo Total |
| Pruebas de vacío               | 75          |
| Pruebas de recubrimiento       |             |
| Limpieza                       | 20          |
| Montaje                        | 15          |
| desmontaje                     | 15          |
| <b>Total 5.5</b>               | <b>125</b>  |

|   |             |
|---|-------------|
| <b>Subtotal 1 (5.1+5.2+5.3+5.4+5.5)</b> | <b>6972</b> |
|---|-------------|

## 5.1.2 COSTOS DIRECTOS

### 5.1.2.1 Remuneración a no profesionales

**TABLA 5.6. Remuneración a profesionales expertos**

| Remuneración a profesionales expertos |                 |            |             |
|---------------------------------------|-----------------|------------|-------------|
| Cantidad                              | Posición        | Costo/hora | Costo Total |
| 4                                     | Gerente de BOPP | 15         | 60          |
| <b>Total 5.6</b>                      |                 |            | <b>60</b>   |

### 5.1.2.2 Materiales

TABLA 5.7. Materiales

| Materiales |                              |               |                |              |          |
|------------|------------------------------|---------------|----------------|--------------|----------|
| CANTIDAD   | MATERIALES                   | MEDIDA [mm]   | MEDIDA [Pulg.] | COSTO U [\$] | COSTO T. |
| 1          | Acero Inoxidable             | 600x300x10    |                | 105,00       | 105,00   |
| 1          | Acero Inoxidable             | 1000x220x5    |                | 105,00       | 105,00   |
| 1          | Acero Inoxidable             | 1000x500x1.5  |                | 20,00        | 20,00    |
| 1          | Tubo de Inoxidable           | 25.4x120x2    | 1NPSx1/2       | 5,00         | 5,00     |
| 1          | Tool Negro                   | 1110x2220x1.5 |                | 42,00        | 42,00    |
| 1          | Angulo                       | 6000x25.4x3   | 1 x 1/8        | 9,50         | 9,50     |
| 2          | Ruedas Fijas                 | 50x30         |                | 3,00         | 6,00     |
| 2          | Ruedas Giratorias            | 50x30         |                | 4,50         | 9,00     |
| 1          | Tee galvanizado              |               | 1              | 0,52         | 0,52     |
| 1          | Neplo galvanizado            |               | 1x2 1/2        | 0,68         | 0,68     |
| 1          | Válvula de bola media vuelta |               | 3/8            | 3,05         | 3,05     |
| 1          | Válvula de bola media vuelta |               | 1              | 5,20         | 5,20     |
| 1          | Neplo galvanizado            |               | 3/8x1          | 0,75         | 0,75     |
| 6          | Pernos Inoxidable            |               | 3/8x1          | 0,43         | 2,58     |
| 6          | Arandelas de Presión Inox.   |               | 3/8            | 0,08         | 0,48     |
| 1          | Abrazadera                   |               | 2              | 0,40         | 0,40     |
| 1          | Bushing galvanizado          |               | 1x3/8          | 1,40         | 1,40     |
| 4          | Pernos                       | M8x30x1.25    |                | 0,26         | 1,04     |
| 8          | Pernos                       | M8x30x1.25    |                | 0,25         | 2,00     |
| 2          | Cerámica alta temperatura    | 12x150x2      |                | 1,50         | 3,00     |
| 4          | Rodelas planas               |               | 3/8            | 0,05         | 0,20     |
| 2          | Espárragos                   | M8x50x1.25    |                | 0,35         | 0,70     |
| 12         | Tuercas                      | M8x1.25       |                | 0,10         | 1,20     |
| 4          | Rodelas planas               |               | 3/8            | 0,05         | 0,20     |
| 2          | Tuercas                      | M10x1.25      |                | 0,10         | 0,20     |
| 4          | Pernos                       |               | 5/16x3/4       | 0,15         | 0,60     |
| 4          | Rodelas planas               |               | 5/16           | 0,05         | 0,20     |
| 2          | Pernos                       | M10x25x1.25   |                | 0,20         | 0,40     |
| 1          | Tornillo                     | M3x25         |                | 0,12         | 0,12     |
| 1          | Tornillo                     | M5x25         |                | 0,12         | 0,12     |
| 1          | Tornillo                     | M4x25         |                | 0,10         | 0,10     |
| 1          | Tuercas                      | M3            |                | 0,05         | 0,05     |
| 1          | Tuercas                      | M4            |                | 0,05         | 0,05     |
| 1          | Tuercas                      | M5            |                | 0,05         | 0,05     |
| 2          | Tapones bronce               |               | 1/4            | 0,70         | 1,40     |
| 2          | Amianto                      | 200x10x2      |                | 3,00         | 6,00     |
| 3          | Cable #00                    |               |                | 3,50         | 10,50    |
| 4          | Terminales de cobre para #00 |               |                | 0,60         | 2,40     |
| 1          | Cable # 14                   | 1000          |                | 0,80         | 0,80     |
| 1          | Barniz 1/2litro              |               |                | 2,00         | 2,00     |
| 3          | Teflón                       |               |                | 0,20         | 0,60     |
| 2          | Espárragos de cobre          | M8x100x1.25   |                | 3,00         | 6,00     |

|    |                                    |           |      |       |       |
|----|------------------------------------|-----------|------|-------|-------|
| 1  | Enchufe macho 3 fases 50A          |           |      | 3,50  | 3,50  |
| 1  | Enchufe Hembra 3 fases 50A         |           |      | 3,80  | 3,80  |
| 2  | Cable 3x8                          | 2000      |      | 3,85  | 7,70  |
| 1  | O-ring                             | 1500x4    |      | 1,50  | 1,50  |
| 1  | O-ring                             | 1500x4.5  |      | 2,00  | 2,00  |
| 5  | Electrodos no consumibles de Tg.   |           | 1/32 | 4,37  | 21,85 |
| 2  | Pintura 1/4 galón                  |           |      | 5,00  | 10,00 |
| 1  | Metanol 1/2 galón                  |           |      | 2,00  | 2,00  |
| 30 | Guaípe                             |           |      | 0,10  | 3,00  |
| 1  | Agua destilada                     |           |      | 0,30  | 0,30  |
| 1  | Guantes quirúrgicos                |           |      | 0,50  | 0,50  |
| 1  | Llave #13                          |           |      | 5,00  | 5,00  |
| 1  | Llave #14                          |           |      | 3,00  | 3,00  |
| 1  | Llave #7                           |           |      | 1,00  | 1,00  |
| 4  | lijas #220                         |           |      | 0,75  | 3,00  |
| 1  | Acrílico                           | 200x200x5 |      | 5,00  | 5,00  |
| 1  | Rollo Aluminio al 99.98% de pureza | 50000x1.5 |      | 50,00 | 50,00 |

|                  |               |
|------------------|---------------|
| <b>Total 5.7</b> | <b>479.64</b> |
|------------------|---------------|

### 5.1.2.3 Equipos

TABLA 5.8. Equipos

| Equipos  |                        |                |               |                     |          |
|----------|------------------------|----------------|---------------|---------------------|----------|
| CANTIDAD | EQUIPO                 | CARACTERISTICA |               | C. UNITARIO<br>[\$] | COSTO T. |
| 1        | Bomba de vacío Edwards | 8              | m3/h          | 800                 | 800      |
| 1        | Transformador          | 60-280         | Amperios      | 50                  | 50       |
| 1        | Amperímetro            | 0-300          | Amperios      | 12,32               | 12,32    |
| 1        | transformador          | 0-300          | Amperios      | 9,29                | 9,29     |
| 1        | Selector ON-OFF        | 25mm           | 6<br>Amperios | 4,79                | 4,79     |
| 1        | Switche                | 2x60           | Amperios      | 2,3                 | 2,3      |
| 2        | Vacuómetros            | 0 á -30        | pulg Hg       | 21,55               | 43,1     |
| 1        | Pirómetro              | 0 á 1200       | °C            | 93                  | 93       |
| 6        | Resistencia Cerámica   |                |               | 25                  | 150      |

|                  |               |
|------------------|---------------|
| <b>Total 5.8</b> | <b>1164.8</b> |
|------------------|---------------|

### 5.1.2.4 Mano de obra

**TABLA 5.9. Mano de Obra**

| Mano de Obra                           |   |             |
|--|---|-------------|
| Proceso                                | Característica                          | Costo Total |
| Corte en inox de 10mm                  | Plasma                                  | 20,00       |
| Corte en inox de 5mm                   | Plasma                                  | 10,00       |
| Barolado del cuerpo 10mm               | Baroladora                              | 30,00       |
| Conformado de la cabeza 5mm            | Forjado en frío con matriz              | 35,00       |
| Construcción de brida                  | Torno                                   | 25,00       |
| Soldadura en inox Cuerpo               | M.I.G. electrodo inox 306L              | 10,00       |
| Soldadura en inox tubo-placa base      | M.I.G. electrodo inox 306L              | 5,00        |
| Perforaciones en brida y placa base    | Taladro de banco                        | 10,00       |
| Roscado en placa base                  | Machuelos M10x1.25                      | 10,00       |
| Pulida de cámara y placa base          | Lijas finas, proceso manual             | 15,00       |
| Ensamble Cabeza, cuerpo, brida.        | Proceso soldadura M.I.G.                | 40,00       |
| Corte ángulo                           | Sierra manual                           | 10,00       |
| Suelda de arco Eléctrico Estructura    | E6011                                   | 20,00       |
| Pulida de estructura                   | moladora                                | 5,00        |
| Corte plancha                          | cizalla                                 | 5,00        |
| Ensamble estructura y plancha          | Perforaciones en planchas y atornillado | 10,00       |
| Soldadura de Ruedas en base            | E6011                                   | 3,00        |
| Pintado superficie exterior estructura | soplete                                 | 10,00       |

|                  |               |
|------------------|---------------|
| <b>Total 5.9</b> | <b>273,00</b> |
|------------------|---------------|

### 5.1.2.5 Otros costos directos

**TABLA 5.10. Otros costos Directos**

| Otros costos Directos |                              |                |             |
|-----------------------|------------------------------|----------------|-------------|
| Cantidad              | Descripción                  | Costo unitario | Costo total |
|                       | Libros, software, catálogos  | 70             | 70          |
|                       | Calibración                  |                | 10          |
|                       | Amperímetro                  | 5              | 5           |
|                       | Vacuometro                   | 5              | 5           |
| 4                     | Elaboración Monografía Final | 40             | 160         |
|                       | Costo presentación tesis     | 900            | 900         |

|                   |             |
|-------------------|-------------|
| <b>Total 5.10</b> | <b>1150</b> |
|-------------------|-------------|

|  |                |
|--|----------------|
| <b>Subtotal 2 (5.6+5.7+5.8+5.9+5.10)</b> | <b>3127,44</b> |
|--|----------------|

**TABLA 5.11. Imprevistos**

| <b>Imprevistos</b>                     |               |
|--|---------------|
| <b>Imprevisto 5% de Subtotal (1+2)</b> | <b>504,97</b> |
| <b>Subtotal 3</b>                      | <b>504,97</b> |

**Total General**

|   |                 |
|---|-----------------|
| <b>Total general [\$]: Subtotal (1+2+3)</b> | <b>10604.37</b> |
|---|-----------------|

**TABLA 5.12. Financiamiento**

| <b>Financiamiento</b> |                    |            |
|-----------------------|--------------------|------------|
| <b>Descripción</b>    | <b>Costo total</b> | <b>%</b>   |
| Ejecutores            | 9964,41            | 90,38      |
| ESPE                  | 800,00             | 7,25       |
| BOPP DEL ECUADOR      | 260,00             | 2,37       |
| <b>Total</b>          |                    | <b>100</b> |

## 5.2 ANÁLISIS COSTO - BENEFICIO

Al ser un proyecto educativo para la universidad, este tiene el carácter de social por lo que se opta por realizar un análisis mediante la utilización de calificaciones cualitativas (muy bueno, bueno, regular, malo y muy malo), esta metodología de criterios se hace con respecto a información relevante del proyecto. Los criterios cualitativos de valoración se observan de acuerdo a la tabla 5.13.

**TABLA 5.13. Valoración de calificaciones cuantitativas**

| Calificación | Puntuación |
|--------------|------------|
| Muy bueno    | 10         |
| Bueno        | 8          |
| Regular      | 6          |
| Malo         | 4          |
| Muy malo     | 1          |

**TABLA 5.14. Criterios cualitativos**

| Criterios                                  | Muy Bueno | Bueno | Regular | Malo | Muy malo |
|--|-----------|-------|---------|------|----------|
| <b>Criterios de factibilidad Técnica</b>   |           |       |         |      |          |
| 1. Probabilidad de éxito técnico           | X         |       |         |      |          |
| 2. Propiedad Industrial                    | X         |       |         |      |          |
| 3. Desarrollo futuro                       | X         |       |         |      |          |
| 4. Efecto ambiental                        | X         |       |         |      |          |
| 5. Tiempo de desarrollo                    | X         |       |         |      |          |
| <b>Criterios de factibilidad Comercial</b> |           |       |         |      |          |
| 1. Oportunidad                             |           | X     |         |      |          |
| 2. Posición competitiva                    | X         |       |         |      |          |
| 3. Canales de distribución                 |           |       | X       |      |          |
| 4. Dimensión del mercado                   |           | X     |         |      |          |
| 5. Cuota de Mercado                        |           |       | X       |      |          |
| 6. Costes de lanzamiento                   |           |       |         | X    |          |
| 7. Éxito Comercial                         | X         |       |         |      |          |
| 8. Precio                                  |           | X     |         |      |          |
| <b>Criterios Financieros</b>               |           |       |         |      |          |
| 1. Costos (Directos e Indirectos)          |           |       | X       |      |          |

|   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|
| 2.Inversiones de fabricación                |   |   | X |   |   |
| 3.Inversión de Comercialización             |   | X |   |   |   |
| <b>Criterios de Producción</b>              |   |   |   |   |   |
| 1.Nuevos procesos requeridos                |   | X |   |   |   |
| 2.Disponibilidad de personal de fabricación |   | X |   |   |   |
| 3.Compatibilidad con la capacidad actual    |   |   |   | X |   |
| 4.Disponibilidad y coste de materia prima   |   |   |   |   | X |
| 5.Costes de fabricación                     |   |   | X |   |   |
| 6.Seguridad                                 |   | X |   |   |   |
| <b>Criterios de Investigación</b>           |   |   |   |   |   |
| 1.Instalaciones y laboratorio               | X |   |   |   |   |
| 2.Innovación                                | X |   |   |   |   |
| 3.Equipo innovador                          |   | X |   |   |   |
| <b>Criterios Institucionales</b>            |   |   |   |   |   |
| 1.Historial de la empresa                   |   | X |   |   |   |
| 2.Actitud ante la innovación                | X |   |   |   |   |
| 3.Actitud ante el riesgo                    |   | X |   |   |   |
| 4.Clima laboral                             |   | X |   |   |   |

Los criterios que se muestran en la TABLA 5.14, están ponderados con valores del 1 al 10, se tomara en cuenta el valor de cero para aquellos criterios que no intervengan en el proyecto (sin influencia) y 10 a los relevantes en el proyecto.

Luego de la ponderación y asignadas las calificaciones se procede a obtener el índice de merito relativo (IMR) del proyecto mediante la siguiente expresión:

$$IMR = \frac{\sum (Ponderación \text{ criterio } \times \text{Calificación})}{\sum (Ponderación \text{ criterio } \times 10)} \quad (\text{Ec. 5.1})$$



### **5.2.1 CRITERIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA**

Por ser un producto que si bien existe pero no en el país, este es innovador, al ser dotado de una nueva tecnología.

$$IMR = ((10 \cdot 10 + 10 \cdot 10 + 10 \cdot 10 + 10 \cdot 10 + 10 \cdot 10)) / ((10 \cdot 10 + 10 \cdot 10 + 10 \cdot 10 + 10 \cdot 10 + 10 \cdot 10))$$

$$IMR = 1$$

Se ha obtenido la máxima valoración posible.

### **5.2.2 CRITERIO DE FACTIBILIDAD COMERCIAL**

Por no ser un producto destinado para la comercialización la valoración es de cero.

$$IMR = 0$$

### **5.2.3 CRITERIO FINANCIERO**

Al no ser una máquina que se invierta para obtener ganancias la valoración es de cero

$$IMR = 0$$

### **5.2.4 CRITERIO DE PRODUCCIÓN**

Por no existir fábrica o empresa que se dedique a la elaboración o comercialización de máquinas metalizadoras en el país, la valoración es cero.

$$IMR = 0$$

### **5.2.5 CRITERIO DE INVESTIGACIÓN**

Criterio de suma importancia puesto que se hace énfasis en datos de laboratorio e investigaciones bibliográficas se obtiene el IMR de

$$IMR = ((10 \cdot 10 + 10 \cdot 10 + 10 \cdot 8)) / (10 \cdot 10 + 10 \cdot 10 + 10 \cdot 10)$$

IMR= 0.93

Se obtiene un excelente indicador, las investigaciones se han realizado con material bibliográfico de última generación (Páginas Web de adelantos tecnológicos, asesoría técnica calificada). Las pruebas efectuadas se realizaron en laboratorios de la FIME, ESPE.

#### **5.2.6 CRITERIOS INSTITUCIONALES**

La ESPE al no ser una empresa sino universidad se dedicará al uso de la máquina mas no a su producción, por lo que su valoración es de cero.

IMR=0

#### **5.2.7 RESULTADO**

Se han obtenido IMR de 1 en criterios de factibilidad técnica y de 0.93 en investigación, con índices de cero para los demás criterios, estos resultados son buenos al ser un proyecto de bien social (sin fines de lucro), ya que está máquina está orientada hacia la enseñanza de una nueva técnica de recubrimiento metálico sobre plásticos.

# CAPÍTULO VI

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 CONCLUSIONES

- Las bases fundamentales para proceder con el tema de tesis propuesto son la investigación como parte principal, el diseño y la construcción.
- Las técnicas del alto vacío no se ha explotado en el país, la única empresa que posee esta tecnología es BOPP DEL ECUADOR, que se dedica a producir y metalizar POLIPROPILENO BIORIENTADO.
- Las resistencias cerámicas fueron un obsequio por parte de BOPP así como el aluminio, por ende es difícil conseguir este tipo de elementos a menos que se importen en grandes cantidades.
- El proceso de metalizado en sí puede dañar la cámara ya que por medio de la investigación se constató que si no se la fabrica en acero inoxidable puede producir gasificación y por ende el deterioro de la superficie expuesta, teniendo en cuenta que se debe realizar una limpieza para cada proceso.
- En la construcción, debido al material que es de espesor considerable, además de ser costoso en planchas completas y al necesitar pequeñas cantidades fue difícil conseguirlo en buenas condiciones, esto produjo retraso en el proyecto.
- Para conformar la cabeza se necesitó de una matriz, lo complicado fue no encontrar matrices estandarizadas para el diámetro propuesto, se fabricó una lo mas aproximada posible al diseño para superar este tramo, por lo que demandó de mayor tiempo para su culminación.

- Para la construcción de la máquina se necesitó de mas tiempo que el propuesto, por los inconvenientes que se presentaron con el pasar del tiempo.
- De los equipos entregados por la ESPE para este proyecto como son la bomba de alto vacío y el transformador de alto amperaje se utilizó solo la bomba, pero es necesario recalcar que esta es de medio vacío (-21.5 pulg. Hg. ó -10.6psi) ya que al momento de ponerla a trabajar no arrojó los valores teóricos encontrados en la web, lo que ocasionó baja efectividad en el proceso.
- Es menester incorporar una bomba difusora para alcanzar el alto vacío, esta trabaja con la bomba de medio vacío que sirve como precursora ya que el principio de funcionamiento es a través de aceite, difusores y una resistencia que proporciona calor al aceite y este al momento de trabajar con una bomba de medio vacío se evapora ingresando a la cámara, atrapa las partículas de humedad, aire entre otros elementos contaminantes a fin de ocasionar el alto vacío, libre de humedad obteniendo un ambiente seco y limpio.
- El transformador proporcionado no fue utilizado debido a que entrega un amperaje mayor al requerido, superando valores a 600 amperios, y lo necesario era de máximo 300 amperios, por lo que se compró una suelta de corriente alterna que trabaja dentro del rango establecido (0 – 300 A)
- Para las pruebas de evaporación se utilizo tungsteno no consumible en forma de resistencia, este funcionó bien las tres primeras pruebas pero a la cuarta se observó contaminación dentro de la cámara debido a que los elementos calefactores no eran puros, por otro lado empezaron a fallar al realizar 5 ó 6 pruebas terminando el contacto por lo que se cambiaban continuamente, su costo era de \$5 aproximadamente, lo que no era rentable para el proyecto.

- Las resistencias cerámicas obsequiadas por BOPP de 0.5 ohmios, requerían de gran capacidad para obtener la temperatura deseada (1200 ° C), por lo que recalentaron a los transformadores y no se obtuvo la temperatura necesaria para el proceso. Así surgió la idea de reducir la sección longitudinal para disminuir su resistencia, llegando a obtener la temperatura requerida teniendo en cuenta que sus contactos deben tener un buen ajuste.
- Las resistencias trabajan en el vacío ya que si se lo hace en el ambiente estas se oxidan y su contacto con los pasa muros no se efectuaría adecuadamente, lo que obliga una limpieza en los mismos para obtener nuevamente el ajuste, esto con el tiempo afecta la vida útil de la máquina.
- El aluminio evaporizado se adhiere a las partes más frías, pero tomando en cuenta que el sustrato debe estar sin porosidades, caso contrario no se metalizará, por lo tanto no se adhiere hacia las paredes de la cámara.
- Además de la aplicación como METALIZADORA, éste proyecto ha permitido realizar el diseño, construcción y prueba de nuevos elementos, utilizando este sistema para tareas de enseñanza e investigación.
- El diseño que se realizó es simple y tiene las características requeridas para su aplicación en el trabajo de investigación. La simplicidad del diseño, permite que el sistema sea totalmente desarmable, logrando con esto que los estudiantes aprecien la estructura de los componentes del sistema y su función dentro de él.
- Después de superar los innumerables obstáculos, propios de desarrollar una tecnología que no es de amplio dominio en el país, se obtuvo una metalizadora poco eficiente, debido principalmente a la falta de alto vacío que se lograba con la incorporación de una bomba difusora en el

sistema, esto ocasiona que exista dentro de la cámara un ambiente húmedo y contaminado, por lo tanto al momento de evaporarse el aluminio se contamina rápidamente lo que no ayuda en nada a la adherencia sobre el sustrato, se logro recubrir una ligera capa de aluminio pero con baja adherencia por ende no proporciona las características adecuadas.

- Se quiere dejar en claro que por la falta de la bomba difusora no se cumplió a cabalidad con el objetivo propuesto, pero se está seguro de que implementando este tipo de bomba hacia el sistema que se construyó, además de un análisis minucioso de fugas que se puedan presentar con lo acoples, el proceso de metalizado se realizará eficientemente.

## 6.2 RECOMENDACIONES

- Para realizar el diseño de la cámara se considerará como punto de partida el factor de presión crítica de vacío, considerando parámetros básicos de diseño según el CODIGO ASME, SECCIÓN VIII, DIVISIÓN I de recipientes sometidos a presión interna y externa.
- La cámara deberá ser fabricada en acero inoxidable para evitar la desgasificación en las paredes internas, este tipo de material permitirá incrementar la vida útil de la máquina y realizar con mayor facilidad su limpieza después de cada proceso.
- La soldadura para el ensamble de las diferentes partes de la cámara se la debe efectuar bajo el proceso TIG y cuya precisión dependerá de la habilidad del soldador para evitar porosidades que posteriormente producirán fugas.
- Antes de iniciar el proceso se deberá verificar que la cámara no presente fugas, estas pueden ser detectadas con el cierre de la válvula (Válvula de globo de 1") en el instante en que la bomba de vacío alcance su valor máximo, si el vacuómetro empieza a disminuir lentamente será un síntoma de que la cámara presenta fugas, por lo que será necesario proceder a realizar una inspección minuciosa de las partes mas propensas como son, soldaduras, uniones y perforaciones para los pasamuros, si el vacuómetro permanece estático la cámara no presenta ningún tipo de fuga.
- El aluminio que es la materia prima del proceso, deberá ser lo mas puro posible (aproximadamente 99.98%), esta característica será primordial para alcanzar el brillo metálico en los sustratos, si el aluminio carece de pureza la temperatura de evaporación (1200 °C) aumentará y no se podrá realizar el proceso de metalizado, debido a la existencia de otros compuestos que poseen diferentes puntos de evaporación.

- En el instante en que se proceda a colocar los sustratos para su correspondiente metalización, será necesario verificar la altura a la que son colocados, esta se deberá encontrar entre 15 y 20 cm desde la cerámica.
- La cámara estará sometida a un constante mantenimiento, debido ha que cada proceso evapora una gran cantidad de aluminio que se deposita en los sustratos y en las paredes internas, por lo que antes de iniciar un nuevo proceso será necesario realizar una limpieza total de las superficies, esta deberá ser efectuada con elementos de protección personal como son mascarilla y guantes de tela, de esta manera se evitará que el operador sea objeto de sufrir algún tipo de enfermedad.
- La obtención de un mejor rendimiento de la máquina dependerá del aprovechamiento que se proporcione a su capacidad interna, esto permitirá obtener un mayor número de sustratos metalizados en un solo proceso, logrando de esta manera metalizar más piezas con las mismas características físicas que si se obtuviera con una sola.
- El proceso de recubrimiento metálico en plástico no se produjo eficientemente, esto se da principalmente por la falta de obtención de un factor fundamental como es el alto vacío, este parámetro no fue alcanzado debido a la carencia de una bomba difusora, dicha bomba no se la pudo adquirir en el mercado nacional, por lo que deberá ser importada y como se menciona que es el factor que falta para que el proceso sea total y eficiente se recomienda que futuros compañeros retomen este proyecto como tesis, esta constara en instalar la bomba difusora y sus respectivos controles, con esto se asegura que el proceso será efectivo, departe de los ejecutores existe el compromiso total de prestar toda la ayuda e información que sea requerida por las personas que retomen este proyecto.



# **ANEXOS**

# **ANEXO A**

**TABLAS E ILUSTRACIONES**


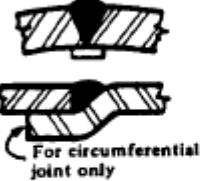

**ANEXO A1 Tablas de propiedades de materiales**

**PROPERTIES OF MATERIALS  
STAINLESS STEEL**

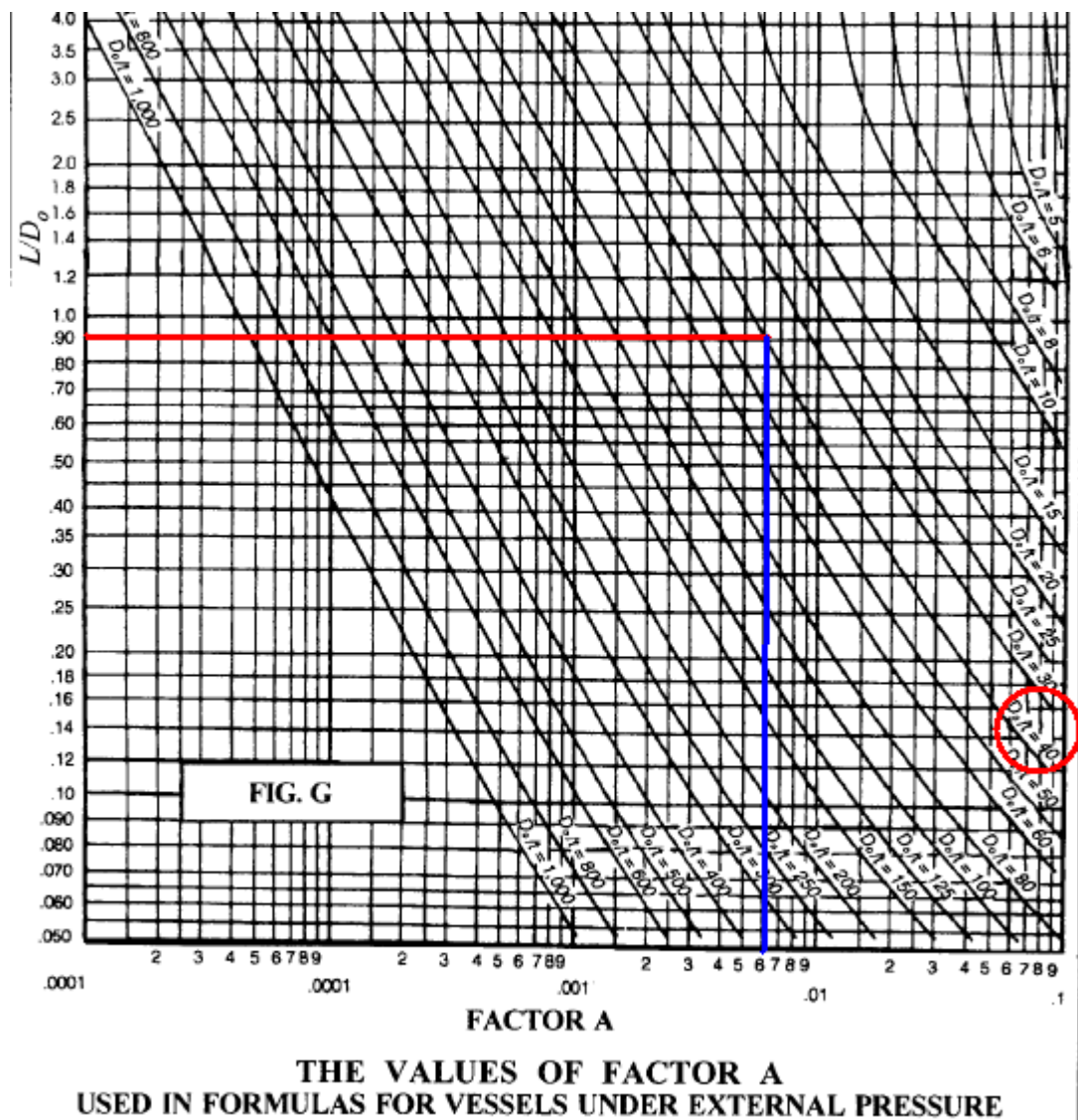
P-No. 8 Group No. 1

| TABLE 1                                       |   |           |           |        | TABLE 3                 |   |   |           |           |        |       |      |       |
|---|---|-----------|-----------|--------|-------------------------|---|---|-----------|-----------|--------|-------|------|-------|
| NOMINAL COMPOSITION 18 Cr – 8 Ni              | Min. Yield, ksi. 30.0<br>Min. Tensile ksi. 75.0 | Product   | Spec. No. | Grade  | Notes                   | NOMINAL COMPOSITION 16 Cr – 12 Ni – 2 Mo. | Min. Yield, ksi. 30.0<br>Min. Tensile ksi. 75.0 | Product   | Spec. No. | Grade  | Notes |      |       |
|   |   | Plate     | SA-240    | 304    | 2 3                     |   |   | Plate     | SA-240    | 316    | 2 3   |      |       |
|   |   | Smls. Tb. | SA-213    | TP304  | 2                       |   |   | Smls. Tb. | SA-213    | TP316  | 2     |      |       |
|   |   | Smls. Tb. | SA-213    | TP304H | -                       |   |   | Smls. Tb. | SA-213    | TP316H | -     |      |       |
|   |   | Smls. Pp. | SA-312    | TP304  | 2                       |   |   | Smls. Pp. | SA-312    | TP316  | 2     |      |       |
|   |   | Smls. Pp. | SA-312    | TP304H | -                       |   |   | Smls. Pp. | SA-312    | TP316H | -     |      |       |
|   |   | Smls. Pp. | SA-376    | TP304  | 2                       |   |   | Smls. Pp. | SA-376    | TP316  | 2     |      |       |
|   |   | Smls. Pp. | SA-376    | TP304H | -                       |   |   | Smls. Pp. | SA-376    | TP316H | -     |      |       |
|   |   | Forg.     | SA-182    | F304   | 2                       |   |   | Forg.     | SA-182    | F316   | 2     |      |       |
|   |   | Forg.     | SA-182    | F304H  | -                       |   |   | Forg.     | SA-182    | F316H  | -     |      |       |
| Bar   | SA-479  | 304       | 2 3       | Bar    | SA-479                  | 316                                       | 2 3   |           |           |        |       |      |       |
| TABLE 2                                       |   |           |           |        | TABLE 4                 |   |   |           |           |        |       |      |       |
| Yield 25.0<br>Tens 70.0                       | Product   | Spec. No. | Grade     | Notes  | Yield 25.0<br>Tens 70.0 | Product                                   | Spec. No.                                       | Grade     | Notes     |        |       |      |       |
|   | Plate   | SA-240    | 304L      | -      |                         | Plate                                     | SA-240  | 316L      | -         |        |       |      |       |
|   | Smls. Tb.                                       | SA-213    | TP304H    | -      |                         | Smls. Tb.                                 | SA-213  | TP316L    | -         |        |       |      |       |
|   | Smls. Pp.                                       | SA-312    | TP304L    | -      |                         | Smls. Pp.                                 | SA-312  | TP316L    | -         |        |       |      |       |
|   | Bar   | SA-479    | 304L      | -      |                         | Bar                                       | SA-479  | 316L      | -         |        |       |      |       |
| MAXIMUM ALLOWABLE STRESS VALUES, 1,000 psi.   |   |           |           |        |                         |   |   |           |           |        |       |      |       |
| FOR METAL TEMPERATURES NOT EXCEEDING DEG. °F. |   |           |           |        |                         |   |   |           |           |        |       |      |       |
| MATERIALS<br>IN TABLE                         | -20-100   | 200       | 300       | 400    | 500                     | 600                                       | 650   | 700       | 750       | 800    | 850   | 900  | Notes |
| 1   | 20.0  | 20.0      | 18.9      | 18.3   | 17.5                    | 16.6                                      | 16.2  | 15.8      | 15.5      | 15.2   | 14.9  | 14.6 | 1     |
|   | 20.0  | 16.7      | 15.0      | 13.8   | 12.9                    | 12.3                                      | 12.0  | 11.7      | 11.5      | 11.2   | 11.0  | 10.8 |       |
| 2   | 16.7  | 16.7      | 16.7      | 15.8   | 14.7                    | 14.0                                      | 13.7  | 13.5      | 13.3      | 13.0   | -     | -    | 1     |
|   | 16.7  | 14.3      | 12.8      | 11.7   | 10.9                    | 10.4                                      | 10.2  | 10.0      | 9.8       | 9.7    | -     | -    |       |
| 3   | 20.0  | 20.0      | 20.0      | 19.3   | 18.0                    | 17.0                                      | 16.6  | 16.3      | 16.1      | 15.9   | 15.7  | 15.6 | 1     |

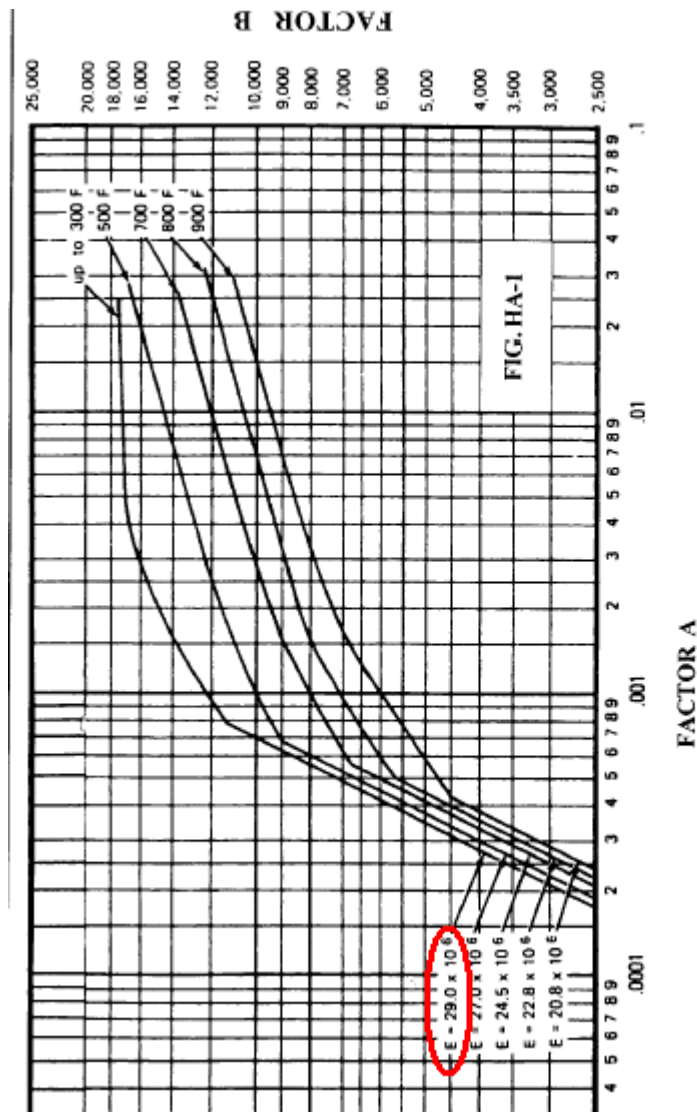
ANEXO A.2. Tipos de eficiencia en las juntas

| TYPES OF WELDED JOINTS |  |   |                        |                       |      |
|------------------------|--|---|------------------------|-----------------------|------|
| TYPES<br>CODE UW-12    |  | JOINT EFFICIENCY, E<br>When the Joint:  |                        |                       |      |
|                        |  | a.<br>Fully<br>Radio-<br>graphed  | b.<br>Spot<br>Examined | c.<br>Not<br>Examined |      |
| 1                      |   | <p>Butt joints as attained by double-welding or by other means which will obtain the same quality of deposited weld metal on the inside and outside weld surface.</p> <p>Backing strip if used shall be removed after completion of weld.</p> | 1.00                   | 0.85                  | 0.70 |
| 2                      |  <p style="font-size: small;">For circumferential joint only</p> | <p>Single-welded butt joint with backing strip which remains in place after welding</p>   | 0.90                   | 0.80                  | 0.65 |
| 3                      |   | <p>Single-welded butt joint without use of backing strip</p>  | —                      | —                     | 0.60 |

**ANEXO A.3. Factor "A" para recipientes sometidos a presión externa (Cuerpo)**



## ANEXO A.4 Valor de “E” Modulo de elasticidad para el material TP 304



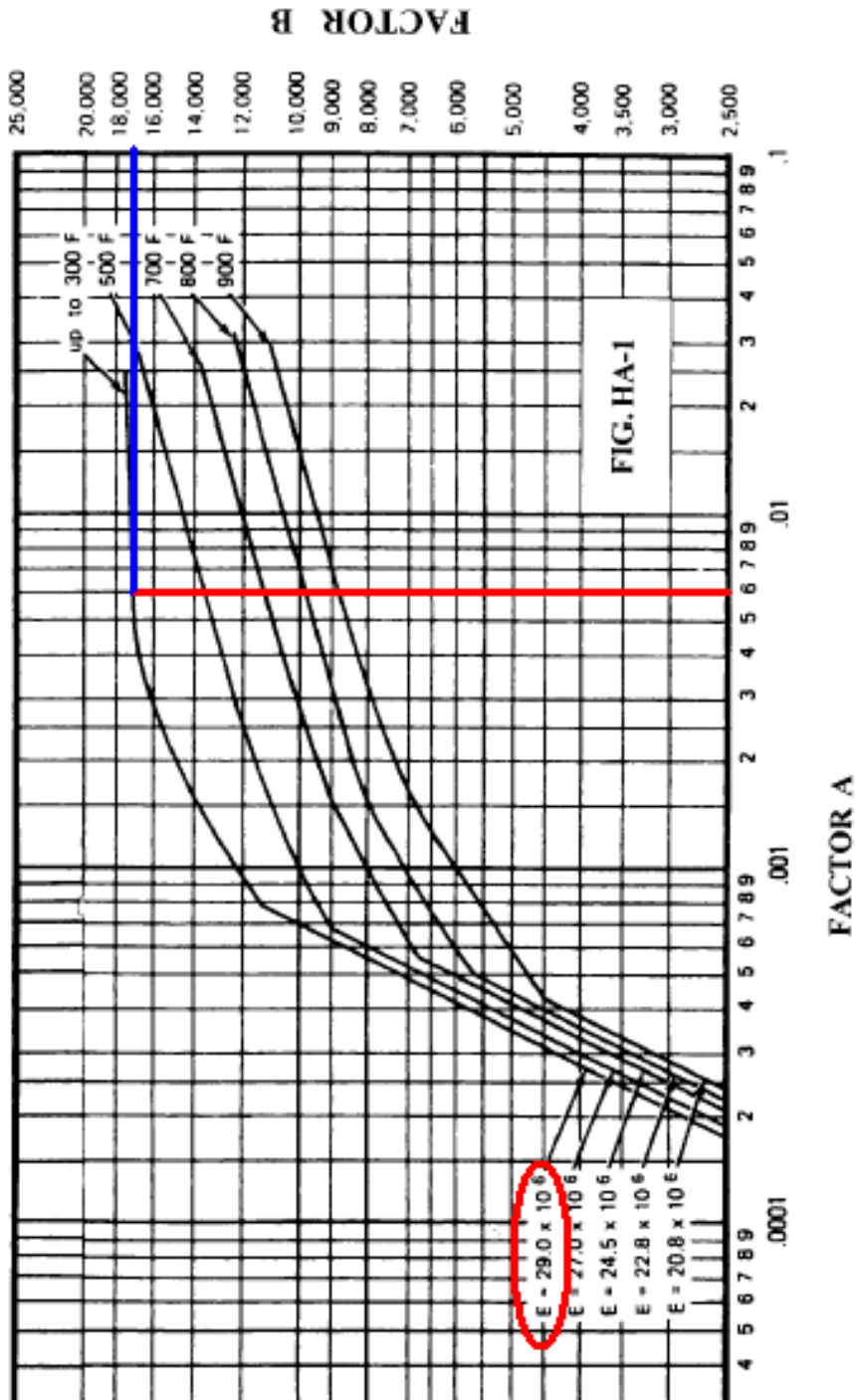
### THE VALUES OF FACTOR B

USED IN FORMULAS FOR VESSELS UNDER EXTERNAL PRESSURE

If the chart are applicable when the vessel is constructed of austenitic steel (18Cr-8Ni, Type 304) (page 190)

**Nota:** Como los valores del máximo esfuerzo admisible anexo A.1., se tomaron con referencia a una temperatura de máximo 200 ° F, se escoge el valor de la grafica que presenta a menor temperatura que es  $E = 29.0 \times 10^6$ .

**ANEXO A.5. Factor "B" para recipientes sometidos a presión externa (Cuerpo)**

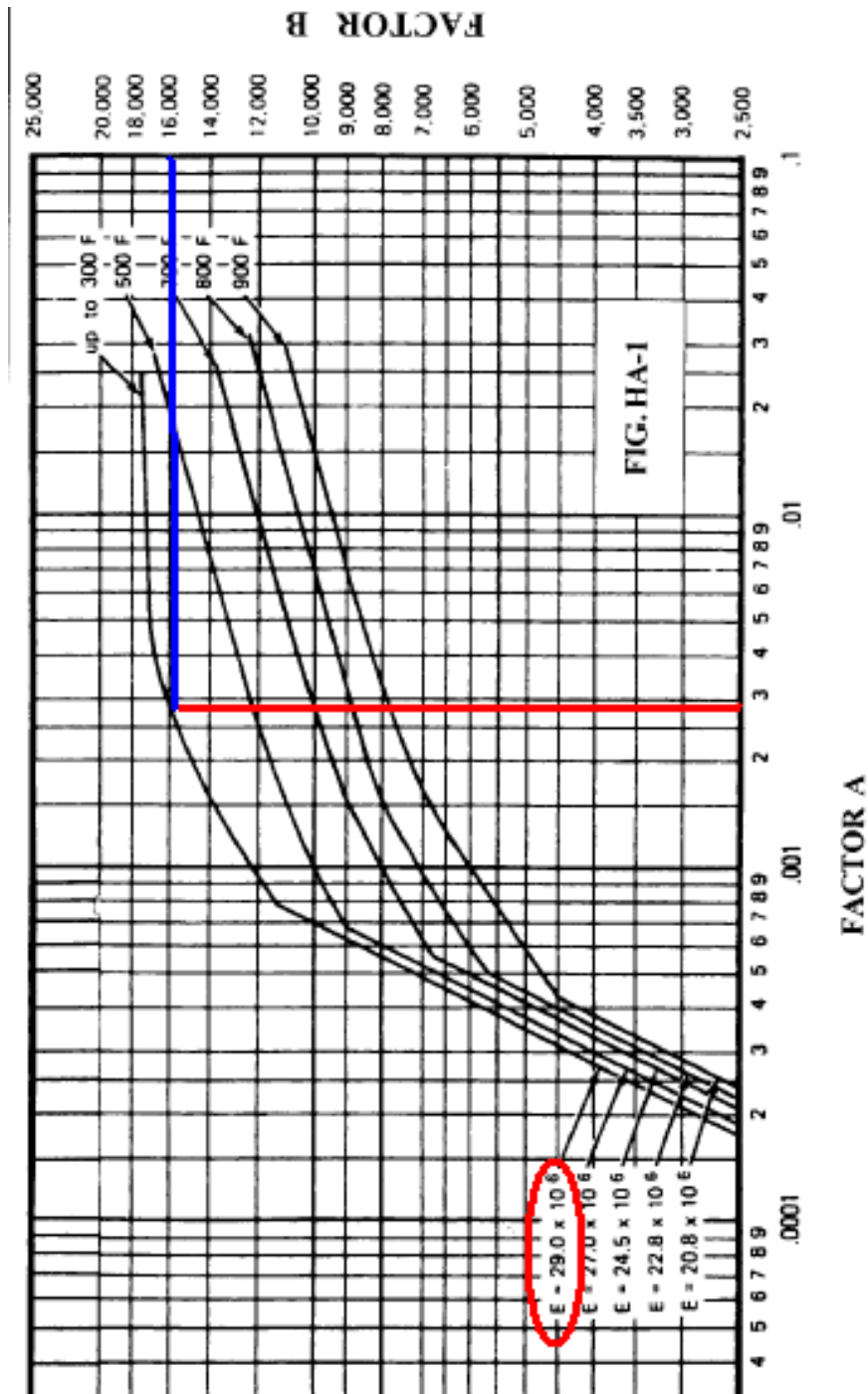


**THE VALUES OF FACTOR B**

**USED IN FORMULAS FOR VESSELS UNDER EXTERNAL PRESSURE**

if the chart are applicable when the vessel is constructed of austenitic steel (18Cr-8Ni, Type 304) (see page 190)

**ANEXO A.6 Factor “B” para recipientes sometidos a presión externa (Cabeza)**



**THE VALUES OF FACTOR B  
USED IN FORMULAS FOR VESSELS UNDER EXTERNAL PRESSURE**  
if the chart are applicable when the vessel is constructed of austenitic steel (18Cr-8Ni, Type 304)  
ge 190)

**Nota:** Es necesario notar que las figuras de los anexos A.4., A.5. y A.6. son similares pero se las aplica en distinta condición.



## ANEXO A.7 Factor “C” depende de unión entre cuerpo y placa base

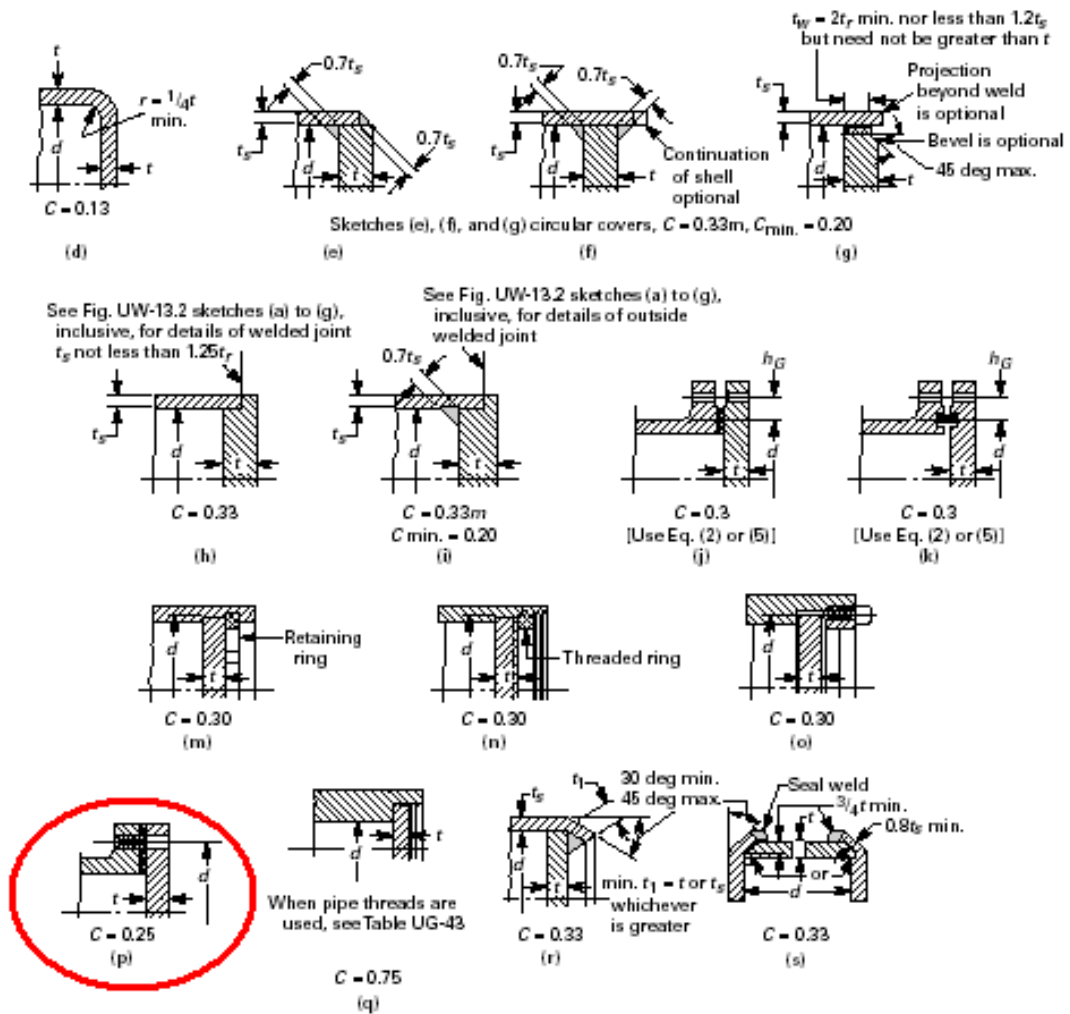


FIG. UG-34 SOME ACCEPTABLE TYPES OF UNSTAYED FLAT HEADS AND COVERS  
The Above Illustrations Are Diagrammatic Only. Other Designs That Meet  
the Requirements of UG-34 Are Acceptable.

c

ANEXO A.8. Propiedades de la tubería

PROPERTIES OF PIPE

Schedule numbers and weight designations are in agreement with ANSI B36.10 for carbon and alloy steel pipe and ANSI B36.19 for stainless steel pipe.

| Nom pipe size | Schedule No.          |                   | Weight Designation | Out-side diam. in. | In-side diam. in. | Wall thick-ness in. | Weight per foot lb. | Wt. of water per ft. pipe lb. | Outside surface per ft. sq. ft. | Inside surface per ft. sq. ft. | Trans-verse area sq. in. |
|---------------|-----------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|---------------------|---------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------|
|               | Carbon & alloy steels | Stain-less steels |                    |                    |                   |                     |                     |                               |                                 |                                |                          |
| 1/8           | ...                   | 10S               | ....               | .405               | .307              | .049                | .186                | .0320                         | .106                            | .0804                          | .0740                    |
|               | 40                    | 40S               | Std.               | .405               | .269              | .068                | .244                | .0246                         | .106                            | .0705                          | .0568                    |
|               | 80                    | 80S               | X-Stg.             | .405               | .215              | .095                | .314                | .0157                         | .106                            | .0563                          | .0364                    |
| 1/4           | ...                   | 10S               | ....               | .540               | .410              | .065                | .330                | .0570                         | .141                            | .1073                          | .1320                    |
|               | 40                    | 40S               | Std.               | .540               | .364              | .088                | .424                | .0451                         | .141                            | .0955                          | .1041                    |
|               | 80                    | 80S               | X-Stg.             | .540               | .302              | .119                | .535                | .0310                         | .141                            | .0794                          | .0716                    |
| 3/8           | ...                   | 10S               | ....               | .675               | .545              | .065                | .423                | .1010                         | .177                            | .1427                          | .2333                    |
|               | 40                    | 40S               | Std.               | .675               | .493              | .091                | .567                | .0827                         | .177                            | .1295                          | .1910                    |
|               | 80                    | 80S               | X-Stg.             | .675               | .423              | .126                | .738                | .0609                         | .177                            | .1106                          | .1405                    |
| 1/2           | ...                   | 10S               | ....               | .840               | .670              | .083                | .671                | .1550                         | .220                            | .1764                          | .3568                    |
|               | 40                    | 40S               | Std.               | .840               | .622              | .109                | .850                | .1316                         | .220                            | .1637                          | .3040                    |
|               | 80                    | 80S               | X-Stg.             | .840               | .546              | .147                | 1.087               | .1013                         | .220                            | .1433                          | .2340                    |
|               | 160                   | ...               | ....               | .840               | .466              | .187                | 1.310               | .0740                         | .220                            | .1220                          | .1706                    |
|               | ...                   | ...               | XX-Stg.            | .840               | .252              | .294                | 1.714               | .0216                         | .220                            | .0660                          | .0499                    |
| 3/4           | ...                   | 10S               | ....               | 1.050              | .834              | .083                | .857                | .2660                         | .275                            | .2314                          | .6138                    |
|               | 40                    | 40S               | Std.               | 1.050              | .824              | .113                | 1.130               | .2301                         | .275                            | .2168                          | .5330                    |
|               | 80                    | 80S               | X-Stg.             | 1.050              | .742              | .154                | 1.473               | .1875                         | .275                            | .1948                          | .4330                    |
|               | ...                   | ...               | ....               | 1.050              | .675              | .188                | 1.727               | .1514                         | .275                            | .1759                          | .3570                    |
|               | 160                   | ...               | ....               | 1.050              | .614              | .218                | 1.940               | .1280                         | .275                            | .1607                          | .2961                    |
| 1             | ...                   | 10S               | ....               | 1.315              | 1.097             | .109                | 1.404               | .4090                         | .344                            | .2872                          | .9448                    |
|               | 40                    | 40S               | Std.               | 1.315              | 1.049             | .133                | 1.678               | .3740                         | .344                            | .2740                          | .8640                    |
|               | 80                    | 80S               | X-Stg.             | 1.315              | .957              | .179                | 2.171               | .3112                         | .344                            | .2520                          | .7190                    |
|               | ...                   | ...               | ....               | 1.315              | .877              | .219                | 2.561               | .2614                         | .344                            | .2290                          | .6040                    |
|               | 160                   | ...               | ....               | 1.315              | .815              | .250                | 2.850               | .2261                         | .344                            | .2134                          | .5217                    |
| ...           | ...                   | XX-Stg.           | 1.315              | .599               | .358              | 3.659               | .1221               | .344                          | .1570                           | .2818                          |                          |

# **ANEXO B**

**PLANOS GENERAL**

# **ANEXO C**

**PLANOS DE TALLER**

# **ANEXO D**

**PROCESOS DE MANUFACTURA**

# **ANEXO E**

**BOMBAS DE VACÍO**

# **ANEXO F**

**MEDIDORES DE VACÍO**

# **ANEXO G**

**FOTOGRAFÍAS**



## **BIBLIOGRAFÍA**

- Smith, William. Fundamento de la Ciencia e Ingeniería de los Materiales, 2da Edición.
- Megyesy, Eugene F. Pressure Vessel Handbook, 20va edición, 2001
- Roth. Vacuum Technology, 3ª Edición, Elsevier, Amsterdam, 1990.
- Manuales:
  - Leybold.
  - Telstar.
- Apuntes de Ingeniería Económica y financiera
- Apuntes de preparación y evaluación de proyectos
- Revistas
- Normas INEN, Código de dibujo técnico mecánico, 1989
- Códigos de Diseño ASME SECCIÓN VIII DIV. 1
- Encyclopedia Britannica, Encyclopedia Britannica, 1982.
- Holman, J. P., Experimental Methods for Engineers, McGraw-Hill, 1966.
- Madey, Theodore E. y William C. Brown, History of Vacuum Science and Technology, publicado para la American Vacuum Society por el American Institute of Physics, 1984.
- O'Hanlon, John F., A User's Guide to Vacuum Technology, John Wiley & Sons, 1980.

## **Paginas Web**

- [http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/html/ec\\_10.htm](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/html/ec_10.htm)
- [http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/html/ec\\_11.htm](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/html/ec_11.htm)
- <http://www.ajvs.com/index.php?pid=18>
- [http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/html/ec\\_12.htm](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/html/ec_12.htm)

- [http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec\\_13.htm](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_13.htm)
- [http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec\\_14.htm](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_14.htm)
- [http://www.deplan.es/cast/ca\\_vertidocero.asp](http://www.deplan.es/cast/ca_vertidocero.asp)
- <http://www.cientificosaficionados.com/tecnicas/EPOXI%20para%20vacio.htm>
- [http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec\\_4.htm](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_4.htm)
- [http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec\\_5.htm](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_5.htm)
- [http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec\\_6.htm](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_6.htm)
- [http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec\\_7.htm](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_7.htm)
- [http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec\\_8.htm](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_8.htm)
- [http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec\\_9.htm](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_9.htm)
- <http://www.cienciasaplicadas.buap.mx/Antecedentes/Reorganizacion1.htm>
- <http://ervacor.com/que%20es%20metalizado.htm>
- <http://www.mercatron.co.uk/languages/spanish/docs/products.htm>
- <http://www.mercatron.co.uk/languages/spanish/docs/nomograph.htm>
- <http://productosplasticos.com/ambiente/enciclopedia.asp?qry=m>
- <http://www.vacmetal.com.ar/metalizado.htm>
- <http://www.plastunivers.com/Tecnica/Hemeroteca/ArticuloCompleto.asp?ID=4222>
- <http://www.cientificosaficionados.com/TBO/sputering/Puruebas.htm>
- <http://bicho.uc3m.es/alumn/TV/>
- [http://www.acomybombas.com.ar/product\\_info.php/products\\_id/109](http://www.acomybombas.com.ar/product_info.php/products_id/109)
- <http://www.intercovamex.com/bombas.html>
- <http://www.intercovamex.com/componentes.html>

- [http://www.svc.org/EP/EP\\_FeauterGuideESP.html](http://www.svc.org/EP/EP_FeauterGuideESP.html)
- [http://www.leivak.com.ar/bombas\\_vacio.htm](http://www.leivak.com.ar/bombas_vacio.htm)
- <http://www.monografias.com/trabajos11/presi/presi.shtml>
- [http://www.goodfellow.com/csp/active/static/S/Acero\\_Inoxidable\\_-\\_AISI\\_304.HTML](http://www.goodfellow.com/csp/active/static/S/Acero_Inoxidable_-_AISI_304.HTML)
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Aluminio>
- [http://www.bonsaitech.com/detalle\\_familia.php?id\\_familia=7](http://www.bonsaitech.com/detalle_familia.php?id_familia=7)
- <http://inicia.es/de/aribas/mundo.html>
- <http://www.sc.ehu.es/nmwmigaj/bombavacio.htm>

## **CAPÍTULO I XXIII**

### **GENERALIDADES XXIII**

|                   |       |
|-------------------|-------|
| 1.1 ANTECEDENTES  | XXIII |
| 1.2 JUSTIFICACIÓN | XXV   |
| 1.3.1 GENERAL     | XXVII |
| 1.3.2 ESPECÍFICOS | XXVII |
| 1.4 ALCANCE       | XXVII |

## **CAPÍTULO II XXIX**

### **DISEÑO DE LA CÁMARA XXIX**

|                                      |         |
|--------------------------------------|---------|
| 2.1 ALTERNATIVAS DE GEOMETRÍA        | XXIX    |
| 2.2 DISEÑO DE LA CÁMARA              | XXXI    |
| 2.2.1 PRESIÓN INTERNA                | XXXII   |
| 2.2.1.1 Cuerpo cilíndrico            | XXXII   |
| 2.2.1.2 Cabeza Toriesferica          | XXXV    |
| 2.2.2 PRESIÓN EXTERNA                | XXXVII  |
| 2.2.2.2 Cabeza Toriesferica          | XXXVIII |
| 2.2.3 DISEÑO PLACAS BASES            | XXXIX   |
| 2.3 ANÁLISIS DE ESFUERZOS COMBINADOS | XL      |

|   |              |
|---|--------------|
| 2.4 DISEÑO DE LA BOCA                       | XLII         |
| 2.5 PLANOS GENERAL                          | XLIV         |
| <b>CAPÍTULO III</b>                         | <b>XLV</b>   |
| <b>CONSTRUCCIÓN DE LA CÁMARA</b>            | <b>XLV</b>   |
| 3.1 PLANOS DE TALLER                        | XLV          |
| 3.2 PROCESOS DE MANUFACTURA                 | XLV          |
| 3.3 TOLERANCIAS DE CONSTRUCCIÓN             | XLV          |
| 3.4 CONSTRUCCIÓN DE LAS BOCAS               | XLV          |
| 3.5 CONFORMADO DE LA CABEZA                 | XLV          |
| 3.6 ROLADO DEL CUERPO                       | XLVI         |
| 3.7 ENSAMBLE                                | XLVI         |
| <b>CAPÍTULO IV</b>                          | <b>XLVII</b> |
| <b>SISTEMA DE VACÍO</b>                     | <b>XLVII</b> |
| 4.1 PRODUCCIÓN DE VACÍO                     | XLVII        |
| 4.1.1 APLICACIONES DEL VACIO                | L            |
| 4.1.1.1 La mecánica de la respiración       | L            |
| 4.1.1.2 La producción de azúcar             | LII          |
| 4.1.1.3 Los frenos en sistemas automotrices | LIII         |
| 4.1.1.4 La conservación de alimentos        | LV           |

|   |        |
|---|--------|
| 4.1.1.5 El termo  | LV     |
| 4.1.1.6 Los envases   | LVI    |
| 4.1.1.7 Los concretos                                       | LVII   |
| 4.1.1.8 La cerámica industrial                              | LVIII  |
| 4.1.1.9 Las centrífugas                                     | LIX    |
| 4.1.1.10 Circuitos integrados (metalizado)                  | LX     |
| 4.1.1.11 El motor de gasolina                               | LXII   |
| 4.1.1.12 La metalurgia                                      | LXIII  |
| 4.1.1.13 Los aceleradores de partículas                     | LXV    |
| 4.1.1.14 Destilación del petróleo al vacío                  | LXVI   |
| 4.1.1.15 La manufactura y fabricación de plásticos          | LXVIII |
| 4.1.1.16 La manufactura de sal                              | LXIX   |
| 4.1.1.17 Los haces moleculares o atómicos                   | LXXI   |
| 4.1.1.18 La producción de acero inoxidable                  | LXXI   |
| 4.1.1.19 Los expulsores de vapor                            | LXXII  |
| 4.1.1.20 Innovaciones a los transportes ferroviarios        | LXXII  |
| 4.1.1.21 El tubo de rayos catódicos                         | LXXIV  |
| 4.1.1.21.1 Algunas aplicaciones del tubo de rayos catódicos | LXXV   |
| 4.1.1.22 La simulación espacial                             | LXXVI  |
| 4.1.2 BOMBAS DE VACÍO                                       | LXXVII |

|           |   |          |
|-----------|---|----------|
| 4.1.2.1   | Parámetros y clasificaciones de las bombas de vacío | LXXIX    |
| 4.1.2.2   | Descripción breve de algunas bombas de vacío        | LXXXI    |
| 4.1.2.2.1 | Las bombas mecánicas.                               | LXXXI    |
| 4.1.2.2.2 | Las bombas de vapor.                                | LXXXII   |
| 4.1.2.2.3 | Las bombas criogénicas (de baja temperatura).       | LXXXIV   |
| 4.2       | MEDIDA DE VACÍO                                     | LXXXVI   |
| 4.2.1     | MEDIDORES DE PRESIÓN                                | LXXXVIII |
| 4.2.1.1   | Elementos mecánicos                                 | LXXXVIII |
| 4.2.1.2   | Elementos neumáticos                                | XC       |
| 4.2.1.3   | Elementos Electromecánicos Electrónicos             | XCI      |
| 4.3       | REGULACIÓN Y CONTROL DEL SISTEMA DE VACÍO           | XCIII    |
| 4.3.1     | COMPONENTES PARA EL CONTROL DEL VACÍO               | XCIII    |
| 4.3.2     | VÁLVULA DE SEGURIDAD DE VACÍO.                      | XCIII    |
| 4.3.3     | FILTROS PARA VACÍO                                  | XCIII    |
| 4.4       | SISTEMAS AUXILIARES                                 | XCIII    |
| 4.4.1     | TRAMPAS, VÁLVULAS, JUNTAS                           | XCIV     |
| 4.4.1.1   | Los Sellos (juntas)                                 | XCIV     |
| 4.4.1.2   | Las Válvulas  | XCV      |
| 4.4.2     | SISTEMA DE DETECCIÓN DE FUGAS                       | XCVI     |
| 4.5       | PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO                           | XCVII    |

|                                |        |
|--------------------------------|--------|
| 4.5.1 PRUEBAS DE VACÍO.        | XCVII  |
| 4.5.1.1 Primera prueba         | XCVII  |
| 4.5.1.2 Segunda prueba         | XCVIII |
| 4.5.1.3 Tercera prueba         | XCVIII |
| 4.5.2 PRUEBAS DE RECUBRIMIENTO | XCIX   |
| 4.5.2.1 Primera prueba         | XCIX   |
| 4.5.2.2 Segunda prueba         | CIII   |

## **CAPÍTULO V CV**

### **EVALUACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA CV**

|   |       |
|---|-------|
| 5.1 EVALUACIÓN ECONÓMICA                | CV    |
| 5.1.1 DISEÑO Y ADMINISTRACIÓN:          | CV    |
| 5.1.1.1 Personal:                       | CV    |
| 5.1.1.2 Misceláneos                     | CV    |
| 5.1.2 COSTOS DIRECTOS                   | CVI   |
| 5.1.2.1 Remuneración a no profesionales | CVI   |
| 5.1.2.2 Materiales                      | CVII  |
| 5.1.2.3 Equipos                         | CVIII |
| 5.1.2.4 Mano de obra                    | CIX   |
| 5.1.2.5 Otros costos directos           | CIX   |
| 5.2 ANÁLISIS COSTO - BENEFICIO          | CXI   |



|  |                |
|--|----------------|
| 5.2.2 CRITERIO DE FACTIBILIDAD COMERCIAL | <b>CXIII</b>   |
| 5.2.3 CRITERIO FINANCIERO                | <b>CXIII</b>   |
| 5.2.4 CRITERIO DE PRODUCCIÓN             | <b>CXIII</b>   |
| 5.2.5 CRITERIO DE INVESTIGACIÓN          | <b>CXIII</b>   |
| 5.2.6 CRITERIOS INSTITUCIONALES          | <b>CXIV</b>    |
| 5.2.7 RESULTADO                          | <b>CXIV</b>    |
| <b>CAPÍTULO VI</b>                       | <b>CXV</b>     |
| <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>    | <b>CXV</b>     |
| 6.1 CONCLUSIONES                         | CXV            |
| 6.2 RECOMENDACIONES                      | CXIX           |
| <b>ANEXOS</b>                            | <b>CXXI</b>    |
| ANEXO A                                  | <b>CXXII</b>   |
| TABLAS E ILUSTRACIONES                   | CXXII          |
| ANEXO B                                  | <b>CXXXI</b>   |
| PLANOS GENERAL                           | CXXXI          |
| ANEXO C                                  | <b>CXXXII</b>  |
| PLANOS DE TALLER                         | CXXXII         |
| ANEXO D                                  | <b>CXXXIII</b> |
| PROCESOS DE MANUFACTURA                  | CXXXIII        |
| ANEXO E                                  | <b>CXXXIV</b>  |

|                       |         |
|-----------------------|---------|
| BOMBAS DE VACÍO       | CXXXIV  |
| ANEXO F <b>CXXXV</b>  |         |
| MEDIDORES DE VACÍO    | CXXXV   |
| ANEXO G <b>CXXXVI</b> |         |
| FOTOGRAFÍAS           | CXXXVI  |
| BIBLIOGRAFÍA          | CXXXVII |