



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**DISEÑO, FABRICACIÓN Y MONTAJE DE SOPLADOR CENTRÍFUGO
PARA GASES CORROSIVOS Y CALIENTES EN
REPRESENTACIONES QUÍMICAS, S.A.**

Estuardo Morfín Sarceño

Asesorado por el Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma

Guatemala, octubre de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

**DISEÑO, FABRICACIÓN Y MONTAJE DE SOPLADOR CENTRÍFUGO
PARA GASES CORROSIVOS Y CALIENTES EN
REPRESENTACIONES QUÍMICAS, S.A.**

TRABAJO DE GRADUACION

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE
LA FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ESTUARDO MORFÍN SARCEÑO

ASESORADO POR EL ING. CARLOS ANÍBAL CHICOJAY COLOMA

AL CONFERIRSE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|------------|--|
| DECANO | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |
| VOCAL I | Ing. Angel Roberto Sic García |
| VOCAL II | Ing. Pablo Christian de León Rodríguez |
| VOCAL III | Ing. José Milton de León Bran |
| VOCAL IV | Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez |
| VOCAL V | Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez |
| SECRETARIA | Inga. Lesbia Magalí Herrera López |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

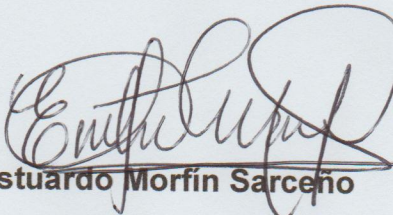
| | |
|------------|------------------------------------|
| DECANO | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |
| EXAMINADOR | Ing. Edwin Eduardo Sarceño Zepeda |
| EXAMINADOR | Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma |
| EXAMINADOR | Ing. Roberto Guzmán Ortiz |
| SECRETARIO | Inga. Lesbia Magalí Herrera López |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO, FABRICACIÓN Y MONTAJE DE UN SOPLADOR CENTRÍFUGO
PARA GASES CORROSIVOS Y CALIENTES EN
REPRESENTACIONES QUÍMICAS, S.A.**

Tema que me fue asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha agosto 2015.


Estuardo Morfín Sarceño



Guatemala, 19 de octubre de 2016
Ref.EPS.DOC.735.10.16.

Inga. Christa Classon de Pinto
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Ingeniera Classon de Pinto.

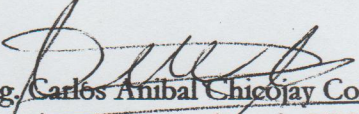
Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Estuardo Morfin Sarceño** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 9712272, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **DISEÑO, FABRICACIÓN Y MONTAJE DE SOPLADOR CENTRÍFUGO, PARA GASES CORROSIVOS Y CALIENTES EN REPRESENTACIONES QUÍMICAS S.A.**

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

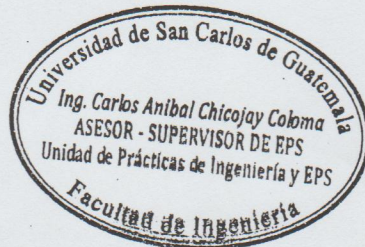
Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. ~~Carlos Anibal Chicojaj Coloma~~
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica

c.c. Archivo
CACC/ra





Guatemala, 19 de octubre de 2016
REF.EPS.D.455.10.16

Ing. Roberto Guzmán
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Presente

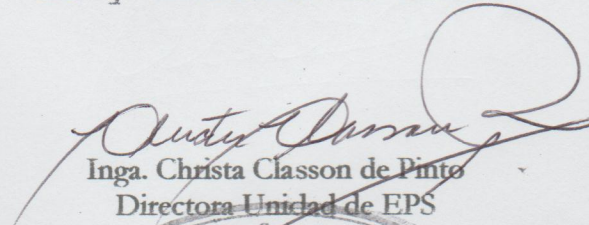
Estimado Ingeniero Guzmán:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **DISEÑO, FABRICACIÓN Y MONTAJE DE SOPLADOR CENTRÍFUGO, PARA GASES CORROSIVOS Y CALIENTES EN REPRESENTACIONES QUÍMICAS S.A.**, que fue desarrollado por el estudiante universitario Estuardo Morfin Sarceño quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero carlos Anibal Chicojay Coloma.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor - Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"


Inga. Christa Classon de Pinto
Directora Unidad de EPS



CCdP/ra



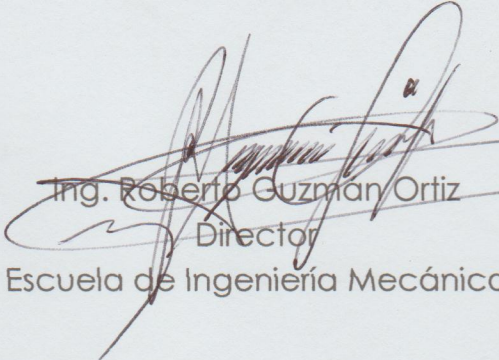
USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.099.2017

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor-Supervisor y del Director de la Unidad de EPS, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO, FABRICACIÓN Y MONTAJE DE SOPLADOR CENTRÍFUGO PARA GASES CORROSIVOS Y CALIENTES EN REPRESENTACIONES QUÍMICAS, S.A.** del estudiante **Estuardo Morfín Sarceño**, CUI No. 1984-00241-1711, Reg. Académico No. 199712272 procede a la autorización del mismo para su revisión.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Roberto Guzmán Ortiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica



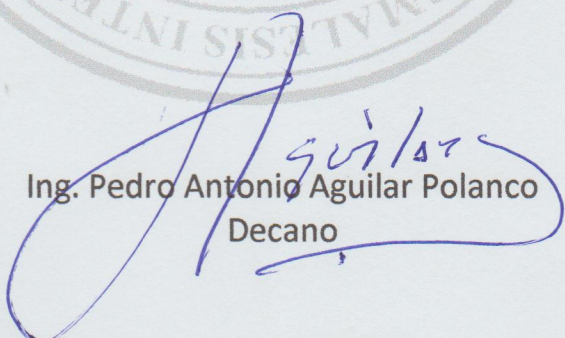
Guatemala, marzo de 2017
/aej



DTG. 518.2017

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO, FABRICACIÓN Y MONTAJE DE SOPLADOR CENTRÍFUGO PARA GASES CORROSIVOS Y CALIENTES EN REPRESENTACIONES QUÍMICAS, S. A.**, presentado por el estudiante universitario: **Estuardo Morfin Sarceño** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, octubre de 2017

/gdech



ACTO DE DEDICO A:

- Dios** Por darme salud, sabiduría y permitirme culminar mis estudios.
- Mis padres** Raúl Morfín Castellanos y Zoila Sarceño Garza, por darme la vida y por apoyarme siempre.
- Mi hijo** Luis Estuardo, que es la motivación más grande para la culminación de mis proyectos.
- Mi esposa** María José Montalván, por el apoyo incondicional aún en los momentos más difíciles.
- Mis hermanos** Raúl (q. e. p. d.), Fredy (q. e. p. d.), Virinia, Yesika, Karleny, Miguel y Benjamín Morfín Sarceño por el apoyo que siempre tuve de su parte.
- Mis amigos** Gracias, porque de alguna manera contribuyeron en uno u otra etapa a que finalizara este proyecto, en especial a Diego Mejicanos, a quien considero parte de mi familia.

Toda mi familia

Todos aportaron de alguna manera algo valioso para culminar esta etapa.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San Carlos de
Guatemala**

Por ser la fuente de todos los
conocimientos adquiridos.

Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma

Por su asesoría y guía para la
realización de este trabajo de
graduación.

**Representaciones Químicas,
S.A.**

Por permitirme realizar mi EPS en sus
instalaciones. Fue muy enriquecedor
para mí el tiempo dedicado a este
trabajo.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| INDICE DE ILUSTRACIONES..... | V |
| LISTA DE SÍMBOLOS..... | VII |
| GLOSARIO..... | IX |
| RESUMEN..... | XI |
| OBJETIVOS..... | XIII |
| INTRODUCCION..... | XV |
| | |
| 1. FASE DE INVESTIGACIÓN..... | 1 |
| 1.1. Descripción de la Empresa..... | 1 |
| 1.1.1. Historia..... | 1 |
| 1.1.2. Misión..... | 1 |
| 1.1.3. Visión..... | 2 |
| 1.1.4. Área Industrial..... | 2 |
| 1.2. Descripción del problema..... | 2 |
| 1.3. Alcances..... | 3 |
| 1.4. Antecedentes..... | 3 |
| 1.4.1. Experiencia de la empresa en fabricación de equipos..... | 3 |
| 1.4.2. Materiales utilizados para diferentes equipos..... | 4 |
| 1.5. Marco teórico..... | 4 |
| 1.5.1. Cloruro de Hidrógeno..... | 4 |
| 1.5.2. Sopladores centrífugos..... | 6 |
| 1.5.3. Ecuación de Euler..... | 8 |
| 1.5.4. Leyes de los ventiladores..... | 13 |
| 1.5.5. Procedimiento para dimensionar un soplador..... | 18 |
| 1.5.6. Frp..... | 22 |

| | | |
|----------|--|----|
| 1.5.6.1. | Criterios de elección de fibra de vidrio..... | 22 |
| 1.5.6.2. | Monómero de estireno..... | 23 |
| 1.5.6.3. | Catalizadores y acelerantes..... | 24 |
| 1.5.6.4. | Gelcoat..... | 26 |
| 1.5.7. | Variadores de frecuencia..... | 32 |
| 1.5.7.1. | Fundamentos tecnológicos de regulación de velocidad en Motores..... | 32 |
| 2. | FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL..... | 35 |
| 2.1. | Identificación de parámetros de diseño..... | 35 |
| 2.2. | Determinación de materiales a utilizarse..... | 36 |
| 2.3. | Impacto ambiental y energético..... | 37 |
| 2.3.1. | Disminución de pérdidas al ambiente..... | 37 |
| 2.3.2. | Mejora en capacidad de producción..... | 38 |
| 2.3.3. | Mejora en costos de producción..... | 38 |
| 2.4. | Técnica y recurso a utilizarse..... | 38 |
| 2.5. | Diseño de soplador centrífugo..... | 41 |
| 2.6. | Fabricación de soplador centrífugo..... | 45 |
| 2.6.1. | Preparación de moldes..... | 45 |
| 2.6.2. | Aplicación de fibra de vidrio..... | 47 |
| 2.7. | Montaje del equipo..... | 50 |
| 2.8. | Resultados de pruebas realizadas..... | 52 |
| 3. | FASE DE DOSCENCIA..... | 55 |
| 3.1. | Capacitación a personal para el funcionamiento del equipo..... | 55 |
| 3.1.1. | Documentación básica del equipo..... | 56 |
| 3.1.2. | Parámetros de funcionamiento..... | 59 |
| 3.1.3. | Variables a modificarse..... | 59 |
| 3.2. | Creación de planes de mantenimiento..... | 61 |

| | |
|---|----|
| 3.2.1. Amperaje..... | 61 |
| 3.2.2. Temperatura superficial del motor..... | 62 |
| 3.2.3. Ruidos..... | 62 |
| 3.2.4. Vibraciones..... | 62 |
| 3.2.5. Hoja de control de mantenimiento..... | 63 |
| 3.2.6. Costos y tiempo de fabricación del equipo..... | 64 |
| CONCLUSIONES..... | 65 |
| RECOMENDACIONES..... | 67 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 69 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | Vistas de un rotor de una turbomáquina..... | 8 |
| 2. | Curvas de desempeño típicas de sopladores..... | 14 |
| 3. | Coeficiente de rendimiento interno versus número específico..... | 19 |
| 4. | Coeficiente de presión versus número específico..... | 19 |
| 5. | Unidad de control de velocidad de un variador de frecuencia..... | 32 |
| 6. | Diagrama de fabricación de HCl..... | 35 |
| 7. | Anemómetro/termómetro..... | 39 |
| 8. | Tacómetro..... | 39 |
| 9. | Manómetro diferencial..... | 40 |
| 10. | Multímetro..... | 40 |
| 11. | Trazos en figura 3..... | 41 |
| 12. | Trazos en figura 4..... | 42 |
| 13. | Dimensiones de impulsor/rotor de soplador centrífugo..... | 43 |
| 14. | Dimensiones de impulsor/rotor de soplador centrífugo..... | 44 |
| 15. | Molde metálico de impulsor/rotor de soplador centrífugo..... | 46 |
| 16. | Molde metálico para carcasa de soplador centrífugo..... | 46 |
| 17. | Cera desmoldante..... | 47 |
| 18. | Aplicación de fibra de vidrio..... | 48 |
| 19. | Aplicación de gelcoat..... | 50 |
| 20. | Esquema de armado y montaje de soplador centrífugo..... | 51 |
| 21. | Curvas características de soplador..... | 56 |
| 22. | Partes del soplado..... | 57 |

| | | |
|-----|---|----|
| 23. | Dimensiones del soplador..... | 57 |
| 24. | Imagen real del soplador..... | 58 |
| 25. | Imagen real del soplado..... | 58 |
| 26. | Variador de frecuencia..... | 60 |
| 27. | Controles de variador de frecuencia..... | 60 |
| 28. | Diagrama de Gantt proceso de fabricación de equipo..... | 64 |

TABLAS

| | | |
|-------|--|----|
| I. | Descripción y principales aplicaciones de sopladores centrífugos. | 6 |
| II. | Fórmulas que definen la semejanza en sopladores..... | 18 |
| III. | Resistencia química de diferentes materiales frente al HCl..... | 36 |
| IV. | Resistencia química de diferentes resinas a diferentes temperaturas | 37 |
| V. | Velocidad versus ΔP en distintos puntos del ducto a 1700 rpm... | 52 |
| VI. | Velocidad versus ΔP en distintos puntos del ducto a 3400 rpm... | 52 |
| VII. | Caudal versus ΔP en distintos puntos del ducto a 1700 rpm..... | 53 |
| VIII. | Caudal versus ΔP en distintos puntos del ducto a 3400 rpm..... | 53 |
| IX. | Promedio de caudal versus ΔP a 1700 rpm..... | 54 |
| X. | Promedio de caudal versus ΔP a 3400 rpm..... | 54 |
| XI. | Especificaciones técnicas del soplador diseñado..... | 56 |
| XII. | Control del soplador centrífugo..... | 63 |
| XII. | Costo de fabricación de equipo..... | 64 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Significado |
|----------------|---|
| H_u | Altura hidráulica |
| H_2SO_4 | Ácido sulfúrico |
| A | Amperios |
| $NaHSO_4$ | Bisulfato de sodio |
| Q | Caudal |
| HCl | Cloruro de hidrógeno |
| CPVC | Cloruro de polivinilo clorado |
| NaCl | Cloruro de sodio |
| CNPT | Condiciones normales de presión y temperatura |
| Ka | Constante de disociación |
| ρ | Densidad |
| PVDF | Fluoruro de polivinilidieno |
| mmcda | Milímetros de columna de agua |
| M | Momento o torque |
| PFA | Perfluoroalcóxico (pertenece a la familia del teflón) |
| Y | Peso específico |
| PP | Polipropileno |
| P | Presión |
| Inwg | Pulgadas de columna de agua |
| Rpm | Revoluciones por minuto |
| V | Voltaje |
| VC | Volumen de control |

GLOSARIO

| | |
|----------------------|--|
| Álabe | Diente o paleta de una rueda al que se puede proporcionar movimiento circular y centrífugo. |
| Centrífugo | Que tiende a alejarse del eje del cual gira. |
| Copolimerizar | Proceso en el cual 2 o más sustancias se juntan y dan como resultado moléculas complejas, regularmente de alto peso molecular. Este es un proceso muy común en materiales plásticos. |
| Corrosivo | Es una sustancia que puede destruir o dañar irreversiblemente otra superficie o sustancia con la cual entra en contacto. |
| Disociación | Separación de 2 o más cosas que están unidas, en el caso de las sustancias químicas se refiere a la separación de sus iones. |
| Gelificación | Expresión que se usa para definir el pre-estado de las resinas cuando estas inician su reacción exotérmica y obtienen una consistencia similar a la gelatina, Pasados |

unos minutos, la sustancia obtiene su estado de dureza.

HVAC

Sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado

Monoprótico

En relación a un ácido, significa que puede disociarse una sola vez para ceder un ion H^+

Radial

Que está formado por radios divergentes como el de la circunferencia.

Rotor

Pieza de una máquina que gira dentro de un elemento fijo.

Síntesis

Resultado de reunir diferentes elementos que estaban dispersos y relacionarlos en conjunto, como formar un compuesto a partir de dos diferentes.

Turbomáquina

Aparato generador o receptor, que actúa dinámicamente sobre un fluido mediante una rueda, provista de compartimientos, móvil alrededor de un eje fijo.

RESUMEN

El presente informe describe la forma de diseñar y fabricar un soplador centrífugo para gases corrosivos y calientes. Se presenta la elección de materiales y la técnica de fabricación con base en la experiencia de la empresa Representaciones Químicas S.A., en la fabricación de diversos equipos para fabricación de productos químicamente agresivos. También se presenta la forma de dimensionarlo y los parámetros de funcionamiento, tomando en cuenta la disponibilidad no solamente de materiales sino también la fuente eléctrica entre ellos, así como el voltaje y la frecuencia.

Para llevar a cabo dicho equipo fue necesario contar con el apoyo de operarios de fibra de vidrio de la empresa, junto con la supervisión estrecha en todos los pasos de la fabricación, tomando muy en cuenta sugerencias aportadas por el operario. El resultado obtenido muestra que, tanto la parte de fabricación como la de diseño, se ejecutó con éxito debido a los valores obtenidos luego de la calibración y medición del equipo, el cual cumple con los objetivos planteados inicialmente, quedando pendiente ponerlo a funcionar en forma continua para evaluar el verdadero desempeño.

Se creó un manual básico de funcionamiento y mantenimiento, para que el operario quede en disposición de poder ponerlo en marcha de acuerdo a las especificaciones planteadas en el documento.

OBJETIVOS

General

Diseñar, fabricar y montar un soplador centrífugo para gases corrosivos y calientes.

Específicos

1. Investigar resinas para fibra de vidrio que puedan resistir HCl a 90°C.
2. Determinar el procedimiento para el diseño de un soplador centrífugo.
3. Determinar tiempo y costo de fabricación de equipo.
4. Establecer las variables principales en el diseño de un soplador centrífugo.

INTRODUCCIÓN

Los sopladores centrífugos son equipos utilizados en diversos procesos químicos en el manejo de gases, también se utilizan para transporte de sólidos en muchas operaciones. Tomando en cuenta la disponibilidad de bibliografía que se encuentra sobre estos equipos, y además la experiencia de parte de Representaciones Químicas en la fabricación de diversos equipos de fibra de vidrio con resina de alta resistencia química, es que surge la posibilidad de diseñar y fabricar un equipo para el procesos de fabricación de HCl a partir NaCl y H₂SO₄. (El gas a transportarse es el HCl, que estará a una temperatura de alrededor de 90°C).

Otro aspecto es que, en muchas ocasiones, los tamaños de los equipos fabricados puedan ser muy grandes en relación al tamaño requerido, lo que para las empresas que producen a escalas pequeñas puede resultar negativo por ello la necesidad de diseñar y fabricar uno exactamente a la medida y con un costo de fabricación que sea accesible a la situación económica de la empresa.

Se llegó a un acuerdo con la empresa Representaciones Químicas para poder desarrollar este tema, que es de vital importancia para muchos procesos además del descrito con anterioridad. Aunque al final los resultados fueron los obtenidos en cuanto a rendimiento de equipos, hay algunos aspectos que se tienen que evaluar para tener un mejor resultado, pues no se contaba con equipo específico para mejorar el balanceo del equipo, que es parte importante para que no tenga vibración significativa y para mejorar la que ya se obtuvo en el diseño.

1. FASE DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la Empresa

Representaciones Químicas es una empresa dedicada a la fabricación y comercialización de productos químicos, principalmente productos para tratamiento de aguas y fertilizantes. Está ubicada en Granjas Bella Vista, km 42,5, carretera Palín Escuintla.

1.1.1. Historia

Representaciones Químicas fue fundada en el año 1980, con el nombre de Sales Ácido y Solventes, S.A. Su principal producto fue el sulfato de aluminio fabricado a partir de materias primas importadas. Posteriormente se empezó a diversificar su producción, incluyendo productos como azufre molido y sulfato de zinc. Además, se empezó a trabajar por medio del departamento de ingeniería la mejora de materias primas alternativas y diferentes procesos. Como resultado, en la actualidad se tienen alrededor de 20 productos, de los cuales el 90 % son fabricados localmente y en su mayoría con materias primas también locales.

1.1.2. Misión

“Ser una empresa que provea productos químicos diversos, con materia prima local, para poder generar trabajo directo e indirecto, manteniendo la calidad necesaria para poder competir con producto importado, además de mantener precios adecuados al mercado”¹.

¹ Representaciones Químicas, S.A.

1.1.3. Visión

“Llegar a cubrir la mayoría del mercado local de los productos comercializados por la empresa, además de poder exportar parte importante a Centroamérica y parte del sur de México, siempre obteniendo gran parte de la producción con productos locales”².

1.1.4. Área Industrial

Agroindustrial es el área a la que pertenecen las actividades de la empresa. Los clientes potenciales y actuales son ingenios azucareros, huleros, plantaciones de frutas y verduras, industrias de transformación de materia prima.

1.2. Descripción del problema

En la búsqueda de productos nuevos y procesos nuevos, es necesario poder implementar algún proceso, para llevar a cabo esto se necesita comprar equipo o fabricarlo. Actualmente se tiene en fase de prueba un proceso para fabricación de HCl a partir de cloruro de sodio y ácido sulfúrico. Dicho proceso, de acuerdo a las pruebas realizadas, requiere de un soplador (extractor) centrífugo para succionar y absorber HCl húmedo a 90°C, pero por ser un producto corrosivo y caliente es un poco complicado poder encontrar un equipo que pueda cumplir con las condiciones y que sea a la medida del proceso y a un precio accesible para la empresa. Por ello es que se necesita trabajar en el diseño, fabricación y montaje de un equipo que cumpla con las características operativas requeridas y, además, sea inherente a los productos a conducir y transportar para tener poco mantenimiento y a la vez mejores costos.

² Representaciones Químicas, S.A.

1.3. Alcances

Con la fabricación del equipo requerido no solo se solucionará el problema actual, pues muchas operaciones posteriores necesitarán equipos iguales o similares, por lo tanto el mismo procedimiento para el diseño se podrá aplicar posteriormente, únicamente tomando en cuenta qué tipo de material a utilizarse para la aplicación se requiere. En la presente investigación, solamente se incluirá el diseño que cumpla con la condiciones de caudal vs. caída de presión y que resista la temperatura y producto mencionado.

1.4. Antecedentes

En la empresa, actualmente se tiene mucha experiencia con el tema de fabricación de equipos de diversos materiales que resisten productos calientes y químicamente muy agresivos.

1.4.1. Experiencia de la empresa en fabricación de equipos

Con el inicio de sus primeros productos, entre ellos el sulfato de aluminio, se inició con la compra de algunos reactores abiertos de fibra de vidrio con resina de alta resistencia química. Con la demanda de más producto fue necesario ampliar el número de reactores abiertos, pero se fabricaron en la planta de operación. Dichos reactores se fabricaron para soportar sulfato de aluminio fundido a una temperatura de alrededor de 130°C.

Posteriormente, además de moler algunos productos fue necesario fabricar algunos molinos de martillos acoplados a ciclones captadores de sólidos, todos los ductos y ciclones fueron fabricados en fibra de vidrio de alta resistencia química. Para el proceso en mención se fabricaron torres

empacadas con anillos rasching. Dichas torres se fabricaron utilizando resina de alta resistencia química y anillos de cerámica, también algunos elastómeros de empaque de juntas para evitar fugas.

1.4.2. Materiales utilizados para diferentes equipos

Entre los materiales que se han utilizado en anteriores trabajos pueden nombrarse los siguientes:

- Resinas de alta resistencia química y alta temperatura
- Bisfénólica Dióxon 382, Vinil ester Darekane 411
- Resinas de usos generales (resistencia mecánica)
- Isoftálica, Ortoftálica
- Plásticos de ingeniería: PP, PVDF, CPVC, PFA, PTFE

1.5. Marco teórico

En esta sección se encontrarán todas las bases teóricas investigadas previamente en el proyecto de investigación elaborado.

1.5.1. Cloruro de hidrógeno

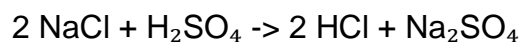
El cloruro de hidrógeno (ácido clorhídrico en su forma hidratada) es un compuesto químico de fórmula HCl, formado por un átomo de cloro unido a uno de hidrógeno. En condiciones normales de presión y temperatura (CNPT) un gas más denso que el aire. Es un compuesto tóxico, corrosivo, de olor picante y sofocante. En su forma anhidra, no ataca metales ni aleaciones, pero en presencia de humedad produce vapores de ácido clorhídrico que atacan a la mayoría de los metales, exceptuando la plata, el oro, el platino y el tantalio.

Cuando se encuentra en solución acuosa se le llama ácido clorhídrico. En CNPT la concentración máxima es de aproximadamente 37 %. También es altamente soluble en etanol y dietiléter.

El cloruro de hidrógeno es un ácido monoprótico, lo que significa que puede disociarse solo una vez para ceder un ion H^+ (un protón). En soluciones acuosas este protón se une a una molécula de agua para dar un ion hidronio, H_3O^+ : $HCl + H_2O \rightarrow H_3O^+ + Cl^-$. El otro ion formado es Cl^- , el ion cloruro. El ácido clorhídrico puede entonces ser usado para preparar sales llamadas cloruros, como el cloruro de sodio. El ácido clorhídrico es un ácido fuerte, ya que se disocia casi completamente en agua.

Los ácidos monopróticos tienen una constante de disociación ácida, K_a , que indica el nivel de disociación en agua. Para ácidos fuertes como el HCl, el valor de K_a es alto. Al agregar cloruros, como el NaCl, a una solución acuosa de HCl, el valor de pH prácticamente no cambia, lo que indica que el ion Cl^- es una base conjugada notablemente débil, y que HCl está casi totalmente disociado.

Industrialmente se obtiene por síntesis de sus elementos en disolución de ácido clorhídrico o por reacción del ácido sulfúrico con el cloruro de sodio. Siguiendo dicha reacción:



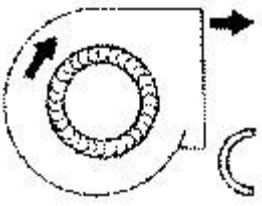
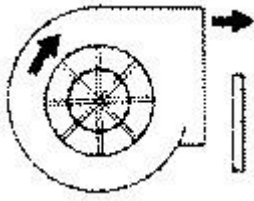
Es altamente peligroso el contacto con la piel, los ojos y otras mucosas, y no se debe inhalar ni ingerirse disuelto en agua. Por lo tanto, a la hora de emplear este gas reactivo es necesario usar guantes, lentes y mascarillas. En caso de ingestión, asistir a su médico lo más pronto posible.

Almacenamiento: debe mantenerse fuera de contacto de agentes oxidantes, en especial ácido nítrico y cloratos. El envase contenedor deberá ser de vidrio o plástico.

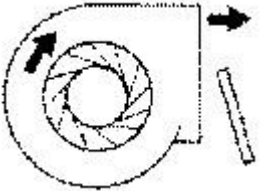
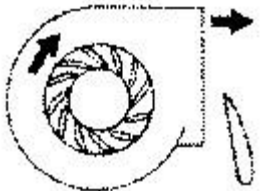
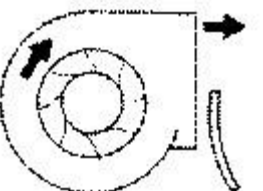
1.5.2. Sopladores centrífugos

Son aquellos en los que la dirección del aire cambia su dirección en un ángulo de 90°, entre la entrada y la salida. Su clasificación es la siguiente:

Tabla I. Descripción y principales aplicaciones de sopladores centrífugos

| Ventilador | Descripción | Aplicación |
|--|--|--|
|  <p>Palas curvadas hacia adelante</p> | <p>Apto para caudales altos y bajas presiones. No es autolimitante de potencia. Para un mismo caudal y un mismo diámetro de rotor gira a menos vueltas con menor nivel sonoro.</p> | <p>Se utiliza en instalaciones de ventilación, calefacción y aire acondicionado de baja presión.</p> |
|  <p>Palas radiales</p> | <p>Es el diseño más sencillo y de menor rendimiento. Es muy resistente mecánicamente, y el rodete puede ser reparado con facilidad. El diseño le permite ser autolimpiante.</p> | <p>Empleado básicamente para instalaciones industriales de manipulación de materiales.</p> <p>Se le puede aplicar recubrimientos especiales anti-desgaste.</p> |

Continuación de tabla I.

| | | |
|---|--|--|
|  <p>Palas Curvadas hacia atras</p> | <p>Es de alto rendimiento y autolimitador de potencia. Puede girar a velocidades altas.</p> | <p>Se emplea para ventilación, calefacción y aire acondicionado. También puede ser usado en aplicaciones industriales, con ambientes corrosivos y/o bajos contenidos de polvo.</p> |
|  <p>Airfoil</p> | <p>Similar al anterior pero con palas de perfil aerodinámico. Es el de mayor rendimiento dentro de los ventiladores centrífugos. Es autolimitante de potencia.</p> | <p>Es utilizado generalmente para aplicaciones en sistemas industriales con aire limpio. Con construcciones especiales puede ser utilizado en aplicaciones con aire sucio de HVAC y aplicaciones</p> |
|  <p>Radial tip</p> | <p>Son una variación de los ventiladores radiales pero con mayor rendimiento. Aptos para trabajar con palas antidesgaste. Son autolimpiantes. La potencia aumenta de forma continua al aumento del caudal.</p> | <p>Como los radiales estos ventiladores son aptos para trabajar en aplicaciones industriales con movimiento de materiales abrasivos, pero con un mayor rendimiento.</p> |

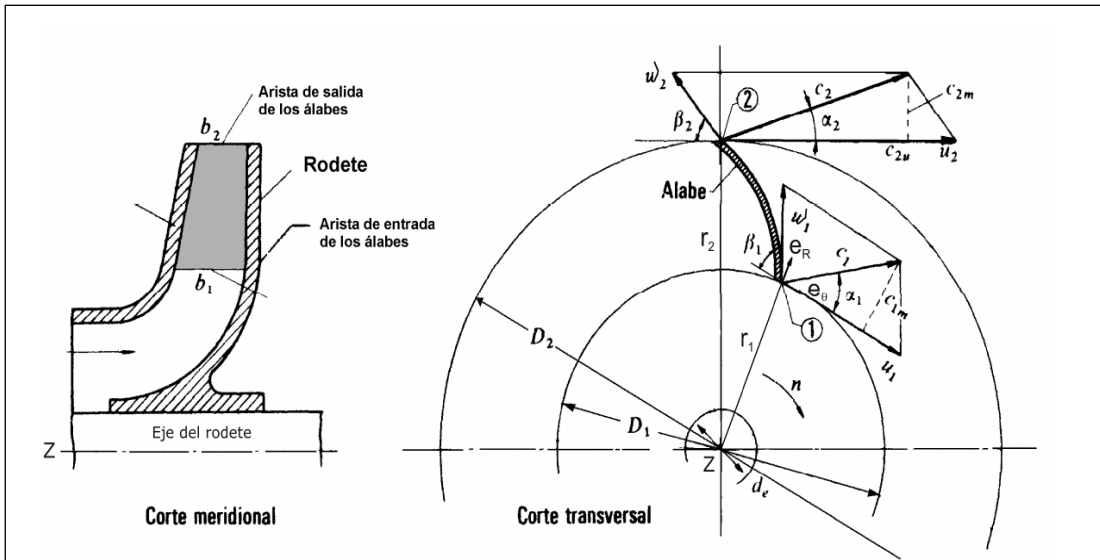
Fuente: *Principales aplicaciones de sopladores centrífugos.*

http://www.chiblosa.com.ar/spanish/herramientas/teoria_de_los_ventiladores.htm. Consulta: marzo 2016.

Existen diversas formas para determinar las dimensiones de un soplador centrífugo, entre las cuales están: por medio de fórmulas, partiendo de la ecuación de Euler y utilizando la geometría de los triángulos de velocidad, o utilizando ecuaciones de semejanza basadas en tamaños de ventiladores previamente calculados.

1.5.3. Ecuación de Euler

Figura 1. Vistas de un rotor de una turbomáquina



Fuente: MATIAX, Claudio. *Turbomáquinas hidráulicas*. p. 47.

- Notación:

b_1, b_2 = anchos de entrada y salida del álabe

D_1, D_2 = diámetros de entrada y salida del álabe

d_e = diámetro del eje del rotor

C_1, C_2 = velocidad absoluta de una partícula fluida en la entrada y salida del álabe

n = velocidad angular del motor en rpm

u_1, u_2 = velocidades periféricas (absolutas) de los álabes en la entrada y salida de los álabes

w_1, w_2 = velocidades relativas del fluido en la entrada y salida de los álabes

Los puntos 1 y 2 se refieren a la entrada y salida del rodete, respectivamente:

$$\vec{w}_1 = \vec{C}_1 - \vec{u}_1 \quad y \quad \vec{w}_2 = \vec{C}_2 - \vec{u}_2$$

El momento efectuado por el conjunto de fuerzas actuantes sobre la masa contenida en un volumen de control, con respecto a un punto fijo O, para un sistema de referencia inercial ubicado sobre el volumen de control está dado por:

$$\sum \vec{M}_o = \vec{r}_x \sum \vec{F}_{VC} = \vec{r}_x \left[\frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} \rho \vec{V}_r dV + \int_{SC} \rho \vec{V}_r dA \right]$$

Considerando $\sum \vec{F}_{VC}$ que está conformado por la suma de fuerzas volumétricas, superficiales y de reacción mecánica, es decir:

$$\sum \vec{F}_{VC} = \sum \vec{F}_{vol} + \sum \vec{F}_{sup} + \sum \vec{F}_{mec} = \int_{VC} \rho \vec{g} dV + \left[\int_{SC} \hat{t} dA + \int_{SC} \vec{p} dA \right] + \sum \vec{F}_{mec}$$

Reemplazando en la ecuación de momento se tiene:

$$\begin{aligned} \sum \vec{M}_o &= \vec{r}_x \sum \vec{F}_{VC} = \vec{r}_x \left[\int_{VC} \rho \vec{g} dV + \sum \vec{F}_{sup} + \sum \vec{F}_{mec} \right] \\ &= \frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} \rho (\vec{r}_x \vec{V}_r) dV + \int_{SC} \rho (\vec{r}_x \vec{V}_r) (\vec{V}_r dA) \end{aligned}$$

Lo que es igual:

$$\vec{r}_x \left[\int_{VC} \rho \vec{g} dV + \sum \vec{F}_{sup} + \sum \vec{F}_{mec} \right] = \frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} \rho (\vec{r}_x \vec{V}_r) dV + \int_{SC} \rho (\vec{r}_x \vec{V}_r) (\vec{V}_r dA)$$

Ecuación integral de momento angular de la cantidad de movimiento

Para aplicar la ecuación de momento angular al flujo de fluido a través de una turbomáquina se considera que el volumen de control se halla justamente fuera del rodete (volumen de control externo). Se ubica el sistema de referencia inercial xyz sobre el rodete, orientado el eje z paralelo al eje de la turbomáquina. El V.C. está fijo, tal que:

$$\vec{V}_r = \vec{V}$$

Tomando momentos con respecto al eje de la máquina (eje z), y haciendo $\vec{V} = \vec{C}$ = velocidad absoluta del fluido, la ecuación anterior resulta:

$$\begin{aligned} & \left(\vec{r}x \sum \vec{F}_{sup} \right)_z + \left(\vec{r}x \int_{VC} \rho \vec{g} dV \right)_z + \left(\vec{r}x \sum \vec{F}_{mec} \right)_z \\ & = \frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} (\vec{r}x \vec{C})_z dV + \int_{SC} (\vec{r}x \vec{C})_z (\vec{C} \cdot d\vec{A}) \end{aligned}$$

Pero, los momentos originados por las fuerzas superficiales de presión y cortantes pueden despreciarse y el momento producido por el peso es nulo por simetría. Además considerando un flujo permanente, la ecuación anterior resulta:

$$\sum M_z = M = \left(\vec{r}x \sum \vec{F}_{mec} \right)_z = \int_{SC} (\vec{r}x \vec{C})_z (\vec{C} \cdot d\vec{A})$$

Desarrollando para las áreas de entrada y salida, usando coordenadas cilíndricas para descomponer vectores:

$$M = -\rho \int_{A_1} [\vec{r}_1 \vec{e}_R x (C_1 \cos \alpha_1 \vec{e}_\theta + C_1 \operatorname{sen} \alpha_1 \vec{e}_R)] C dA$$

$$+ \rho \int_{A_2} [\vec{r}_2 \vec{e}_R x (C_2 \cos \alpha_2 \vec{e}_\theta + C_2 \operatorname{sen} \alpha_2 \vec{e}_R)] C dA$$

$$M = -\rho r_1 C_1 \cos \alpha_1 C_1 A_1 + \rho r_2 C_2 \cos \alpha_2 C_2 A_2$$

Pero por conservación de masa se tiene que $\rho r_1 A_1 = \rho r_2 A_2 = \rho Q$, entonces:

$$M = \rho Q (r_2 C_2 \cos \alpha_2 - r_1 C_1 \cos \alpha_1)$$

De los triángulos de velocidades se tiene que $C_1 \cos \alpha_1 = C_{1u}$, y $C_2 \cos \alpha_2 = C_{2u}$. Por lo tanto:

$$M = \rho Q (r_2 C_{2u} - r_1 C_{1u})$$

M = momento total comunicado al fluido por el rodete o “momento hidráulico”.
Q = caudal de bombeo o caudal turbinado dependiendo del tipo de turbomáquina, considerando que el rodete tiene infinitos álabes para captar la totalidad del caudal.

La potencia intercambiada en el rodete o la potencia que el rodete le comunica al fluido es:

$$P_i = M\omega = \rho Q \omega (r_2 C_{2u} - r_1 C_{1u})$$

$$\text{Con } \omega = \frac{\pi n}{30} \text{ rad/seg}$$

De la figura se observa que:

$$r_1 \omega = u_1 \quad \text{y} \quad r_2 \omega = u_2$$

Entonces:

$$P_i = M\omega = \rho Q (u_2 C_{2u} - u_1 C_{1u})$$

Por otra parte, el término $(u_2C_{2u} - u_1C_{1u})$ representa a la energía específica que el rodete le comunica al fluido y se denota por Y_u , entonces la ecuación quedaría:

$$P_i = M\omega = \rho Q Y_u$$

También el término Y_u , suele representarse en términos de altura de la siguiente manera:

$$H_u = \frac{Y_u}{g}$$

De esta manera la potencia resulta:

$$P_i = \gamma Q H_u$$

Donde:

H_u = altura equivalente a la energía intercambiada en el fluido o altura hidráulica.

Q = caudal que se mueve en el rodete o caudal de bombeo en caso de bomba y caudal turbinado en caso de turbina.

La relación $Y_u = u_2C_{2u} - u_1C_{1u}$, se denomina primera ecuación de Euler para bombas, ventiladores y compresores. En turbomáquinas es común expresar la energía en términos de altura, entonces:

$$H_u = \pm \frac{(u_2C_{2u} - u_1C_{1u})}{g}$$

Ecuación de Euler para turbomáquinas signo (-) para turbinas y (+) para bombas, ventiladores y compresores. Las ecuaciones que se pueden extraer de todo lo mencionado en este capítulo son las siguientes:

- 1) $\Delta P_u = (\rho) \left(\frac{u_2^2 - u_1^2}{2} + \frac{w_2^2 - w_1^2}{2} + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2} \right)$
 → *Presión Teórica, Periférica o de Euler*
- 2) $\Delta P_{eR} = \left(\frac{\rho}{2} \right) [(u_2^2 - u_1^2) + (w_2^2 - w_1^2)]$ → *Presión estática del Rodete*
- 3) $\Delta P_{dR} = \left(\frac{\rho}{2} \right) (c_2^2 - c_1^2)$ → *Presión Dinámica del Rodete*
- 4) $\epsilon = \frac{\Delta P_{eR}}{\Delta P_{dR}}$ → *Grado de Reacción*
- 5) $\Delta P_{Tot} = (\Delta P_{eR}) + (\Delta P_{dR})$ → *Presión Total o Útil del ventilador*
- 6) $\eta_h = \frac{\Delta P_{Tot}}{\Delta P_u}$ → *Rendimiento Hidráulico*
- 7) $P = (Q)(\Delta P_{Tot})$ → *Potencia Teórica*
- 8) $P_a = \frac{(Q)(\Delta P_{Tot})}{(\eta_v)(\eta_h)(\eta_m)}$ → *Potencia Absoluta o Real*

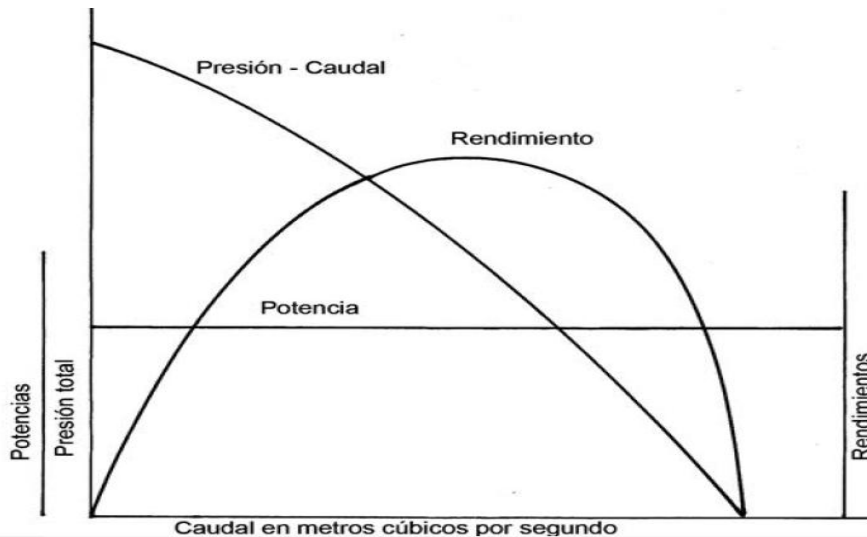
Estas ecuaciones serán el punto de partida para los cálculos de diseño de ventiladores en caso de querer calcularlos por esta vía.

1.5.4. Leyes de los ventiladores

Debe considerarse un ventilador en acción con su boca de aspiración completamente cerrada. El caudal es evidentemente nulo, pero la presión suministrada es máxima y viceversa, puesto que los ventiladores centrífugos son aparatos autoregulables en los que la función presión-caudal puede representarse con una curva. De la misma manera puede representarse por una curva la variación de rendimiento versus caudal. Esta curva representa una función creciente hasta alcanzar el máximo para decrecer en forma rápida. Una tercera curva representa las variaciones de potencia en función igualmente del caudal.

La presión de utilización es función del caudal demandado y aquella se determina sobre la curva característica del aparato, la cual se hace imprescindible necesidad para que el operador pueda pasar de un régimen de marcha a otro, siendo muy de lamentar que algunos constructores omitan estos datos en su documentación comercial. En la siguiente figura se muestran las curvas características de un ventilador de una etapa.

Figura 2. **Curvas de desempeño típicas de sopladores**



Fuente: MATIAX, Claudio. *Turbomáquinas hidráulicas*. p. 416.

Hasta ahora se ha supuesto constante la velocidad del aparato, pero si esta varía lo hará también la presión y el caudal de acuerdo a las llamadas leyes de afinidad:

Para un determinado aparato cuando la variable es la velocidad:

- El caudal varía directamente con la velocidad:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{V_1}{V_2}$$

- La presión varía en función directa al cuadrado de la velocidad:

$$\frac{Pt_1}{Pt_2} = \frac{V_1^2}{V_2^2}$$

- La potencia varía en función directa al cubo de la velocidad:

$$\frac{CV_1}{CV_2} = \frac{V_1^3}{V_2^3}$$

Cuando la variable es presión:

- El caudal varía en función directa con la raíz cuadrada de las presiones totales:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \sqrt{\frac{Pt_1}{Pt_2}}$$

- La velocidad varía en función directa con la raíz cuadrada de las presiones totales:

$$\frac{V_1}{V_2} = \sqrt{\frac{Pt_1}{Pt_2}}$$

- La potencia absorbida varía en función directa con la potencia 3/2 de las presiones totales:

$$\frac{CV_1}{CV_2} = \left(\frac{Pt_1}{Pt_2}\right)^{3/2}$$

Para una determinada presión total y ángulo de salida de aletas.

Cuando la variable es el diámetro de rodete:

- El caudal varía en función directa del cuadrado del diámetro del rodete:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2$$

- La potencia varía en función directa al cuadrado del diámetro del rodete:

$$\frac{CV_1}{CV_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2$$

- La velocidad varía en función inversa con el diámetro del rodete:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{D_2}{D_1}$$

De la combinación de A y B se tiene:

$$\begin{aligned} \frac{Q_1}{Q_2} &= \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^3 \times \frac{V_1}{V_2} \\ \frac{Pt_1}{Pt_2} &= \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 \times \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2 \\ \frac{CVabs_1}{CVabs_2} &= \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^5 \times \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^3 \\ \frac{CVabs_1}{CVabs_2} &= \frac{Q_1}{Q_2} \times \frac{Pt_1}{Pt_2} \end{aligned}$$

Cuando la variable es la densidad:

- La velocidad varia en razón inversa a la raíz cuadrada de la densidad o bien inversamente a la raíz cuadrada de la presión barométrica, multiplicada por la raíz cuadrada de la razón directa de la temperaturas absolutas. Igual sucede con el caudal y la potencia:

$$\frac{V_1}{V_2} = \sqrt{\frac{\rho_2}{\rho_1}} = \sqrt{\frac{H_2}{H_1}} \times \sqrt{\frac{T_1}{T_2}} = \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{CVabs_1}{CVabs_2}$$

Para determinado caudal y velocidad:

Cuando la variable es la densidad:

- La potencia absorbida y la presión total varían en función inversa con las densidades del fluido o directamente con la presión barométrica multiplicada por la razón inversa de las temperaturas absolutas:

$$\frac{CVabs_1}{CVabs_2} = \frac{Pt_1}{Pt_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{H_2}{H_1} \times \frac{T_2}{T_1}$$

Para un determinado peso de fluido:

Cuando la variable es la densidad:

- La velocidad, caudal y presión total varían inversamente con la densidad o bien inversamente a la presión barométrica multiplicada por la razón directa de las temperaturas absolutas:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{Pt_1}{Pt_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{H_2}{H_1} \times \frac{T_1}{T_2}$$

- La potencia absorbida varía inversamente con el cuadrado de la densidad o inversamente con el cuadrado de la presión barométrica, multiplicada por la razón directa al cuadrado de las temperaturas absolutas:

$$\frac{CVabs_1}{CVabs_2} = \left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right)^2 = \left(\frac{H_2}{H_1}\right)^2 \times \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2$$

Cuando las variables son la temperatura y presión:

- El caudal y la velocidad varían directamente con la razón cuadrada de las presiones, multiplicada por la razón de las temperaturas absolutas:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{V_1}{V_2} = \sqrt{\frac{Pt_1}{Pt_2}} \times \frac{T_1}{T_2}$$

- La potencia absorbida varía directamente con la raíz cuadrada del producto de la presión total al cubo por la temperatura absoluta:

$$\frac{CVabs_1}{CVabs_2} = \sqrt{\left(\frac{Pt_1}{Pt_2}\right)^3 \times \frac{T_1}{T_2}}$$

Tomando todas las fórmulas anteriores pueden ordenarse en la siguiente tabla, suponiendo que no comprimen el aire, comportándose igual a una bomba centrífuga:

Tabla II. Fórmulas que definen la semejanza en sopladores

| | | | |
|---|---|--|--|
| Variación de la velocidad de flujo | | | |
| $Q = Q_o \times \frac{n}{n_o}$ | $P = P_o \times \left(\frac{n}{n_o}\right)^2$ | $Pot = Pot_o \times \left(\frac{n}{n_o}\right)^3$ | $Lw = Lw_o + 50 \times \log\left(\frac{n}{n_o}\right)$ |
| Variación del diámetro del rodete: | | | |
| $Q = Q_o \times \left(\frac{D}{D_o}\right)^3$ | $P = P_o \times \left(\frac{D}{D_o}\right)^2$ | $Pot = Pot_o \times \left(\frac{D}{D_o}\right)^5$ | $Lw = Lw_o + 70 \times \log\left(\frac{D}{D_o}\right)$ |
| Variación de la densidad del aire: | | | |
| $Q = Q_o$ | $P = P_o \times \left(\frac{\rho}{\rho_o}\right)$ | $Pot = Pot_o \times \left(\frac{\rho}{\rho_o}\right)$ | $Lw = Lw_o + 20 \times \log\left(\frac{\rho}{\rho_o}\right)$ |
| Variación de prestaciones | | | |
| $D = D_o \times \left(\frac{Q_o}{Q}\right)^{1/2} \times \left(\frac{P}{P_o}\right)^{1/4} \times \left(\frac{\rho}{\rho_o}\right)^{1/2}$ | | $Pot = Pot_o \times \left(\frac{Q}{Q_o}\right) \times \left(\frac{P}{P_o}\right)$ | |
| $n = n_o \times \left(\frac{Q_o}{Q}\right)^{1/2} \times \left(\frac{P}{P_o}\right)^{3/4} \times \left(\frac{\rho_o}{\rho}\right)^{3/4}$ | | $Lw = Lw_o + 10 \times \log\left(\frac{Q}{Q_o}\right) + 20 \times \log\left(\frac{P}{P_o}\right)$ | |
| Variación varios parámetros: | | | |
| $Q = Q_o \times \left(\frac{D}{D_o}\right)^3 \times \frac{n}{n_o}$ | | $Pot = Pot_o \times \left(\frac{D}{D_o}\right)^5 \times \left(\frac{n}{n_o}\right)^5 \times \frac{\rho}{\rho_o}$ | |
| $n = n_o \times \left(\frac{Q_o}{Q}\right)^{1/2} \times \left(\frac{P}{P_o}\right)^{3/4} \times \left(\frac{\rho_o}{\rho}\right)^{3/4}$ | | $Lw = Lw_o + 70 \times \log\left(\frac{D}{D_o}\right) + 50 \times \log\left(\frac{n}{n_o}\right) + 20 \times \log\left(\frac{\rho}{\rho_o}\right)$ | |

Fuente: *Fórmulas que definen la semejanza en sopladores.*

<http://personales.unican.es/reduced/Transparencias%20WEB/Trasp%20Sist%20Ener/00%20Int%20Sistemas%20Energeticos.pdf>. Consulta: enero 2016.

1.5.5. Procedimiento para dimensionar un soplador

Además de las fórmulas de la ecuación de Euler y las fórmulas de semejanza o leyes de ventiladores, también se puede hacer a partir de gráficas combinadas con fórmulas que resultan ser mucho más sencillas que las de la

sección 1.5.4. Este será el método utilizado para el cálculo de las dimensiones del soplador que se requiere y el procedimiento es de la siguiente manera:

- Cálculo de número específico/velocidad específica (n_q)

$$n_q = \frac{nQ^{1/2}}{H^{3/4}}$$

Donde:

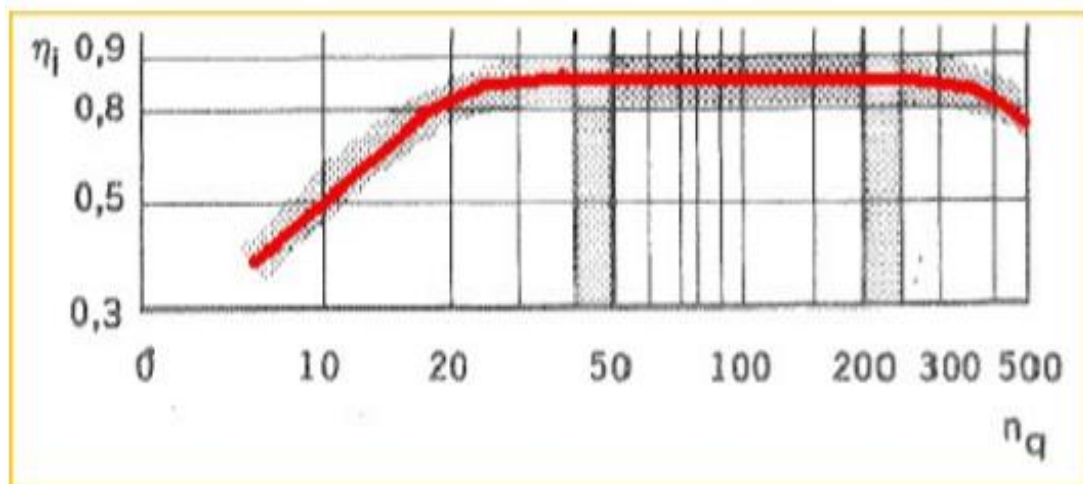
n = número de revoluciones por minuto (rpm)

H = presión total en columna de aire $H = \frac{\Delta P_{Tot}}{\rho * g}$

Q = caudal requerido (m³/h)

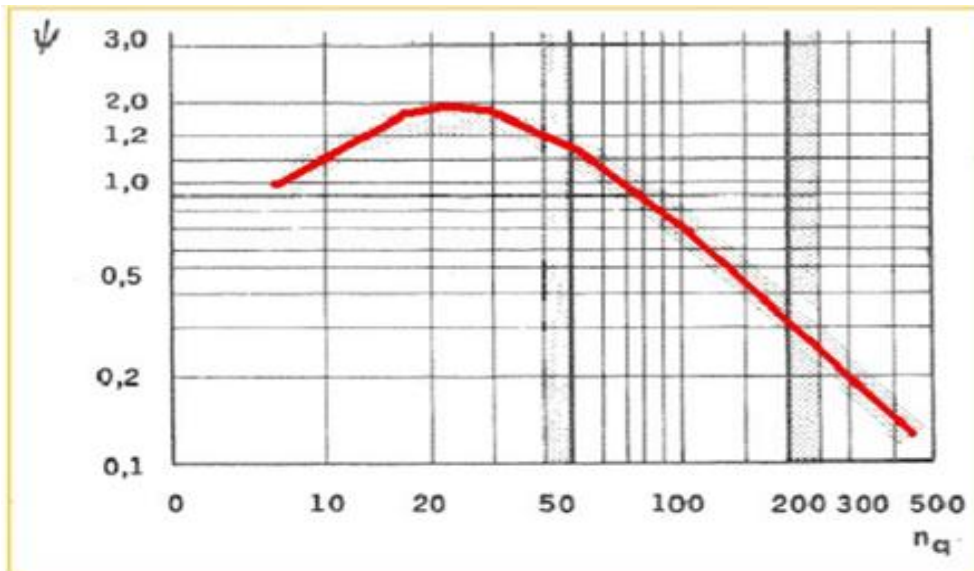
- Selección del coeficiente de rendimiento interno y coeficiente de presión

Figura 3. **Coeficiente de rendimiento interno versus número específico**



Fuente: MATIAX, Claudio. *Turbomáquinas hidráulicas*. p. 804.

Figura 4. **Coeficiente de presión versus número específico**



Fuente: MATIAX, Claudio. *Turbomáquinas hidráulicas*. p. 804.

- Cálculo de velocidad de arrastre (u_2):

$$u_2 = \sqrt{\frac{2 * g * H}{\psi}}$$

- Cálculo de diámetro del rodete o impulsor:

$$d_2 = \frac{u_2}{\pi * n}$$

- Cálculo de coeficiente de velocidad en la aspiración:

$$k_{ca} = 0.55 * \left(\frac{n_q}{100}\right)^{1/3}$$

- Cálculo de velocidad absoluta en la aspiración:

$$C_a = k_{ca} * \sqrt{2gH}$$

- Cálculo de diámetro de boca de aspiración:

$$d_a = \sqrt{\frac{4 * Q}{\eta_v * \pi * C_a}} \quad \eta_v = \text{eficiencia volumétrica}, \quad 0.9 - 0.94$$

- Cálculo de velocidad periférica de entrada al rotor:

Por lo regular $d_a = d_1$.

$$u_1 = \frac{u_2}{\left(d_2/d_1\right)}$$

- Ancho del álabe de impulsor:

Para este caso, por ser de álabes rectos, se tomará que velocidad meridional 1 es igual a la velocidad periférica 1. $C_{m1} = u_1$

$$b_1 = \frac{Q}{\eta_v * \pi * d_1 * c_{1m}}$$

- Velocidad meridional de la salida de álabe:

Manteniendo la proporción de diámetros de entrada y salida del álabe se tiene:

$$c_{m2} = \frac{c_{m1} * d_1}{d_2}$$

- Ancho de álabe de salida del impulsor:

$$b_2 = \frac{Q}{\eta_v * \pi * d_2 * c_{m2}}$$

- Dimensiones de la carcasa del soplador

Estos son los datos necesarios para poder determinar las dimensiones de un soplador. La elección del material se hará posteriormente al tener estos datos.

1.5.6. FRP (*Fiber-Reinforced-Plastic*)

Las resinas de poliéster, cuando se usan solas, tienen gran resistencia a la compresión y a las temperaturas elevadas, pero son rígidas y con poca resistencia a la tracción y menos a la flexión.

El refuerzo más utilizado es la fibra de vidrio, teniendo esta gran resistencia a la tracción y gran flexibilidad. Para que haya una buena compatibilidad entre las resinas y la fibra de vidrio, deben ser tratadas estas últimas con un *ensimage* (preparación a la capa exterior de las fibras). De esta forma existe una buena unión entre ambos productos. La resistencia mecánica de los productos PRFV depende de la cantidad de fibra de vidrio, el tipo de resina y del perfil que tengan. A mayor cantidad de fibra de vidrio, se tendrá mayor resistencia mecánica.

1.5.6.1. Criterios de elección para fibra de vidrio

- Mantas de fibra de vidrio MAT: es el material más usual para laminados de PRFV por ser fácil de moldear, de menor costo, siendo los actuales ligantes fácilmente solubles en estireno.
- Tejidos de fibra de vidrio WOVEN ROVING: produce laminados más resistentes por la mayor resistencia a la tracción. Ello se obtiene utilizando tejidos más finos con dibujo tupido. El problema es que a veces se presenta la adherencia interlaminar, que puede ser localmente débil por problemas de desgomaadura. Se puede mejorar intercalando MAT entre los tejidos o usando tejidos más gruesos.
- Filamentos de fibra de vidrio ROVING: se usan para reforzar las capas de tejido de vidrio y también para conferir resistencia y dureza.

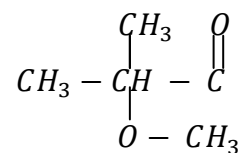
- Velos: se puede usar de amortiguamiento entre la capa de *gelcoat* y las principales de refuerzo. También se usan como capa de refuerzo del propio *gelcoat*, dando así algo de consistencia a esta capa.
- Cintas de fibra de vidrio: consiste en un tejido en formas de cintas que es adecuado para aplicar en aquellos lugares donde se precisan bandas estrechas de refuerzos por ligamentos en espiral.
- Fibras de vidrio preimpregnadas: el tejido y los MAT se fabrican también impregnados con una mezcla de resina-catalizador que puede ser activada por calor (también pueden ser activados por radiación UV). Estos materiales se conocen con el nombre de "pre-pre".

1.5.6.2. Monómero

Los monómeros insaturados son usados para copolimerizar (interligar) las cadenas lineales de los poliésteres. Las ligaduras se producen al formar estos monómeros puentes entre los dobles enlaces existentes, gracias a los ácidos insaturados que se han usado en la condensación de la cadena de poliéster. Por razones técnicas y económicas, el estireno es el monómero más popular de los utilizados.

Durante el curado de la resina se produce la formación de polímeros de poliestireno y una cierta proporción se evapora. Por todo esto se justifica la necesidad de usar un ligero exceso molar de estireno para garantizar el curado satisfactorio de la resina. Debe tenerse precaución a la hora de añadir excesos de estireno. Dependiendo de la formulación de poliéster, existen límites óptimos de concentración de monómero en los cuales debe producirse. En caso de que este límite sea sobrepasado, algunas propiedades se ven significativamente perjudicadas. Un exceso de estireno provoca que las resinas sean quebradizas y sensibles al calor. Resinas con exceso de estireno no presentan buena

resistencia a la intemperie. Siempre que se encuentra una pieza que al cabo de unas semanas o meses de exposición al sol presentan grietas superficiales en la capa del *gelcoat*, se puede sospechar el típico caso de exceso de estireno usado para bajar la viscosidad. Este defecto se nota unas semanas o meses después de la colocación de la pieza. Es igualmente normal que se produzca amarillamiento de las piezas expuestas a los rayos solares. La adición de estireno para rebajar la viscosidad debe hacerse con cautela. Como regla general no debe añadirse más del 10-15 %. Se usa también otros monómeros como interligadura de las cadenas de poliéster como son:



Metracrilato de Metilo

Se usa conjuntamente con el estireno para:

- Mejorar la resistencia a la intemperie
- Minimizar la aparición de fibra de vidrio en el laminado
- Reducir la reactividad de la masa, reduciendo el pico exotérmico
- Aumentar la flexibilidad del laminado

1.5.6.3. Catalizadores y acelerantes

Para producir un objeto moldeado o laminado, una resina de poliéster tiene que fraguar, que es el proceso de gelificación o coagulación y endurecimiento. Se consigue esto, o bien mediante el uso de un catalizador y calor, o a la temperatura normal del cuarto de trabajo empleando un catalizador

y un agente aceleraste. Los catalizadores para las resinas de poliéster son generalmente peróxido orgánicos, los catalizadores puros son inestables químicamente y susceptibles de descomponerse con violencia explosiva. Se suministran por eso en forma de dispersión en pasta o líquido en un plastificante, o en forma de polvo en una carga inerte.

Los catalizadores más usados son el Metil Etil Cetona Peróxido (PMEC), que es vendido en una solución al 50 %. El Peróxido de Benzoilo, que puede ser adquirido 100 % o en una solución en dibutil ftalato. Y el Peróxido de Metil Etil Cetona (PMEC), que es vendido en una solución al 50 % en dimetil ftalato.

Contrariamente con lo que ocurre con el BPO, el Mek Peróxido no posee una fórmula químicamente definida, siendo fabricada con diferentes mezclas de hidroperóxidos, lo que explica la diferencia de actividad de catalizadores obtenidos de diferentes fórmulas. Hay muchos componentes químicos que obran como acelerados, haciendo posible que la resina que contiene un acelerador pueda fraguar sin el calor. Los más importantes de todos los compuestos acelerados son los basados en una sal de cobalto como los SECAN 706 (octoato de cobalto) y 726 (naftenato de cobalto), y los que tienen como base una amina terciaria, como el dimetilanilina y la dietilanilida.

Se utilizan diferentes sistemas de acelerador y catalizador de la siguiente manera:

- Sistemas a base de BPO: cuando se utiliza el BPO son más eficientes las aminas terciarias, siendo más efectiva la dimetilanilina (DMA) que la dietilanilina (DEA).

- Sistemas a base de PME: para los sistemas catalizados con P MEC, es más común utilizar sales organometálicos como naftenato de cobalto u octoato de cobalto.

1.5.6.4. Gelcoat

Son resinas no reforzadas que constituyen la superficie de los laminados de poliéster con fibra de vidrio. El gelcoat tiene tres funciones principales:

- Proteger el laminado contra los efectos de la intemperie y humedad
- Conferir acabado, colorido, liso y brillante a la superficie de la pieza
- Servir de base para aplicar pinturas especiales (acrílicas, poliuretano, etc.)

Generalmente, el gelcoat es aplicado sobre la superficie del molde, siendo el laminado estructural aplicado sobre esta capa. El gelcoat reproduce las características superficiales del molde (obviamente cubierto por un desmoldante). Moldes lisos y brillantes permiten piezas también lisas y brillantes. Los gelcoat de acabados deben ser aplicados sobre moldes bien pulidos, con esmerado acabado superficial.

Los gelcoat pueden ser aplicados por pistola, rodillos o pincel. Mejores resultados son obtenidos con aplicación con pistola, que permiten aplicaciones uniformes de espesor. En ambientes cerrados o de difícil acceso los rodillos de pintor pueden ser usados como mejor alternativa de aplicación. Generalmente, la primera aplicación debe tener 0,10-0,15mm y la segunda con 0,30-0,35 mm. El espesor final no debe sobre pasar los 0,5 mm. Resultados más gruesos resultan ser muy quebradizos y pueden aparecer grietas superficiales. Aplicaciones muy delgadas pueden arrugarse debido al ataque del estireno de los laminados. El laminado sobre el gelcoat no debe ser iniciado antes del

estado de "toque", caracterizado por la cura parcial del gelcoat, cuando la superficie puede ser tocada por el laminador sin pegarse los dedos.

Materias primas para gelcoat

- Resinas de Poliéster

Son usadas resinas rígidas y flexibles (Ortoftálica e Isoftálica). Las resinas Bisfenólicas y Viniléster son sometidas a contacto de ambientes agresivos. Las resinas ortoftálicas son para uso general, presentan buena resistencia a la intemperie y ambientes moderadamente agresivos. Debido a su bajo costo son usadas son formulados para fabricar gelcoat de uso general. Los gelcoat ortoftálicos modificados con Neopentaglicol (NPG) son la mejor opción en términos de costo vs. desempeño para los usuarios de fabricaciones de fibra de vidrio.

Algunas resinas Isoftálica, de cadenas moleculares más largas que las ortoftálicas, tienen mejor desempeño al estar expuestas a la intemperie, altas temperaturas y contacto permanente con el agua. Las resinas ortoftálicas (rígidas) tienen menor brillo superficial y menor resistencia a la intemperie que las flexibles. Otro problema de las rígidas, es que cuando son usadas son más susceptibles al desgaste superficial que facilita la penetración de humedad por erosión, perjudicando la durabilidad de la capa protectora. Las resinas usadas para gelcoat de molde no precisan ser muy flexibles, porque los moldes, siendo rígidos, no presentan tantos problemas de desgaste por uso. La flexibilidad requerida para el gelcoat de moldes puede ser generada por los fabricantes modificando la relación entre ácido isoftálico y ácido maléico.

- Catalizadores y Aceleradores.

De preferencia deben ser usados sistemas PMEC-Cobalto. Peróxido de Benzoilo (PB) acelerado con Dimetilanilina o Dietilanilia (DMA, DAA) presenta las siguientes dificultades:

- Afecta al color del *gelcoat*.
 - Perjudica la resistencia a la intemperie.
 - No cura satisfactoriamente en capas de poco espesor, como es el caso del *gelcoat*.
 - Las aplicaciones PV-DMA deben ser de preferencia postcurados antes de 24 horas después de la aplicación. Por el contrario, los sistemas PMEC-Cobalto pueden ser postcurado en cualquier momento.
 - Los sistemas PMEC-Cobalto producen cura más completa que los sistemas PB-DMA.
-
- Pigmentos y colorantes

Los pigmentos son partículas sólidas, insolubles en resinas de poliéster y sus solventes. Los colorantes son solubles en resina y sus solventes. Los pigmentos proporcionan cobertura y color a los *gelcoat*. Los colorantes, siendo solubles, no tienen poder de cobertura y por eso no son usados en formulaciones de *gelcoat*. Entre los varios tipos de pigmentos disponibles para formular el *gelcoat*, pueden haber de tipo orgánico o inorgánico, sintético o natural. En general, los inorgánicos exhiben mejores propiedades a la intemperie que los orgánicos.

Entre las características que deben tener los pigmentos para las aplicaciones en los *gelcoat* están:

- Estabilidad térmica

- Solidez a la intemperie (UV)
- Baja influencia en el tiempo de gel en la cura de la resina
- Poder de cobertura
- Poder de concentración (tinte)

En general, los pigmentos inorgánicos tienen menor poder de cobertura que los orgánicos. En oposición, tienen mayor poder de concentración de color. Para que los pigmentos puedan contribuir con máxima eficiencia, y destacar con sus características de cobertura y concentración de color, es necesario que sus partículas estén bien dispersas y homogéneas en el poliéster. Como los pigmentos son comprados en pasta, la coloración de la resina puede ser efectuada con bateadores comunes, tipo hélice.

- Cargas

Las cargas, a diferencia de los pigmentos, no contribuyen a dar color con cobertura significativa al gelcoat. Por esta razón, las cargas son de partícula de tamaño mayor que los pigmentos. Los dispersores de alta velocidad generalmente son suficientes para incorporarlas a la resina. La principal justificación de las cargas minerales para agregarlas a las formulaciones de los gelcoat es disminuir el coeficiente de dilatación térmica y darle mayor dureza. En piezas planas o de paredes delgadas estas contribuyen a darle mejor estabilidad dimensional. Las cargas más comúnmente utilizadas son el carbonato de calcio y el talco micronizado. El % de carga varía de acuerdo a cada aplicación, es importante que este % no sea muy elevado para no perjudicar las propiedades intrínsecas (viscosidad) del *gelcoat*.

- Solventes

Los solventes usados para formular los gelcoat pueden ser clasificados en dos categorías. La primera categoría incluye los reductores de viscosidad no copolimerizadoras, cuya función es reducir la viscosidad del gelcoat para aplicarlo con pistola. Deben presentar como principal característica tasa de evaporación extremadamente rápida, de preferencia evaporándose antes de que el gelcoat llegue a la superficie del molde. Generalmente es usada la acetona para esas finalidades. Cerca de 3 % a 5 % de acetona reduce la viscosidad del gelcoat.

La segunda categoría incluye los solventes copolimerizadores, que forman parte integrante del gelcoat curado. Al contrario de los anteriores, estos deben tener una tasa baja de evaporación. El solvente más usado de esta categoría es el monómero de estireno. El usuario debe agregar cantidades de estireno conforme a sus necesidades.

- Agente tixotrópico:

Los gelcoat deben presentar viscosidad baja suficiente para su aplicación (a pincel, rodillo o pistola). Por otro lado, aplicaciones líquidas espesas (como es el gelcoat) aplicadas sobre superficies inclinadas tienden a escurrirse, dando origen a variaciones de espesor que pueden generar el surgimiento de arrugamiento, esparcimiento y apareamiento de fibras de vidrio. El problema de escurrimiento en paredes verticales puede evitarse usando gelcoat de alta viscosidad, sin embargo, esto genera problemas de aplicación del material, esparcimiento y nivel de aplicación. En cuanto a la viscosidad, los gelcoat deben satisfacer dos exigencias opuestas:

- Tener viscosidad suficientemente baja durante e inmediatamente después de la aplicación, para facilitar el esparcimiento y nivelamiento en el molde.
- Tener viscosidad suficientemente alta para minimizar problemas de escurrimiento en superficies verticales.

Estas exigencias opuestas son satisfechas por los agentes tixotrópicos. Los agente tixotrópicos son constituidos por partículas extremadamente pequeñas (sílice o arcilla organofílicas) con alta tendencia a flocular, originando un alto retículo tridimensional que aumenta considerablemente la viscosidad de la resina. Esta estructura flocular es fácilmente rompible por las altas tasas de cizallamiento a que los gelcoat son sometidos durante la aplicación con pincel, pistola u otro. Una vez roto la estructura flocular, la viscosidad del gelcoat puede ser controlada por los pigmentos, cargas o base poliéster. Entre los agentes tixotrópicos más usados para evitar el escurrimiento o caída del gelcoat en paredes verticales o inclinadas están el Cabosil o Aerosil.

- Inhibidores

Los inhibidores son adicionados al gelcoat para impedir su gelificación prematura. Las resinas contienen inhibidores adecuados en cantidades necesarias para garantizar la estabilidad adecuada a los gelcoat. Se puede usar, adicionalmente y en cantidades necesarias, TBC como hidroquinona.

- Absorbedores ultravioleta

La energía contenida en las radiaciones ultravioleta puede romper ligamentos moleculares, cambiar el color o hacer quebradiza la base polimérica de los gelcoat. Los absorbedores ultravioleta UV tienen la función de absorber las radiaciones electromagnéticas contenidas en las radiaciones ultravioleta.

1.5.7. Variadores de frecuencia

Sin duda alguna los accionamientos a base de motores eléctricos son los más numerosos de la mayoría de las aplicaciones, y dentro de ellos los basados en motores de corriente continua han gozado de una total hegemonía en el campo industrial durante décadas. Sin embargo, los motores con menor nivel de exigencias en el mantenimiento son los motores asíncronos de jaula de ardilla, debido a que carecen de colector, tienen una relación peso-potencia mucho menor que los de continua y, por tanto, un coste significativamente más bajo. Por estas razones, dada su capacidad de soportar sobrecargas y su elevado rendimiento, son los motores más atractivos para la industria. Desde hace aproximadamente 20 años, el elevado desarrollo de la electrónica de potencia y los microprocesadores han permitido variar la velocidad de estos motores, de una forma rápida, robusta y fiable, mediante los reguladores electrónicos de velocidad. La elección de la instalación de un convertidor de frecuencia como método de ahorro energético supone:

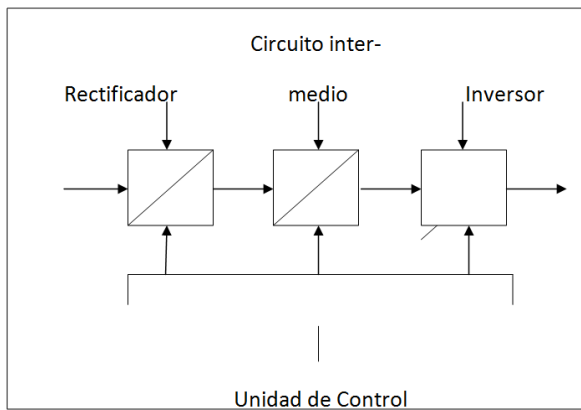
- Reducción del consumo.
- Mejor control operativo, mejorando la rentabilidad y la productividad de los procesos productivos.
- Minimizar las pérdidas en las instalaciones.
- Ahorro en mantenimiento (el motor trabaja siempre en las condiciones óptimas de funcionamiento).

1.5.7.1. Fundamentos tecnológicos de la regulación electrónica de velocidad en motores

Un regulador electrónico de velocidad está formado por circuitos que incorporan transistores de potencia como el IGBT (transistor bipolar de puerta

aislada) o tiristores, siendo el principio básico de funcionamiento transformar la energía eléctrica de frecuencia industrial en energía eléctrica de frecuencia variable. Esta variación de frecuencia se consigue mediante dos etapas en serie. Una etapa rectificadora que transforma la corriente alterna en continua, con toda la potencia en el llamado circuito intermedio, y otra inversora que transforma la corriente continua en alterna, con una frecuencia y una tensión regulables, que dependerán de los valores de consigna. A esta segunda etapa también se le suele llamar ondulator. Todo el conjunto del convertidor de frecuencia recibe el nombre de inversor.

Figura 5. **Unidad de control de velocidad de un variador de frecuencia**



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Visio 2007

El modo de trabajo puede ser manual o automático, según las necesidades del proceso, dada la enorme flexibilidad que ofrecen los reguladores de velocidad, permitiendo hallar soluciones para obtener puntos de trabajo óptimos en todo tipo de procesos, pudiendo ser manejados por ordenador, PLC, señales digitales o de forma manual. La mayoría de las marcas incluyen, dentro del propio convertidor, protecciones para el motor, tales como protecciones contra sobreintensidad, sobretensión, fallo contra desequilibrios, defectos a tierra, etc., además de ofrecer procesos de arranque y frenados suaves mediante rampas de aceleración y de frenado, lo que

redunda en un aumento de la vida del motor y las instalaciones. Como debe saberse, el uso de convertidores de frecuencia añade un enorme potencial para el ahorro de energía, disminuyendo la velocidad del motor en muchas aplicaciones. Además, aportan los siguientes beneficios:

- Mejora el proceso de control y por lo tanto la calidad del producto.
- Se puede programar un arranque suave, parada y freno (funciones de arrancador progresivo).
- Amplio rango de velocidad, par y potencia. (Velocidades continuas y discretas).
- Bucles de velocidad.
- Puede controlar varios motores.
- Factor de potencia unitario.
- Respuesta dinámica comparable con los *drivers* de DC.
- Capacidad de *bypass* ante fallos del variador.
- Protección integrada del motor.
- Marcha paso a paso (comando JOG).

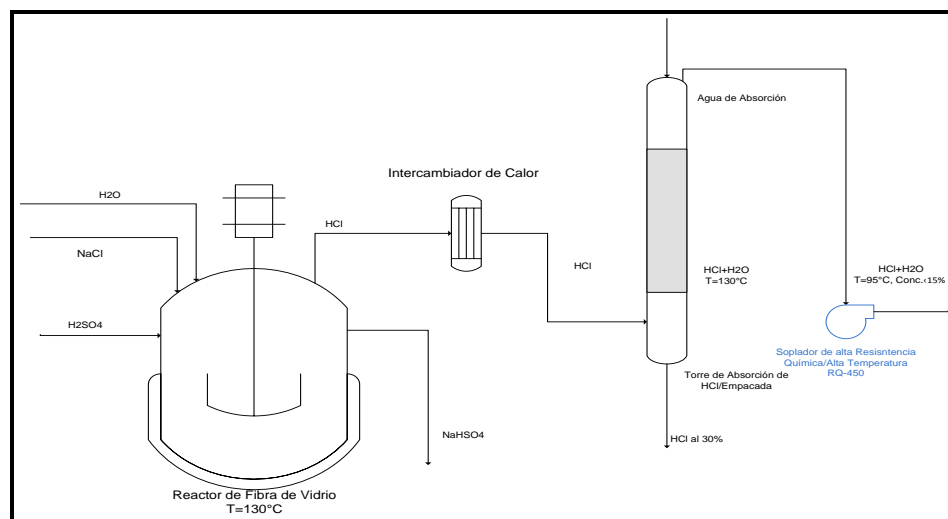
2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL

En esta etapa es donde se describe cómo se realizaron y se obtuvieron los datos requeridos para poder dimensionar el equipo, escoger el material a utilizarse, y los equipos para validar los resultados obtenidos.

2.1. Identificación de parámetros de diseño

Para poder identificar los parámetros de diseño se realizará una descripción breve del proceso, así como un bosquejo del mismo para que se pueda entender la posición del equipo diseñado. Como se mencionó en la sección 1.5.1, la reacción que se está llevando a cabo es la siguiente: $NaCl + H_2SO_4 + H_2O \rightarrow NaHSO_4 + HCl \uparrow + H_2O \uparrow$. Esta reacción se lleva a cabo a una temperatura de 125-130°C.

Figura 6. Diagrama de fabricación HCl



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Visio 2007

El equipo color azul (figura 6, página 35, y figura 24, página 58) es el que se diseñó y fabricó de acuerdo a este informe. Las condiciones de temperatura son 90° C y el producto a transportarse en HCl+H₂O a la temperatura antes mencionada. La torre ocasiona una caída de presión, la cual es de 100 mmcda, y el flujo a transportar es de 450 m³/h. El Voltaje de que se dispone en la planta es 120/240, monofásica y trifásica, por lo tanto para valores se tomará el voltaje de 240 trifásica.

2.2. Determinación de materiales a utilizarse

En función de las siguientes tablas y con base en la experiencia puede determinarse que el material de la carcasa, impulsor y eje, deberán ser de resina Bisfenol Fumarato Dion 382/6694. Se aplicará una barrera química con velo y resina Dion 382, luego se procederá a aplicar fibra *mat* junto con la resina mencionada, hasta llegar al espesor necesario, para este caso será suficiente con ¼". El eje se fabricará de un tubo metálico y se recubrirá con fibra y resina Dion 382, para poder tener resistencia química y mecánica. El cojinete se pondrá de cerámica para que soporte la temperatura y el ataque químico.

Tabla III. Resistencia química de diferentes materiales frente al HCl

| 7 PRODUCTO QUÍMICO | Plásticos | | | | | | | | | | | Elastómeros | | | | | | | | | Metales | | | | | No Metales | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|---------------|------------------|------|-------|--------|------|--------|-------|---------------|---------------|--------------|----------------|-----|---------------|------------------|------|----------|--------|--------------|----------|----------|--------|--------|---------------|---------------|------------|-------|--------|--------------|------------------|-------|--------------|---------|-----------------|---|-------------------|---|---|
| | ABS, plástico | Acetal (Delrin*) | CPVC | Epoxy | Hydrel | LDPE | Noryl* | Nylon | Policarbonato | Polipropileno | PPS (Ryton*) | PTFE (Teflon*) | PVC | PVDF (Kynar*) | Buna N (Nitrilo) | EPDM | Hypalon* | Kel F* | Goma natural | Neopreno | Silicona | Tygon* | Viton* | Ac. Inox. 304 | Ac. Inox. 316 | Aluminio | Latón | Bronce | Carpenter 20 | Fundición hierro | Cobre | Hastelloy C* | Titanio | Carbon, grafito | Cerámica Al ₂ O ₃ | Cerámica, magnet. | | |
| Hidroclórico, ácido 20% | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Hidroclórico, ácido 37% | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Hidroclórico, ácido 100% | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Hidroclórico, ácido (gas seco) | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Fuente: Resistencia al HCl. <http://www.fluिनort.cl/2013/wp-content/uploads/2015/04/TABLA-QUIMICA-GOMAS-Y-METALES.pdf>. Consulta: marzo 2016.

Tabla IV. Resistencia química de diferentes resinas a diferentes temperaturas

| CHEMICAL ENVIRONMENT | % CONCENTRATION | SUGGESTED MAXIMUM TEMPERATURE LIMIT, °F | | | | | | | |
|--|-----------------|---|------------|------------|--------------------|-----------|--------------|-------------|------------|
| | | VINYL ESTER | | | BISPHENOL FUMARATE | | TEREPHTHALIC | ISOPHTHALIC | CHLORENDIC |
| | | DION® 9100 DION® 9102 FR 9300 | DION® 9800 | DION® 9400 | DION® 6694 | DION® 382 | DION® 490 | DION® 6631 | DION® 797 |
| H | | | | | | | | | |
| Heptane | 100 | 200 | 200 | 210 | 210 | 200 | 150 | 140 | 200 |
| Hexachlorocyclopentadiene | 100 | --- | 110 | 110 | 110 | 110 | 80 | NR | 200 |
| Hexachloropentadiene | 100 | --- | --- | --- | 110 | --- | 80 | NR | --- |
| Hexamethylenetetramine | 65 | --- | 110 | 120 | --- | 110 | 80 | NR | NR |
| Hexane | 100 | 150 | 140 | 150 | 150 | 140 | 80 | --- | --- |
| Hydraulic Fluid | 100 | 150 | 180 | 180 | 180 | 180 | NR | NR | 150 |
| Hydrazine | 100 | NR | NR | NR | NR | NR | NR | NR | NR |
| Hydrobromic Acid | 18 | 180 | 200 | 180 | 210 | 210 | 140 | --- | 200 |
| Hydrobromic Acid | 48 | 150 | 160 | 150 | 170 | 160 | 80 | 80 | 200 |
| Hydrochloric Acid (see selected applications) | 10 | 210 | 200 | 250 | 210 | 210 | 160 | 160 | 230 |
| Hydrochloric Acid | 15 | 210 | 200 | 210 | 210 | 210 | 140 | 140 | 210 |
| Hydrochloric Acid | 25 | 160 | 150 | 160 | 150 | 150 | 140 | 110 | 180 |
| Hydrochloric Acid | 37 | 110 | 110 | 110 | 110 | 110 | 80 | --- | 100 |
| Hydrochloric Acid and Organics | --- | NR | NR | 140 | NR | NR | NR | NR | NR |
| Hydrocyanic Acid | 10 | 180 | 200 | 180 | 210 | 210 | 140 | 80 | 200 |
| Hydrofluoric Acid | 1 | 125 | 125 | 125 | 125 | 125 | NR | NR | --- |

Fuente: REICHHOLD. *Corrosión. Guide Dion.* p 35.

<http://www.reichhold.com/brochures/composites/Corrosion%20guide.pdf>. Consulta, marzo 2016

2.3. Impacto ambiental y energético

Aunque el proceso puede trabajar sin el soplador, esto genera pérdidas al no tener suficiente succión. No solo genera contaminación sino que disminuye la eficiencia de la reacción, además de aumentar los costos de producción.

2.3.1. Disminución de pérdidas al ambiente

Se tomará como referencia la imagen de Diagrama de Fabricación de HCl, y como se observa que el soplador que se diseñó y fabricó está marcado

en azul, al no tener este un equipo de succión, el gas siempre es impulsado hacia la torre, pero también alguna parte es expulsada por los ingresos y descargas de insumos y productos del proceso, y por ser gas se pierde en el ambiente y este genera una atmósfera corrosiva.

2.3.2. Mejora en capacidad de producción

Aunque no se vea tan significativa la pérdida ocasionada en uniones de los equipos agitados (figura 6, reactor de fibra de vidrio), afecta a la cantidad total a obtenerse de producto. El hecho de poder recuperar estas cantidades automáticamente está incrementando la capacidad de producción aunque sea en un porcentaje muy bajo, pero la parte más importante es no perder este producto al ambiente, pues es un contaminante altamente corrosivo.

2.3.3. Mejora en el costo de producción

Mejora el costo de producción como resultado de no generar pérdidas de producto que al mismo tiempo genera ambiente corrosivo, no solo por la recuperación de la pérdida, si porque disminuye el mantenimiento requerido a la estructura y, como consecuencia, hay menos tiempo de paro del equipo.

2.4. Técnica y recurso a utilizarse

Para proceder con el diseño del soplador se determinan las dimensiones del equipo, utilizando el procedimiento descrito en la sección 1.5.5, partiendo de los datos como caudal, temperatura y presión. Luego de haber elegido los materiales se procederá a la fabricación del equipo, para ello fue necesario el apoyo de un operario de fibra de vidrio con una inversión de 240 horas.

Equipo para medición de velocidad de aire (Anemómetro/termómetro)

Con esto se determinó la velocidad del aire a una presión determinada y a una apertura del dámper.

- Marca: TSI
- Modelo: 9535

Figura 7. **Anemómetro/termómetro**



Fuente: elaboración propia.

Tacómetro

Para determinar las rpm del soplador durante el rango de otros valores, se probaron con 2 valores de rpm 3500 y 1750.

- Marca: Neiko
- Modelo: S-741292

Figura 8. **Tacómetro**

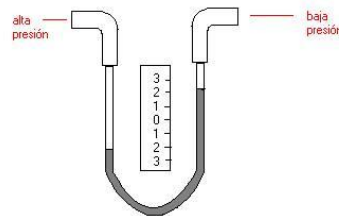


Fuente: elaboración propia.

Manómetro de columna de agua

Con esto se determinó la presión a la que trabajaba el soplador para un determinado caudal de aire. Este se fabricó con manguera transparente y se llenó con agua, la punta de la alta presión es antes del dámper de regulación y la de baja presión es la que está después del dámper.

Figura 9. **Manómetro diferencial**



Fuente: elaboración propia.

Multímetro

Con este dispositivo se confirmará el amperaje y voltaje al que está trabajando el motor, aunque el motor ya trae sus especificaciones y solamente servirá para confirmar dichos datos.

- Marca: Truper
- Modelo: MUT-202

Figura 10. **Multímetro**



Fuente: elaboración propia.

2.5. Diseño del soplador centrífugo

Aunque los valores requeridos de presión en torre son 100mmcda y un caudal de 450 m³/h, para factor de seguridad se utilizarán los siguientes datos:

Rpm disponibles = 3500 rpm = 58,33 rps

APt = 150 mmcda = 1472 N/m²

Q = 800 m³/h = 0,22 m³/seg.

Pb = 760 mm

Densidad = 1,293 kg/m³

$$H = \frac{\Delta P_{tot}}{\rho g} = \frac{1472}{1.293 * 9.81} = 116 \text{ m col. aire}$$

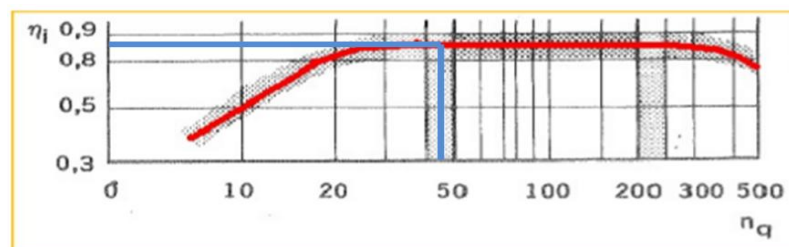
$$Y = \frac{\Delta p_{tot}}{\rho} = \frac{1472}{1.293} = 1138 \text{ J/kg}$$

Cálculos de número Equivalente (n_q):

$$n_q = \frac{n * Q^{1/2}}{H^{3/4}} = \frac{3500 * 0.22^{1/2}}{116^{3/4}} = 46.44$$

Determinación de rendimiento interno (η_i):

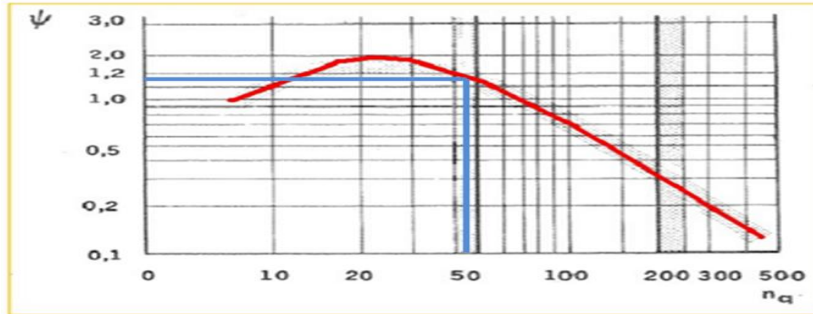
Figura 11. Trazos en figura 3



Fuente: elaboración propia. Utilizando Microsoft Word 2007.

Determinación de Coeficiente de Presión (ψ):

Figura 12. Trazos en figura 4



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Word 2007.

Para $n_q = 46,44$

Coeficiente de Presión $\psi = 1,18$

Rendimiento interno $\eta_i = 0,86$

Velocidad de tangencial de salida del rodete (u_2):

$$u_2 = \sqrt{\frac{2 * g * H}{\psi}} = \sqrt{\frac{2 * 9.81 * 116}{1.18}} = 43.91 \text{ m/seg}$$

Cálculo de diámetro externo del rodete (d_2):

$$d_2 = \frac{u_2}{\pi * n} = \frac{43.91}{3.1416 * 58.33} = 0.2396 \text{ mts} \approx 240 \text{ mm}$$

Coeficiente de velocidad en la aspiración (k_{ca}):

$$k_{ca} = 0.55 * \left(\frac{n_q}{100}\right)^{1/3} = 0.55 * \left(\frac{46.44}{100}\right)^{1/3} = 0.4259$$

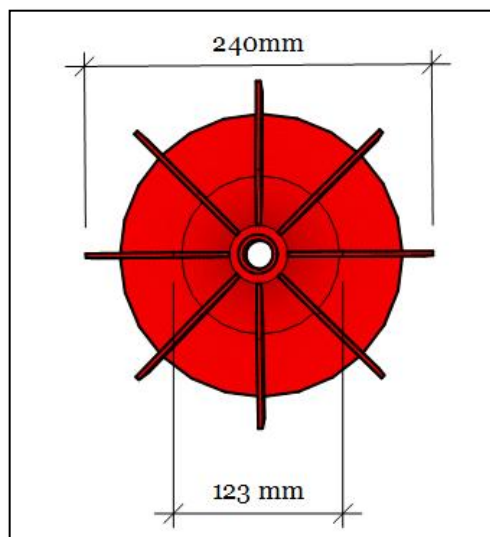
Cálculo de velocidad de aspiración (c_a):

$$c_a = k_{ca} * \sqrt{2 * g * H} = 0.4259 * \sqrt{2 * 9.81 * 116} = 20.31 \text{ m/seg}$$

El diámetro de la boca de aspiración (se estima un rendimiento volumétrico de 90 %):

$$d_a = \sqrt{\frac{4 * Q}{\eta_v * \pi * c_a}} = \sqrt{\frac{4 * 0.22}{0.9 * 3.1416 * 20.31}} = 0.1237$$

Figura 13. Dimensiones de impulsor/rotor de soplador centrífugo



Fuente: elaboración propia, utilizando SketchUp 2014.

Diámetro de entrada al rodete: frecuentemente $d_1 = d_a = 0,123$ mts

Velocidad tangencial en la entrada al rodete:

$$u_1 = \frac{u_2 * d_1}{d_2} = \frac{43.91 * 0.1237}{0.239} = 22.72 \text{ m/seg}$$

Ancho del álabe en la entrada al rotor:

Para este caso, por ser de álbes rectos, se tomará que velocidad meridional 1 es igual a la velocidad periférica 1. $C_{m1} = u_1$

$$b_1 = \frac{Q}{\eta_v * \pi * d_1 * c_{1m}} = \frac{0.22}{0.9 * 3.1416 * 0.1237 * 22.72} = 0.0278m$$

Velocidad meridional de la salida de álabe:

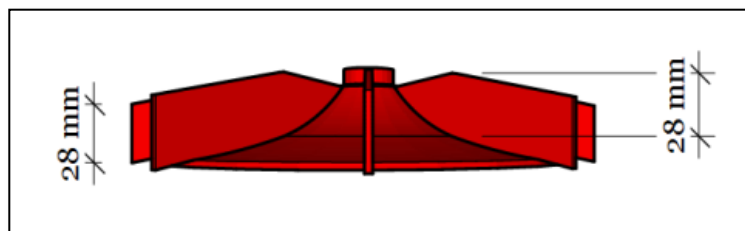
Manteniendo la proporción de diámetros de entrada y salida del álabe se tiene:

$$c_{m2} = \frac{c_{m1} * d_1}{d_2} = \frac{22.72 * 0.123}{0.239} = 11.69$$

El ancho del rodete en la salida será:

$$b_2 = \frac{Q}{\eta_v * \pi * d_2 * c_{2m}} = \frac{0.22}{0.9 * 3.1416 * 0.239 * 11.69} = 0.0278m$$

Figura 14. Dimensiones de impulsor/rotor de soplador centrífugo



Fuente: elaboración propia, utilizando SketchUp 2014.

Número de álbes:

$$z = k * \frac{d_2 + d_1}{d_2 - d_1} * \text{sen} \left(\frac{\beta_1 + \beta_2}{2} \right), \quad k = 2.5 \text{ para álbes rectos}$$

$$z = 2.5 * \frac{240 + 123}{240 - 123} * \text{sen} \left(\frac{90 + 90}{2} \right) = 7.75$$

Dimensiones de descarga del soplador:

Estas se elegirán para una descarga cuadrada y el área de flujo debe ser igual o un poco mayor al área de succión, por lo cual las dimensiones son las siguientes: 80mm x 106mm.

2.6. Fabricación de soplador centrífugo:

El procedimiento para la fabricación se lleva a cabo con personal del área de fibra de vidrio de la empresa.

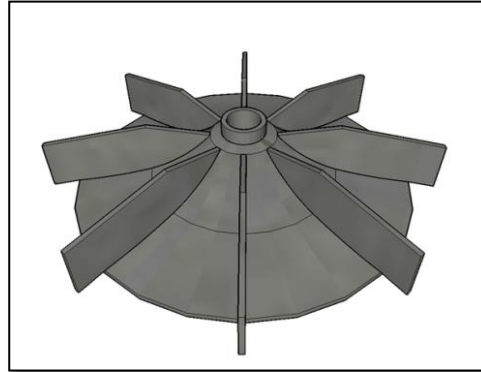
2.6.1. Preparación de moldes

En el proceso de formación de piezas de fibra de vidrio es necesario primeramente tener moldes, en este caso se realizan de metal, ya que así es más fácil para dar la forma y dimensiones requeridas.

Molde para impulsor

Este se fabricó de lámina de acero convencional de 3/32 de espesor.

Figura 15. **Molde metálico de impulsor rotor de soplador centrífugo**

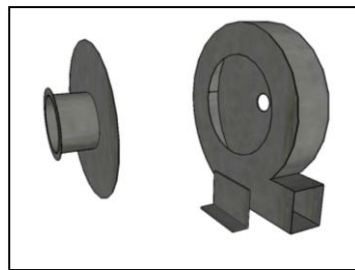


Fuente: elaboración propia, utilizando SketchUp 2014.

Molde para carcasa de soplador centrífugo

Se utilizó uno que cumpliera con el diámetro de succión igual o mayor al calculado, tomando de referencia medidas de sopladores de la empresa MOEGSA. El soplador CSBT-800 se adapta muy bien, por lo tanto es el que se utilizó para dicho fin.

Figura 16. **Molde metálico para carcasa de soplador centrífugo**



Fuente: elaboración propia, utilizando SketchUp 2014.

2.6.2. Aplicación de fibra de vidrio

Luego de haber fabricado y obtenido los moldes requeridos, se procede a fabricar las piezas de fibra de vidrio.

Aplicación de cera desmoldante

Antes de empezar con todo el procedimiento de aplicación y formación de fibra de vidrio, se tiene que aplicar cera desmoldante, del siguiente tipo:

Figura 17. Cera desmoldante



Fuente: elaboración propia.

El procedimiento de aplicación de cera se efectúa utilizando un *wipe* o trapo, se aplica sobre la superficie del molde sobre la cual se aplicará la resina y fibra de vidrio, haciendo movimientos circulares. Deberá aplicarse lo suficiente y verificar que toda la superficie quede cubierta con la cera para evitar que la resina se adhiera a la superficie del molde.

Preparación de resina Dion y resina de usos generales

Para preparar la resina Dion los materiales a utilizarse son resina Dion 382 sólida (lentejas) y monómero de estireno, la proporción de mezcla es de 50/50 en peso, aunque pueden haber ciertas variaciones dependiendo de la

viscosidad que se requiera, por ejemplo, si se requiere una resina más fluida puede utilizarse 40 % de resina y 60 % de monómero; si, por el contrario, se requiere una resina de mayor viscosidad, pues se le agrega más resina que monómero. Luego de haber decidido la relación a mezclarse, se procede a pesar y colocar la resina en un recipiente metálico o plástico y se mezcla constantemente hasta que la resina se disuelva totalmente.

Aplicación de resina

Luego de tener preparada la resina Dion 382 y recortada la fibra de vidrio tipo velo, se empieza a aplicar primeramente una capa de resina utilizando una broca de 2", pero este tamaño puede ser diferente dependiendo del tamaño de la pieza a fabricarse. Luego se coloca la primera capa de fibra de vidrio, que se adhiere a la resina, sobre la fibra de vidrio se le vuelve a aplicar nuevamente un poco de resina y se repiten los pasos, pero ya se empieza a colocar fibra tipo *mat*, por lo regular se aplica una capa de velo y una de *mat* para formar la capa de barrera química. Para eliminar las burbujas de aire se aplica presión utilizando un rodillo que normalmente es de aluminio, como se muestra en la figura.

Figura 18. **Aplicación de fibra de vidrio**



Fuente: elaboración propia.

Luego de aplicar la barrera química deberá esperar a que la resina seque o seque, el tiempo estimado es de 15 minutos. Este tiempo puede variar dependiendo de la temperatura y la cantidad de catalizador (MEK).

Posteriormente se aplicarán más capas de fibra de vidrio, solamente que, dependiendo del tipo de piezas, se puede variar la resina a utilizarse. En el caso de la carcasa en que la sustancia corrosiva está dentro, se puede utilizar resinas de usos generales, pues estas últimas capas son para darle resistencia mecánica. También se puede utilizar fibra tipo Woven Roving, que es un tipo de fibra bordada que tiene mucha capacidad de resistencia mecánica, pero en este caso solo se utilizará fibra tipo mat. Las capas finales serán 4, lo cual da un total de una capa de velo y 5 de mat. Esto produce un espesor aproximado de 1/4".

Aplicación de gelcoat

Después de haber formado y reforzado las partes, se les aplica gelcoat, esto con la función de crear una barrera que proteja la resina de los rayos UV. Para esto se procede de la siguiente forma: los ingredientes son los siguientes: pigmentos color azul (para la carcasa) y rojo (para el impulsor/rotor), resina de usos generales y catalizadores (MEK). Primero se mezcla la resina isoftálica con el pigmento del color requerido, luego de mezclarlo perfectamente se le aplica el catalizador, y luego se aplica sobre la superficie a cubrir.

Figura 19. **Aplicación de gelcoat**



Fuente: elaboración propia.

2.7. Montaje del equipo

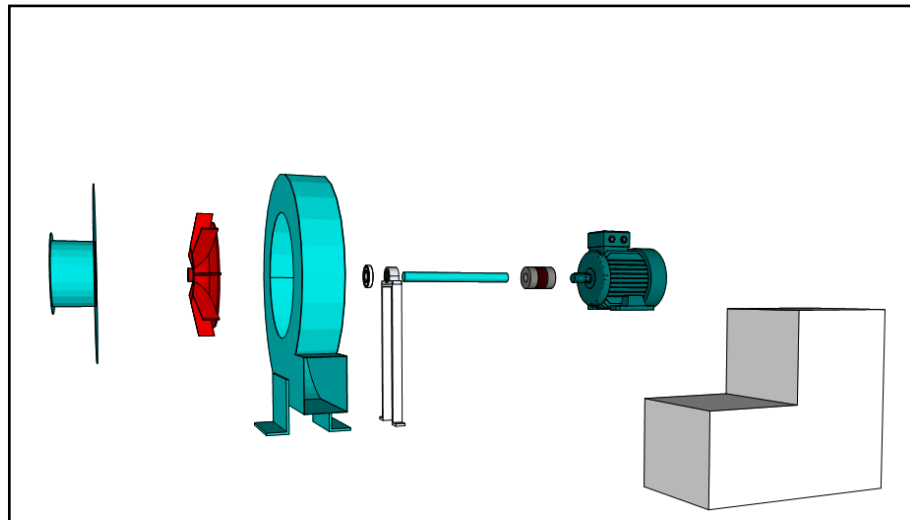
Luego de la fabricación se procederá al armado y montaje del equipo. Este se colocará en una base que contiene la medida del lugar final a colocarse. Esta base se fabricará de fibra de vidrio y se recubrirá con gelcoat color blanco, aquí también es donde se realizaron las pruebas de funcionamiento del soplador.

Procedimiento para montaje del equipo

- Fijación de carcasa sin tapadera en base o soporte.
- Instalación de motor en base de soporte.
- Colocar la chumacera y el cojinete de cerámica en su respectivo lugar.
- Introducir el eje por el lado de ingresos de gases, pero no fijarlo en su posición final.
- Colocar el acople de quijadas tanto en el eje del soplador como en el eje del motor y ajustar los ejes a su posición final.

- Una vez fijo el eje, se procederá a instalar el rotor o impulsor de álabes rectos.
- Colocar la tapadera del soplador una vez que el rotor esté debidamente instalado.
- Instalar el variador de frecuencia con sus respectivos conectores eléctricos.
- Instalar el dámper para regulación de aire en el ducto de descarga.
- Seguidamente se instalará el manómetro diferencial utilizando una manguera transparente y esta se llenará de agua para poder realizar las mediciones respectivas.
- Por último, se instalarán los cables de conexiones eléctricas y se colocará su respectivo switch de encendido y apagado.

Figura 20. **Esquema de armado y montaje de soplador centrífugo**



Fuente: elaboración propia, utilizando SketchUp 2014.

2.8. Resultados de pruebas realizadas

Para validar el soplador se procedió a realizar pruebas para diferentes aperturas del dámper y con cada punto:

Tabla V. **Rpm=1700 T= 25°C (ambiente)**

| Apertura | ΔP mm cda | Vel 1 m/seg | Vel 2 m/seg | Vel 3 m/seg | Vel 4 m/seg | Vel 5 m/seg | Vel Prom. |
|----------|-------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------|
| 100 % | 0 | 9,38 | 16,18 | 10,57 | 9,6 | 14,56 | 11,98 |
| 75 % | 5 | 8,7 | 15 | 9,8 | 8,9 | 13,5 | 11,1 |
| 50 % | 17 | 7 | 12,36 | 7,82 | 7,04 | 10,79 | 9,1 |
| 0 % | 30 | 1,7 | 1,3 | 1,85 | 3,65 | 1,25 | 1,95 |

Fuente: elaboraci3n propia.

Tabla VI. **Rpm=3400 T=25°C (ambiente)**

| Apertura | ΔP mm cda | Vel 1 m/seg | Vel 2 m/seg | Vel 3 m/seg | Vel 4 m/seg | Vel 5 m/seg | Vel Prom. |
|----------|-------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------|
| 100% | 0 | 16,76 | 34,36 | 21,04 | 19,3 | 29,12 | 23,96 |
| 75% | 20 | 17,4 | 30 | 1,6 | 17,8 | 27 | 22,2 |
| 50% | 68 | 14 | 24,72 | 15,64 | 14,08 | 21,58 | 18,2 |
| 0% | 120 | 3,4 | 2,6 | 3,7 | 7,3 | 2,5 | 3,9 |

Fuente: elaboraci3n propia.

Para poder regular el caudal se utiliz3 un dámper adaptado a la salida del soplador. Este dámper tenía una forma circular y un diámetro de 11 cm. Con esto se determina el área de flujo:

$$A = \frac{\pi}{4} * \varphi^2 = \frac{\pi}{4} * 0.11^2 = 0.0095m^2$$

Para determinar el caudal en cada punto se utilizará la siguiente fórmula:

$$Q = v * A$$

Tabla VII. ΔP versus Caudal a 1700 rpm y 25°C

| Apertura | ΔP mm cda | Q1 m3/h | Q2 m3/h | Q3 m3/h | Q4 m3/h | Q5 m3/h | Q Prom. m3/h |
|----------|-----------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|
| 100% | 0 | 320,7 | 553,5 | 361,5 | 328,3 | 497,9 | 41,4 |
| 75% | 5 | 297,5 | 513 | 335,2 | 304,4 | 461,7 | 382,2 |
| 50% | 17 | 239,4 | 422,7 | 267,4 | 240,7 | 369 | 307,84 |
| 0% | 30 | 58,1 | 44,5 | 63,3 | 124,8 | 42,75 | 66,69 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. ΔP versus. Caudal a 3400 rpm y 25°C

| Apertura | ΔP mm cda | Q 1 m3/h | Q 2 m3/h | Q 3 m3/h | Q 4 m3/h | Q 5 m3/h | Q Prom. m3/h |
|----------|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|
| 100% | 0 | 573,19 | 1175,1 | 731,8 | 660 | 995,9 | 819,4 |
| 75% | 20 | 595 | 1026 | 670,3 | 608,7 | 923,4 | 759,2 |
| 50% | 68 | 478,8 | 845,4 | 534,8 | 481,5 | 738 | 622,4 |
| 0% | 120 | 116,3 | 88,9 | 126,5 | 294,6 | 85,5 | 133,4 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **(Promedio) ΔP versus Caudal a 1700 rpm y 25° C**

| ΔP mmcda | Q (m ³ /h) | ΔP inw | Q(cfm) |
|------------------|-----------------------|----------------|--------|
| 0 | 412 | 0 | 242 |
| 5 | 382 | 0.19 | 224 |
| 17 | 307 | 0.66 | 181 |
| 30 | 66 | 1.18 | 39 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **(Promedio) ΔP versus Caudal a 3400 rpm y 25° C**

| ΔP mmcda | Q (m ³ /h) | ΔP inw | Q(cfm) |
|------------------|-----------------------|----------------|--------|
| 0 | 819 | 0 | 481 |
| 20 | 759 | 0.79 | 446 |
| 68 | 622 | 2.67 | 365 |
| 120 | 116 | 4.72 | 68 |

Fuente: elaboración propia.

3. FASE DE DOCENCIA

En esta sección se muestra la documentación resultante del equipo diseñado, así como planes de mantenimiento y parámetros necesario para poder operar el equipo.

3.1. Capacitación a personal para el funcionamiento del equipo

Es de vital importancia que el personal tenga el mayor conocimiento del equipo a utilizarse, para ello es necesario tener cierta documentación, donde puedan encontrarse especificaciones básicas del equipo, por ejemplo medidas, datos de materiales, ensamblaje y datos de funcionamiento como amperaje, presión, rpm, entre otros. Los temas abordados en la capacitación a personal son los siguientes:

- Conceptos de electricidad
 - Parámetros eléctricos (voltaje, amperaje)
 - Equipos para mediciones eléctricas
 - Procedimiento para toma de lecturas eléctricas
- FRP (Fiber Reinforcement Plastic)
 - Tipos de resinas
 - Tipos de fibra de vidrio
 - Resistencia química de las resinas
 - Aplicación de resinas y gelcoat
- Tipos de rodamientos resistentes a la corrosión
 - Ventajas y desventajas de cojinetes de alúmina
 - Ventajas y desventajas de cojinetes de carburo de silicio

3.1.1 Documentación básica del equipo

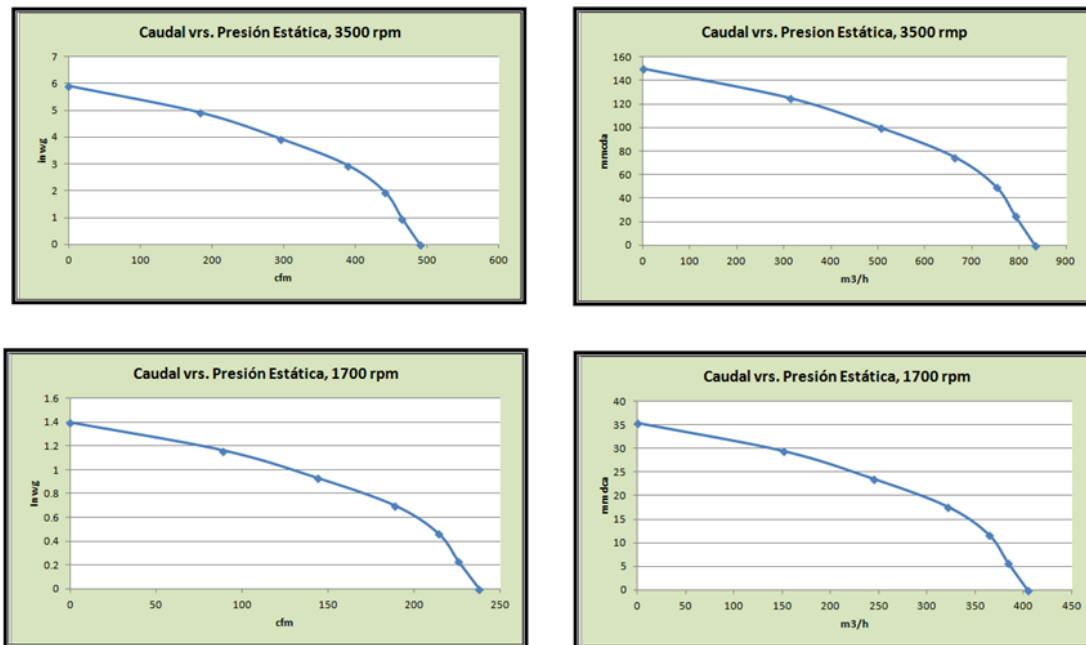
A continuación se presentan datos y especificaciones del equipo, entre ellas datos eléctricos, dimensiones y características.

Tabla XI. Especificaciones técnicas

| Modelo | Caudal a descarga Libre cfm/m3/h | Potencia (HP) | Tensión (V) | Corriente (A) | Velocidad RPM |
|--------|-------------------------------------|---------------|-------------|---------------|---------------|
| RQ-450 | 470/800 | 1 | 220/440 | 3.0/1.5 | 3500 |

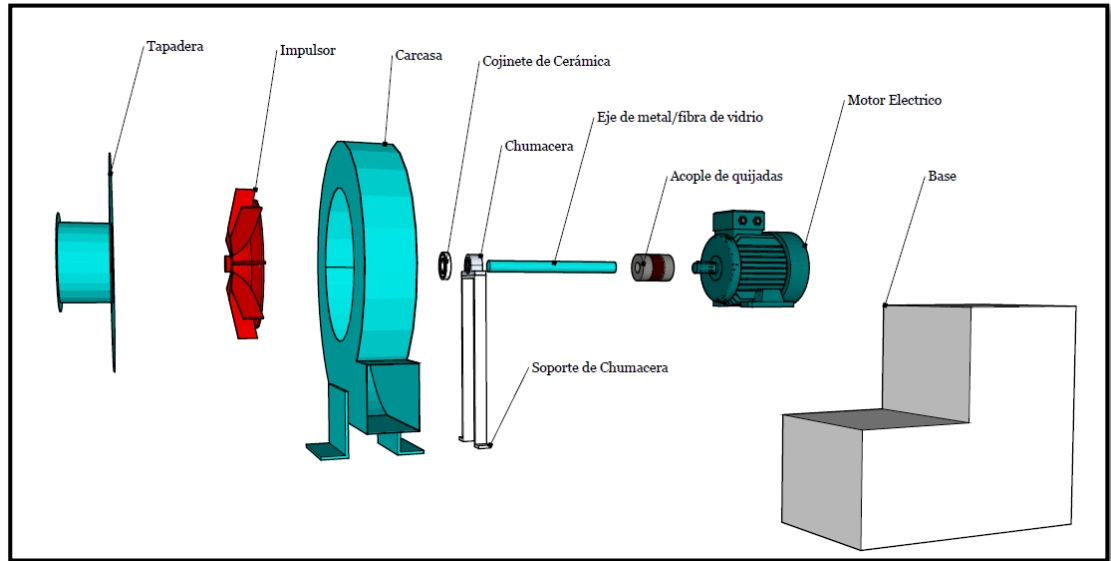
Fuente: elaboración propia.

Figura 21. Curvas características



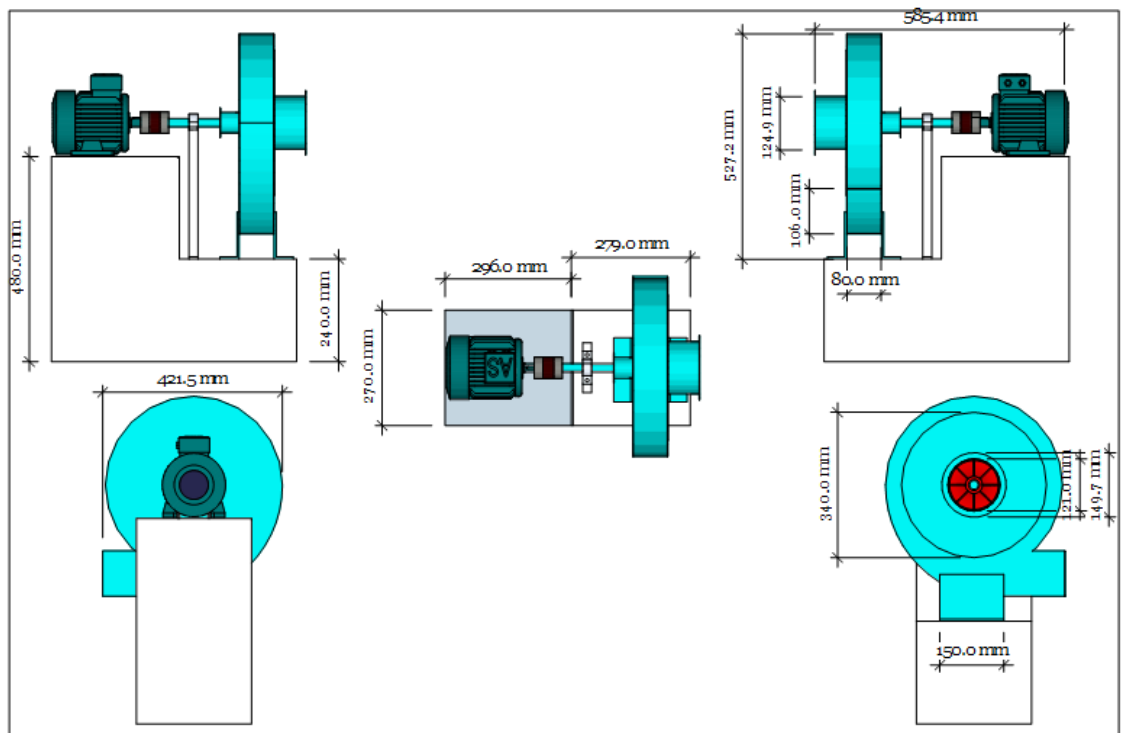
Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel 2007.

Figura 22. Partes del soplador



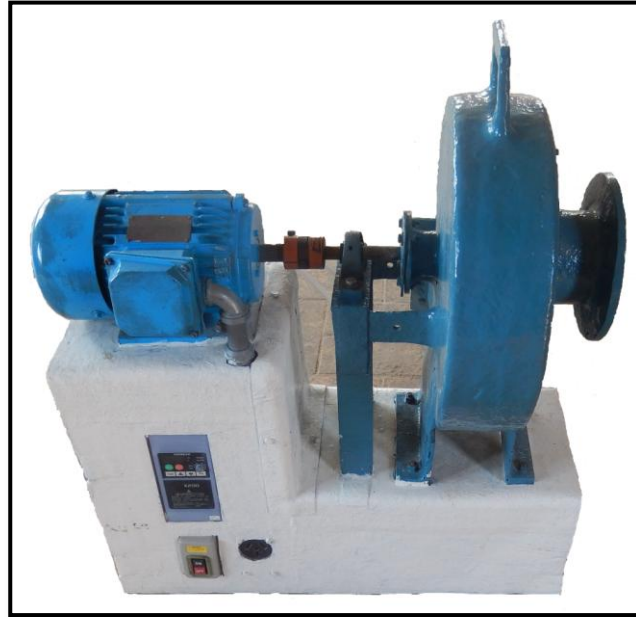
Fuente: elaboración propia, utilizando SketchUp 2014.

Figura 23. Dimensiones del soplador



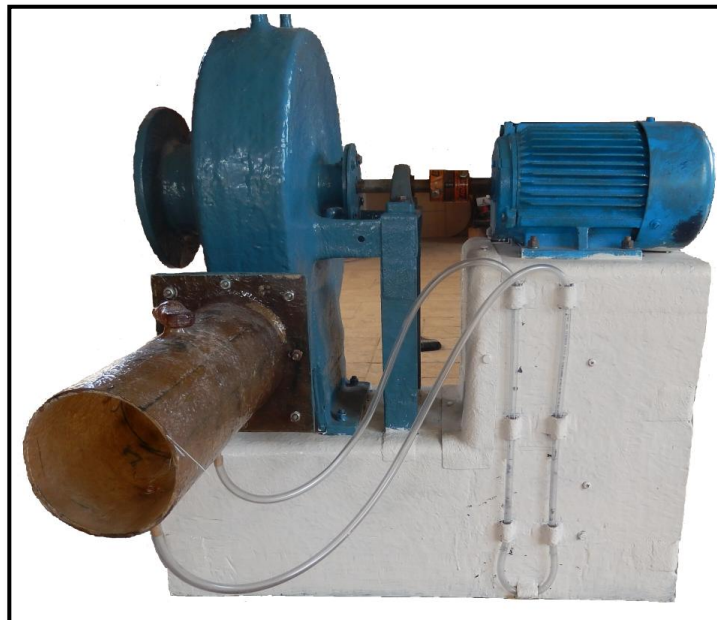
Fuente: elaboración propia, utilizando SketchUp 2014.

Figura 24. **Imagen real del soplador**



Fuente: elaboración propia.

Figura 25. **Imagen real de soplador**



Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Parámetros de funcionamiento

Los parámetros a controlar durante el funcionamiento para detectar alguna falla son los siguientes:

- Revoluciones por minuto (rpm): como tiene instalado un variador de frecuencia, estas se pueden hacer variar desde 0-3500 rpm.
- Intensidad (amperios): como el equipo se conectará a un voltaje de 220 V, este debe consumir a plena carga una corriente de 3 amp. Podría tener un máximo de 15 %, cualquier valor arriba de este se tendrá que atender especialmente, pues podría generar daño en el motor o cojinetes.
- Presión estática (mmcda/inw): la presión estática oscilará en un rango de 0-120 mmcda (0-4,72 inw). Esto dependerá de las rpm utilizados y las caídas de presión que se den en los ductos a inducir o forzar.
- Caudal (m³/h, cfm): este variará desde 0-810 m³/h (0-412 cfm). Esta variable depende de las rpm y la caída de presión del trabajo.

3.1.3. Variables a modificarse

Por medio del variador de frecuencia se modificará la frecuencia y por lo tanto el voltaje, dando como resultado una variación en (rpm). El procedimiento para realizar dicha maniobra se describe a continuación.

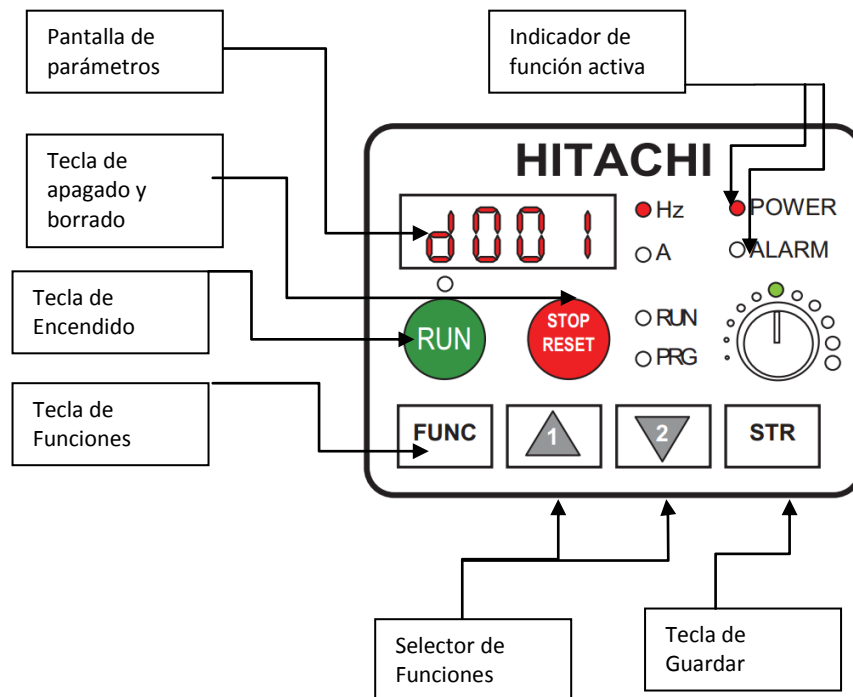
Figura 26. **Variador de frecuencia**



Fuente: elaboración propia.

Antes de describir el procedimiento, se mencionan los botones e indicadores del variador de frecuencia.

Figura 27. **Controles de variador de frecuencia**



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Word

Los parámetros que se controlarán en el equipo son F001, que regula los Hz máximos a trabajar. También los parámetros d001, indicador de Hz en la pantalla de parámetros y d002, que indicará la corriente consumida por el equipo. Todo parámetro extra no se menciona, pues no es el objetivo de este documento. También se puede ver más información en el manual de usuario del variador Hitachi X200. El procedimiento para regular las rpm es el siguiente:

- Una vez se tenga encendida la pantalla, se presiona el botón RUN y se deja que llegue a su máxima velocidad.
- Luego se presiona la tecla FUNC, y los selectores se presionan hasta que aparezca F001 en la pantalla.
- Seguidamente se presiona nuevamente FUNC.
- Con los botones selectores se gradúa a los HZ que se quiere trabajar (0-60).
- Una vez elegido el valor se presiona la tecla STR y deberá aparecer en la pantalla F001, esto significa que se guardó.

3.2. Creación de planes de mantenimiento

Por ser un equipo sencillo, solamente se mantendrán pendiente las siguientes variables, y las inspecciones y mediciones se realizarán en los periodos indicados.

3.2.1. Amperaje

Se medirá el amperaje una vez al día, todo valor arriba del máximo estipulado implicará una revisión al motor. El valor máximo de amperaje deberá ser 3 amperios si está conectado en 240V, con un margen de +/- 10 %, en caso de estar conectado en 480 V, el amperaje deberá de ser 1,5 +/- 10 %.

Para llevar a cabo esta medición, se utilizará un multímetro como el que se mostró en las secciones anteriores.

3.2.2. Temperatura superficial del motor

La temperatura normal de funcionamiento del motor deberá ser menor a 60°C, para ello se necesitará un termómetro infrarrojo. En caso de tener temperatura mayor será necesario revisar el motor, pues esto puede ser causa de cojinetes malos y otra avería que deberá atenderse.

3.2.3. Ruidos

Esta será una inspección al oído, con el tiempo se llega a saber cuál es el ruido normal de un equipo. Cualquier diferencia de ruido debería atenderse. Si los parámetros anteriores están correctos es posible que el ruido se deba al cojinete de cerámica que tiene el soplador. Si el ruido se incrementa puede llegar a trabar el cojinete y ocasionar alto amperaje y calentamiento en el motor.

3.2.4. Vibraciones

Si se dispone de un acelerómetro puede utilizarse dicho equipo para determinar si la vibración está dentro del rango de lo normal (inicial), de lo contrario se debe revisar el impulsor y los cojinetes, pues pueden presentar un desbalance que ocasione dicho fenómeno, pero, al igual que los ruidos, puede llegar a determinarse de acuerdo a experiencia de uso.

3.2.5. Hoja de control de mantenimiento

Tomando en cuenta todas las variables anteriores se realiza a continuación una hoja de control de mantenimiento que se deberá llevar a cabo. Aunque actualmente no se dispone de equipos para medir vibraciones y ruidos, se hará referencia a estos parámetros solo por inspección visual, tacto y auditiva, aunque en un futuro se recomienda poder incluir un acelerómetro y un sonómetro para tener parámetros de medida exactos y poder diagnosticar de mejor manera la falla o daño. El equipo que sí se tiene es el termómetro infrarrojo, para medir la temperatura externa del motor o cualquier parte móvil (de preferencia sería adecuado en un futuro poder contar con una cámara termográfica). En el caso de la medición del amperaje, se cuenta con un multímetro de gancho (ver página 46).

Tabla XII. **Control de soplador centrífugo**

| Fecha: | | | |
|------------------------------|-------|------------------------|------------------|
| Parámetro | Valor | Frecuencia de medición | Equipo utilizado |
| Amperaje | | Diario | Multímetro |
| Voltaje | | Diario | Multímetro |
| Temperatura | | Semanal | Termómetro |
| Ruidos | | Diario | Oído |
| Vibración | | Mensual | Vista, tacto |
| Caudal | | Diario | Anemómetro |
| Caída de presión | | Diario | Manómetro dif. |
| Otro | | | |
| Comentarios y Observaciones: | | | |

Fuente: elaboración propia.

3.2.6. Costo de fabricación de equipo

A continuación se muestra una tabla que representa los costos y los tiempos estimados de fabricación:

Tabla XIII. Costo de fabricación del equipo

| | Nombre de tarea | Costo total | Previsto | Variación de costo | Duración |
|----|--|-------------|------------|--------------------|----------|
| 1 | [-] Diseño, Fabricación y Montaje de Soplador Centrifugo | Q15,282.60 | Q14,647.10 | Q635.50 | 170 días |
| 2 | [-] Fase de Investigación | Q824.00 | Q810.00 | Q14.00 | 40 días |
| 3 | Busqueda de antecedentes | Q240.00 | Q240.00 | Q0.00 | 4 sem. |
| 4 | Investigación de Fabricación de Equipos | Q216.00 | Q210.00 | Q6.00 | 2 sem. |
| 5 | Identificación de Proveedores de materiales | Q368.00 | Q360.00 | Q8.00 | 2 sem. |
| 6 | [-] Fase de Servicio Técnico profesional | Q13,218.60 | Q12,597.10 | Q621.50 | 65 días |
| 7 | Presentación de propuesta y costos | Q314.00 | Q310.00 | Q4.00 | 4 sem. |
| 8 | Entrega de Planos y Materiales | Q360.00 | Q360.00 | Q0.00 | 1 sem. |
| 9 | Fabricación de equipo | Q12,344.60 | Q11,727.10 | Q617.50 | 7 sem. |
| 10 | Supervisión final de fabricación de equipo | Q200.00 | Q200.00 | Q0.00 | 1 sem. |
| 11 | [-] Fase de docencia | Q1,240.00 | Q1,240.00 | Q0.00 | 65 días |
| 12 | Preparación de informe final de proyecto | Q360.00 | Q360.00 | Q0.00 | 4 sem. |
| 13 | Entrega de equipo | Q10.00 | Q10.00 | Q0.00 | 1 sem. |
| 14 | Entrega de documentación técnica del equipo | Q360.00 | Q360.00 | Q0.00 | 2 sem. |
| 15 | Entrega de informe final del Proyecto | Q510.00 | Q510.00 | Q0.00 | 6 sem. |

Fuente: elaboración propia.

Figura 28. Diagrama de Gantt del proceso de fabricación del equipo



Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. El procedimiento para el diseño, fabricación y montaje del soplador para gases corrosivos y calientes resultó adecuado y el equipo cumple con su función en un 95 %.
2. La fibra de vidrio, junto con la resina Dion 382, son materiales adecuados para resistir el HCl a 90° C.
3. El procedimiento para fabricar un soplador es bastante sencillo y los materiales son accesibles para su adquisición.
4. El costo de fabricación, luego de pasar por la fase de investigación, es relativamente bajo, y al comparar con uno comprado a empresas especializadas se puede decir que el costo es menor al 50 %.
5. Las variables más importantes para el diseño de un soplador son el caudal y la caída de presión. En cuanto a dimensiones, lo que define las características del soplador son: dimensiones del rotor, rpm y diámetros de succión y salida.

RECOMENDACIONES

1. Es necesario realizarle balanceo al impulsor del soplador centrífugo para que tenga vibración mínima y alargar la vida de los cojinetes.
2. El motor debe ser protegido para evitar que quede a la intemperie y pueda generar algún daño en el equipo.
3. Es importante seguir investigando otros materiales alternativos para mayor temperatura de gases corrosivos.
4. El equipo deberá utilizarse para el HCl y a la temperatura de 90°C. Si se requiere utilizar para otro producto u otra temperatura, deberá consultarse la resistencia química de los componentes del equipo para evitar averías.
5. Para tener mejor control del mantenimiento es necesario poder adquirir equipos adicionales para mediciones que puedan predecir una falla, entre ellos están un acelerómetro (medir vibración) y un sonómetro (medir ruidos). Ambas variables son importantes y complementan con temperatura del motor y amperaje. De esta manera se puede hacer correctamente el mantenimiento preventivo y, con el historial, podría hacerse el mantenimiento predictivo, y de esta manera optimizar y programar de mejor manera los paros necesarios.

BIBLIOGRAFÍA

1. CANTIZANO, A. Et al. *Análisis comparativo del uso de la ecuación de Euler y el estudio aerodinámico de las máquinas axiales*. Asociación española de ingeniería mecánica. [en línea]. <<https://www.iit.upcomillas.es/docs/IIT-10-072A.pdf>>.[Consulta: 25 de febrero del 2015]. 7p.
2. Design and construction of nyb FRP fans. New York Blower Company. [en línea]. <<http://www.nyb.com/Catalog/Letters/EL-19.pdf>>.[Consulta: febrero de 2015].
3. *Formulas que definen semejanza en sopladores*. [en línea]. <<http://personales.unican.es/rene/doc/Trasparencias%20WEB/Trasp%20Sist%20Ener/00%20Int%20Sistemas%20Energeticos.pdf>>[Consulta: Mayo 2016].
4. GORTA, S.R. Et al. *Turbomachinery design and theory*. New York, Estados Unidos, Marcel Dekker, 2003. 392 p.
5. LECUONA, Antonio. NOGUEIRA, José Ignacio. *Turbomáquinas*. Madrid, Universidad Carlos III. [en línea]. <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-termica-y-de-fluidos/turbomaquinas/material-de-clase-1/turbomaquinas-tema_2_transferencia_de_trabajo.pdf>. [Consulta: 25 de febrero del 2015].

6. MATIAX, Claudio. *Turbomáquinas hidráulicas*. Madrid, España. ICAI. 1975. 1371 p.
7. Principales aplicaciones de sopladores centrífugos. [en línea]. <http://www.chiblosa.com.ar/spanish/herramientas/teoria_de_los_ventiladores.htm>. [Consulta: Enero 2016].
8. Reichhold composite brochures. *Corrosión Guide*. [en línea]. *Dion*. <<http://www.reichhold.com/brochures/composites/Corrosion20guide.pdf>> [Consulta Noviembre 2015].
9. *Resistencia al HCl*. [en línea]. <<http://www.fluinort.cl/2013/wpcontent/uploads/2015/04/TABLAQUIMICAGOMASYMETALES.pdf>>. [Consulta: abril de 2016].
10. TURTON, R.K. *Principles of turbomachinery*. 2da. Edición. Londres, Inglaterra. Chapman & Hall. 1995. 265 p.