



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
MECÁNICO**

**AUTORES: GARCÍA CAÑAR, CARLOS ANDRÉS**

**SALAZAR PALLARES, MARTÍN ANDRÉS**

**TEMA: DISEÑO DE UN REACTOR PARA LA OBTENCIÓN DE NANO-  
PARTÍCULAS METÁLICAS Y FACILIDADES ASOCIADAS**

**DIRECTOR: ING. NARANJO, CARLOS**

**CODIRECTOR: ING. ECHEVERRÍA, JAIME**

**SANGOLQUÍ, 24 DE ABRIL DEL 2014**

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

El proyecto “**DISEÑO DE UN REACTOR PARA LA OBTENCIÓN DE NANO-PARTÍCULAS METÁLICAS Y FACILIDADES ASOCIADAS**” fue realizado en su totalidad por los señores Carlos Andrés García Cañar y Martín Andrés Salazar Pallares, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniera Mecánica.

---

**Ing. Carlos Naranjo**

**DIRECTOR**

---

**Ing. Jaime Echeverría**

**CODIRECTOR**

**Sangolquí, 2014 – 04 – 24**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**  
**Nosotros, CARLOS ANDRÉS GARCÍA CAÑAR Y**

**MARTÍN ANDRÉS SALAZAR PALLARES**

**DECLARAMOS QUE:**

La tesis / proyecto de grado titulado “**DISEÑO DE UN REACTOR PARA LA OBTENCIÓN DE NANO-PARTÍCULAS METÁLICAS Y FACILIDADES ASOCIADAS**”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas y notas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico de la tesis/proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 2014 – 04 – 24

---

Carlos Andrés García Cañar

---

Martín Andrés Salazar Pallares

1721641403

1719110957

## AUTORIZACIÓN

Nosotros, **CARLOS ANDRÉS GARCÍA CAÑAR Y  
MARTÍN ANDRÉS SALAZAR PALLARES**

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE) la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del proyecto de grado titulado “**DISEÑO DE UN REACTOR PARA LA OBTENCIÓN DE NANO-PARTÍCULAS METÁLICAS Y FACILIDADES ASOCIADAS**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 2014 – 04 – 24

---

Carlos Andrés García Cañar

1721641403

---

Martín Andrés Salazar Pallares

1719110957

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto a mi familia, por todo el apoyo incondicional que me brindaron en cada etapa de mi vida y por todas las enseñanzas que ayudaron a moldear el camino de vida por el cual transito diariamente. Les dedico este logro con mucho cariño y amor porque gracias a ellos he logrado culminar ésta meta y simplemente porque son lo más importante de mi vida y se lo merecen.

Carlos Andrés García Cañar

## DEDICATORIA

A mis padres principal fuente de motivación y apoyo, las personas más importantes en toda mi vida, la culminación de este proyecto se las dedico a ustedes.

A toda mi familia, mi hermana, mis abuelos, mis tíos, sin su apoyo incondicional no sería la persona que soy.

A mis compañeros y amigos, cada una de esas personas que tienen un significado especial en mi vida.

A mis actuales jefes, los cuales son una parte fundamental en mi formación profesional.

A cada una de las personas que participaron en este proyecto.

A la institución que me ha formado como ingeniero y me brindado las herramientas necesarias para ser un buen profesional, la Escuela de las Fuerzas Armadas ESPE.

Martín Andrés Salazar Pallares

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios, a mis padres y abuelitos por todo el apoyo e impulso que me ofrecieron para finalizar este proyecto y así poder conseguir mi título, el cual me permitirá proseguir y desarrollarme en mi vida profesional. Agradezco a todas las personas que invirtieron recursos y tiempo valioso en la culminación de este proyecto; esperando que el beneficio producido por el mismo lo pueda disfrutar todo el pueblo ecuatoriano.

Carlos Andrés García Cañar

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer de manera especial a mis padres, gracias a ellos me he convertido en la persona que soy, han sido un inmenso apoyo para mí en todo sentido, son fuente de mi inspiración y un ejemplo diario de trabajo duro.

Al resto de mi familia, mi hermana, mis abuelos, mis tíos, cada uno de ellos ha sido una gran ayuda. Gracias por sus consejos, gracias por ser un apoyo incondicional.

A mi director y codirector, gracias por sus tutorías, por ayudarnos con su experiencia, corrigiendo nuestros errores y resaltando nuestros aciertos.

A la empresa Plastex S.A., a mi jefe Ing. Edwin Bermúdez, al Gerente General y tío mío, Ing. Gastón Burgaentzle. Gracias por su comprensión y por permitirme realizar la difícil tarea de trabajar y desarrollar la tesis al mismo tiempo.

Quiero agradecer al director del CEINCI, el cual confió en nosotros y nos dio la oportunidad de realizar este proyecto para obtener el título de Ingeniero Mecánico.

Quiero agradecer a cada una de las personas que participaron indirecta o directamente de este proyecto.

Quiero agradecer a la Escuela de las Fuerzas Armadas ESPE, por dotarme de conocimiento, por formarme como profesional y por todas las experiencias maravillosas que pase durante mi vida universitaria.

Martín Andrés Salazar Pallares



## INDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO .....	i
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD .....	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	vi
INDICE DE FIGURAS:.....	xii
INDICE DE TABLAS: .....	xv
LISTADO DE ANEXOS:.....	xviii
RESUMEN .....	xix
ABSTRACT.....	xx
CAPÍTULO I.....	1
ANTECEDENTES DE ESPE-CEINCI .....	1
1.1 HISTORIA.....	1
1.1.1 HISTORIA ESPE-CEINCI .....	1
1.2 MISIÓN .....	3
1.3 VISIÓN.....	3
1.4 VALORES.....	4
1.4.1 VALORES ÉTICOS.....	4
1.4.2 VALORES PROFESIONALES.....	4
1.5 POLÍTICA DE CALIDAD .....	4
1.6 OBJETIVOS.....	5
1.6.1 Objetivo General:.....	5
1.6.2 Objetivos Específicos:.....	5

	ix
CAPÍTULO II.....	6
MARCO TEÓRICO .....	6
2.1 PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN DE NANO- PARTÍCULAS CEROVALENTES DE HIERRO .....	6
2.2 REACTORES .....	11
2.2.1 DESCRIPCIÓN.....	11
2.2.2 DATOS TÉCNICOS .....	16
2.3 FACILIDADES ASOCIADAS .....	17
2.3.1 DESCRIPCIÓN.....	17
2.3.2 DATOS TÉCNICOS .....	22
2.4 INSTRUMENTACIÓN .....	22
2.4.1 DESCRIPCIÓN.....	22
2.4.2 DATOS TÉCNICOS .....	41
2.5 NORMATIVAS APLICABLES .....	52
2.6 MODELOS (ESCALAMIENTO) .....	53
2.6.1 SIMILITUD QUÍMICA.....	53
2.6.2 Formulación de modelos matemáticos: .....	54
2.6.3 Método estadístico de escalamiento:.....	56
CAPÍTULO III .....	57
DISEÑO FABRICACIÓN Y PRUEBAS DEL MODELO A ESCALA .....	57
3.1 Parámetros del Diseño del Modelo .....	57
3.2 Diseño del Tanque de Borihidruro .....	61
3.2.1 Diseño Mecánico .....	61
3.2.2 Instrumentación .....	64
3.3 Diseño del Tanque Carboxi-metil celulosa:.....	64

3.3.1	Diseño Mecánico .....	X 64
3.3.2	Diseño Térmico (Selección de Calentador) .....	67
3.3.3	Instrumentación .....	68
3.4	Diseño del Reactor: .....	68
3.4.1	Diseño Mecánico .....	68
3.4.2	Instrumentación .....	69
3.5	Fabricación: .....	69
3.5.1	Fabricación de los Tanques .....	69
3.5.2	Implementación .....	73
3.6	Pruebas de Funcionamiento: .....	79
3.6.1	Tanque Carboxi-Metil Celulosa.....	79
3.6.2	Tanque Borihidruro .....	83
3.6.3	Reactor .....	84
CAPÍTULO IV.....		88
DISEÑO DEL PROTOTIPO .....		88
4.1	Características y Parámetros:.....	88
4.1.1	Temperatura: .....	88
4.1.2	Presión:.....	88
4.1.3	Volumen:.....	89
4.1.4	Forma (Relacionada con Volumen) .....	89
4.2	Diseño de Tanques:.....	92
4.2.1	Tanques en Plástico (Según ASME BVPC Section X) con presión externa.....	92
4.2.2	Tanques en Plástico (Según ASME BVPC Section X) con presión interna.....	96

	xi
4.2.3 Tanques en Acero Inoxidable (Según ASME BVPC Section VIII-DIV1) con presión externa .....	97
4.2.4 Tanques en Acero Inoxidable (Según ASME BVPC Section VIII-DIV1) con presión interna. ....	98
4.2.5 Diseño de Facilidades Asociadas: .....	99
4.3 Diseño de un Sistema de Control: .....	104
CAPÍTULO V.....	107
ESTUDIO DE COSTOS.....	107
CAPÍTULO VI.....	111
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	111
ANEXOS	116

## INDICE DE FIGURAS:

Figura 1: Estructura de Nanopartícula ZVI.....	6
Figura 2: Encapsulación y estabilización de un contaminante de Cobre .....	8
Figura 3: Matraz kitasatos de 250ml .....	10
Figura 4: Reactor Intermitente .....	12
Figura 5: Reactor Continuo .....	12
Figura 6: Batería de Reactores Continuos de tanque agitado .....	13
Figura 7: Reactor Multitubular y de serpentin simple tubular.....	14
Figura 8: Reactor continuo por etapas.....	14
Figura 9: Sección Motor Eléctrico .....	18
Figura 10: Disposición para un tanque de agitación .....	20
Figura 11: Tipos de impulsores (a)propela marina de 3 aspas (b) Impulsor de paletas vertical con dos aspas (c) Turbina con 6 paletas rectas verticales (d) Turbina con aspas verticales curvas (e) Turbinas con aspas inclinadas.....	20
Figura 12: Patrones de flujo en propela marina, turbina y paleta.....	21
Figura 13: Juego de llaves de Nivel y Tubo de Vidrio .....	23
Figura 14: Indicador de Nivel a Reflexión .....	24
Figura 15: Indicador de Nivel Transparente .....	24
Figura 16: Indicador de Nivel Bi-color .....	25
Figura 17: Indicador de Nivel Magnético.....	26
Figura 18: Manómetro con toma vertical sin glicerina.....	27
Figura 19:Manómetro tipo Bourdon .....	28

Figura 20: Bourdon Espiral en un transmisor de presión por balance de movimiento.....	28
Figura 21: Bourdon Helicoidal.....	29
Figura 22: Flexible en múltiples capas Anidados.....	29
Figura 23: Sensor Tipo Fuelle.....	30
Figura 24: Columna de líquido tipo U.....	31
Figura 25: Columna de Líquido Tipo Cisterna .....	32
Figura 26: Columna Inclínada .....	33
Figura 27: Manómetro de McLeod.....	34
Figura 28: Transmisor de equilibrio de fuerzas .....	34
Figura 29: Detector de inductancia .....	35
Figura 30: Transformador Diferencial .....	35
Figura 31: Detector fotoeléctrico.....	35
Figura 32: Transductores Resistivos.....	36
Figura 33: Transductores de inductancia variable .....	36
Figura 34: Transductores Capacitivos .....	37
Figura 35: Termómetro de vidrio en líquido .....	39
Figura 36: Termómetro de resistencia de platino.....	40
Figura 37: Termopar .....	41
Figura 38: Esquema Resistencias Tipo Abrazadera .....	67
Figura 39: Fotografía Tanque CMC con resistencias.....	68
Figura 40: Fotografía Materia prima para reactor y tanque de Borhidruro ....	70
Figura 41: Fotografía tanque de Borhidruro al finalizar proceso de fabricación.....	71

Figura 42: Fotografía de Tanque de Carboxi al finalizar proceso de fabricación.....	72
Figura 43: Fotografía de Reactor al finalizar proceso de fabricación.....	73
Figura 44: Esquema de Implantación .....	73
Figura 45: Gráfica relación entre el Número de Potencia y el Número de Reynolds .....	75
Figura 46: Fotografía Prueba Neumática Tanque Carboxi .....	80
Figura 47: Fotografía Manómetro de Prueba Tanque Carboxi .....	80
Figura 48: Gráfica Temperatura vs. Tiempo calentamiento tanque Carboxi.....	82
Figura 49: Fotografía Prueba de Calentamiento Tanque Carboxi.....	82
Figura 50: Fotografía de generación de vacío en Reactor.....	85
Figura 51: Fotografía Experimento Nano-partículas .....	85
Figura 52: Fotografía Nano-partículas finales en Matraz de 100ml .....	86
Figura 53: Distribución de tamaño de Nano-partículas.....	86
Figura 54: Datos Técnicos Tanques Titán Plastigama con anillos rigidizadores.....	94
Figura 55: Motor eléctrico .....	99
Figura 56: Esquema Agitación Tanque Borihidruro y tanque Carboxi .....	100
Figura 57: Esquema Agitación Tanque Nano-Partículas .....	100
Figura 58: Esquema Tanque Enchaquetado .....	101

## INDICE DE TABLAS:

Tabla 1: Datos Técnicos motores eléctricos marca WEG.....	22
Tabla 2: Tabla de características de los elementos mecánicos.....	30
Tabla 3: Tabla de sensores de presión electromecánicos.....	38
Tabla 4: Tabla de las propiedades de los líquidos de medición de temperatura .....	47
Tabla 5: Tabla de tipos de termómetros por resistencia de platino.....	47
Tabla 6: Tabla de Tipos de termopares .....	48
Tabla 7: Resumen de parámetros de diseño Tanque Borihidruro Modelo a Escala.....	59
Tabla 8: Resumen de parámetros de diseño Tanque Carboxi – Metil Celulosa Modelo a Escala .....	60
Tabla 9: Resumen de parámetros de diseño Tanque Reactor Nano-partículas Modelo a Escala.....	61
Tabla 10: Resumen de Cálculo de diseño de tanque de Borihidruro Modelo a escala .....	63
Tabla 11: Tabla de Parámetros de Operación de Manómetro Winters .....	64
Tabla 12: Resumen de Cálculo de diseño de tanque de Carboxi-Metil Celulosa Modelo a escala.....	66
Tabla 13: Resumen de Cálculo de diseño de tanque de Nano-partículas Modelo a escala.....	69
Tabla 14: Tabla de Prueba de Calentamiento Tanque Carboxi .....	81
Tabla 15: Tabla distribución de tamaño nano-partículas en experimento.....	87
Tabla 16: Resumen de parámetros de diseño Tanque Borihidruro Plástico Prototipo .....	89



Tabla 17: Resumen de parámetros de diseño Tanque Borihidruro Acero	
Prototipo .....	90
Tabla 18: Resumen de parámetros de diseño Tanque Carboxi Acero	
Prototipo .....	90
Tabla 19: Resumen de parámetros de diseño Tanque Nano-partículas	
Plástico Prototipo .....	91
Tabla 20: Resumen de parámetros de diseño Tanque Nano-partículas	
Acero Prototipo .....	91
Tabla 21: Tabla de Valores de Factores Radiales Esféricos para cabezas elipsoidales .....	92
Tabla 22: Resumen de Cálculo Tanque Borihidruro Prototipo Plástico sin anillos rigidizadores a presión externa.....	93
Tabla 23: Resumen de Cálculo Tanque Borihidruro Prototipo Plástico con anillos rigidizadores a presión externa.....	94
Tabla 24: Resumen de Cálculo Tanque de Nano-partículas Prototipo sin anillos rigidizadores a presión externa.....	95
Tabla 25: Resumen de Cálculo Tanque Nano-partículas Prototipo con anillos rigidizadores a presión externa.....	95
Tabla 26: Resumen de Cálculo Tanque Borihidruro Prototipo a presión interna.....	96
Tabla 27: Resumen de Cálculo Tanque Nano-partículas Prototipo a presión interna.....	96
Tabla 28: Resumen de Cálculo de diseño a presión externa de tanque de Carboxi-Metil Celulosa y Borihidruro de acero en Prototipo .....	97

Tabla 29: Resumen de Cálculo de diseño a presión externa de tanque de Nano-partículas de acero en Prototipo .....	97
Tabla 30: Resumen de Cálculo de diseño a presión interna de tanque de Carboxi-Metil Celulosa y Borihidruro de acero en Prototipo .....	98
Tabla 31: Resumen de Cálculo de diseño a presión interna de tanque de Nano-partículas de acero en Prototipo .....	98
Tabla 32: Tabla Datos Motor Eléctrico.....	99
Tabla 33: Tabla Datos de Sistema de Enfriamiento Tanque Carboxi .....	101
Tabla 34: Tabla Factores de Agitadores para coeficiente convección en tanques .....	102
Tabla 35: Tabla Resumen de Cálculo de Sistema de Enfriamiento Tanque Carboxi Prototipo .....	104
Tabla 36: Tablas Estudio de Costos Modelo a Escala.....	108
Tabla 37: Tabla Resumen Estudio de Costos Prototipo Plástico .....	109
Tabla 38: Tabla Resumen Estudio de Costos Prototipo Acero Inoxidable..	110

## **LISTADO DE ANEXOS:**

**ANEXO A:** Planos Modelo a Escala

**ANEXO B:** Cálculos del Modelo a Escala

**ANEXO C:** Planos de Prototipo

**ANEXO D:** Cálculos del Prototipo

**ANEXO E:** Presupuesto desglosado del Prototipo

**ANEXO F:** Procedimiento de Elaboración de Nano-partículas (Diagrama de flujo)

**ANEXO G:** Catálogos Varios

## RESUMEN

Las nanopartículas tienen una gran utilidad en la remediación ambiental, siendo su objetivo primordial la remoción de contaminantes producidos por la industria. El propósito del proyecto es producir nano-partículas a nivel industrial, para lo cual se requiere de un sistema que cumpla con todos los parámetros, aspectos y requisitos en el proceso de preparación de nanopartículas; el sistema consta de tres (3) recipientes a presión (diseñados a presión interna y externa) y cada recipiente posee la instrumentación respectiva para medir los parámetros del proceso y mantenerlo bajo control. Primero se diseña y construye un prototipo del sistema que permitirá medir las variables del proceso y verificar la factibilidad de expandirlo a un nivel industrial. Además, una parte innovadora e investigativa es el estudio de materiales no metálicos para la construcción del sistema. El duralón es un material muy versátil y útil para la construcción del prototipo pero para la construcción del sistema a nivel industrial se requiere acero inoxidable ya que es un material muy comercial, y el uso del mismo representaría costos económicos más bajos; además presenta facilidad en el maquinado y varias características necesarias en éste proceso: Excelente resistencia a la corrosión, excelente factor de higiene y limpieza, fáciles de transformar, excelente soldabilidad, no se endurecen por tratamiento térmico, se pueden utilizar tanto a temperaturas criogénicas como a elevadas temperaturas.

**Palabras clave:** Diseño de Recipientes a Presión / Obtención de Nanopartículas metálicas / Remediación Ambiental / Hierro Cero-Valente / Recipiente de material plástico y metálico

## ABSTRACT

Nanoparticles have great utility in environmental remediation, being its main target the removal of industry pollutant. The purpose of this project is the nanoparticles production at industrial level; for which it requires a system that meets all the parameters, aspects and requirements of the process of nanoparticles production. The system has three pressure vessels (design with internal and external pressure) and each vessel has the appropriate instrumentation for measuring all the parameters of the process and keep it under control. First, must be designed and built a prototype of the system which allows measuring all the variables of the process and verifying the feasibility of expanding it at industrial level. Besides, the innovation of this project is the investigation of using non-metallic materials in the construction of the system (pressure vessels). It is feasible the nanoparticles production at industrial level and that duralon (nylon – polyamide) is a very versatile and useful material for constructing a prototype; but the industrial level system requires stainless steel due to is a very commercial material, therefore it can be save a big amount of money in the construction; also the stainless steel has many indispensable characteristic for this process: Excellent corrosion resistant, easy cleaning, machinability, excellent weldability, no hardening with heat treatment and it can be used in very low or high temperatures.

**Key Words:** Pressure Vessel Design / Metallic nano-particles production / Environmental remediation / Zerovalent Iron / Vessels in plastic and metallic material

# CAPÍTULO I

## ANTECEDENTES DE ESPE-CEINCI

### 1.1 HISTORIA

#### 1.1.1 HISTORIA ESPE-CEINCI

El Centro de Investigación Científica, CEINCI, es multidisciplinario en virtud de que la investigación científica moderna, sin que importe el campo de investigación, demanda del concurso de especialistas en varias disciplinas científicas.

Las características del CEINCI constituyen un factor de eficiencia y el medio más eficaz para resolver los problemas de investigación y así ofrecer un apoyo efectivo a los sectores productivos.

Para satisfacer los objetivos de investigación, el Centro de Investigación Científica cuenta con profesionales calificados, además de instalaciones modernas para el desarrollo de proyectos de investigación.

Con el fin de mantener y robustecer los niveles de conocimiento actualizados, se realizan seminarios para divulgar los resultados de las investigaciones.

Otro objetivo fundamental que persigue el Centro es el de contribuir a la actualización del conocimiento científico en áreas específicas. Para ello, el Centro lleva a cabo congresos, seminarios y otros eventos de carácter científico. Además, publica revistas y monografías sobre tópicos específicos de la ciencia. La nanotecnología en todo el mundo es un fenómeno reciente.

Desde los años 90, un reducido número de investigadores universitarios ha seguido su evolución activamente en el ámbito de las ciencias naturales y la ingeniería. Transcurridos los años, la palabra nanotecnología tiene una mayor circulación en el lenguaje cotidiano, a veces para sobredimensionar sus capacidades de generar bienestar, otras para atribuirle efectos nocivos incontrolables. Para evitar estos extremos, el papel de los investigadores es fundamental porque además de tener la competencia académica para tratar el tema deben ser la fuente de información certera y fundamentada para el público no especialista. A nivel mundial existen grupos locales investigando sobre la aplicación de nanotecnologías a problemas de contaminación ambiental.

Una de las aplicaciones más importantes que se avizora para la nanotecnología es la mejora de la calidad del agua de consumo humano y la sanidad asociada a su distribución, almacenamiento y disposición final.

El CEINCI a través del Dr. Cumbal ha realizado investigaciones y trabajos que contribuyen a la remediación ambiental, a través de las nano-partículas.

El Proceso de producción de nano-partículas es un experimento que se realiza en los laboratorios del CEINCI, en instrumentos especializados como son: matraces, tubos de ensayo, buretas, en fin; materiales de altísima calidad y a condiciones ideales, obteniéndose resultados muy buenos.

La aplicación de nano-partículas para la remediación ayudara a evitar que las aguas subterráneas se contaminen debido al nivel tóxico que contienen los metales pesados al mezclarse con el líquido vital. En el agua, estos metales se vuelven letales para muchas comunidades.

El Ecuador a través del Plan Nacional de Minería, quiere orientar y promover dicha actividad, mediante programas de desarrollo a corto, mediano y largo plazo. Con la aplicación de este plan las actuales y futuras autoridades mineras, insertarán a la actividad minera en el proceso productivo, de manera que en el corto plazo se sustituyan las importaciones de materias primas minerales para la industria y se genere desarrollo y bienestar para los ecuatorianos con estricto respeto al medio ambiente y a la comunidad. De manera que hay que tener tecnología preparada para hacer la remediación ambiental del proceso.

## **1.2 MISIÓN**

Ser un grupo de investigadores competitivos líderes a nivel nacional, mediante la prestación de servicios de calidad y la producción científica y tecnológica de alto nivel para contribuir al bienestar y seguridad de la sociedad.

## **1.3 VISIÓN**

Ser un grupo de investigadores líderes en Latinoamérica que genere investigación del más alto nivel y que ayude a resolver problemas prioritarios de la región, con la participación de redes de investigadores nacionales e internacionales.



## 1.4 VALORES

### 1.4.1 VALORES ÉTICOS

- ✚ Honestidad a toda prueba.
- ✚ Respeto a las personas y los derechos humanos.
- ✚ Práctica de la justicia, solidaridad y lealtad.
- ✚ Práctica de la verdadera amistad y camaradería.
- ✚ Cultivo del civismo y respeto al medio ambiente.
- ✚ Compromiso con la institución y la sociedad.
- ✚ Identidad institucional.
- ✚ Liderazgo y emprendimiento.
- ✚ Alta conciencia ciudadana

### 1.4.2 VALORES PROFESIONALES

- ✚ Respeto a la libertad de pensamiento.
- ✚ Orden, puntualidad y disciplina conscientes.
- ✚ Búsqueda permanente de la calidad y excelencia.
- ✚ Igualdad de oportunidades.
- ✚ Reconocimiento a la voluntad, creatividad y perseverancia.
- ✚ Pensamiento crítico.

## 1.5 POLÍTICA DE CALIDAD

- ✚ Incrementar el conocimiento y las innovaciones tecnológicas generadas por la institución en aporte al desarrollo del país.

✚ Ampliar la cobertura e incrementar la contribución de la institución a la solución de problemas comunitarios y a la satisfacción de necesidades del sector productivo

## **1.6 OBJETIVOS**

### **1.6.1 Objetivo General:**

Diseñar un reactor para la obtención de nano-partículas y facilidades asociadas.

### **1.6.2 Objetivos Específicos:**

- Diseñar un modelo escala del Reactor de Nano-partículas metálicas y sus facilidades asociadas, en base a normativa aplicable.
- Investigar y determinar un material no metálico para los recipientes aplicable para la elaboración de nano-partículas.
- Medir parámetros del modelo a escala del Reactor mediante instrumentación apropiada.
- Establecer un procedimiento para una correcta elaboración de nano-partículas.
- Diseñar un prototipo industrial del Reactor de Nano-partículas metálicas y sus facilidades asociadas, con los parámetros determinados por el Modelo a escala.

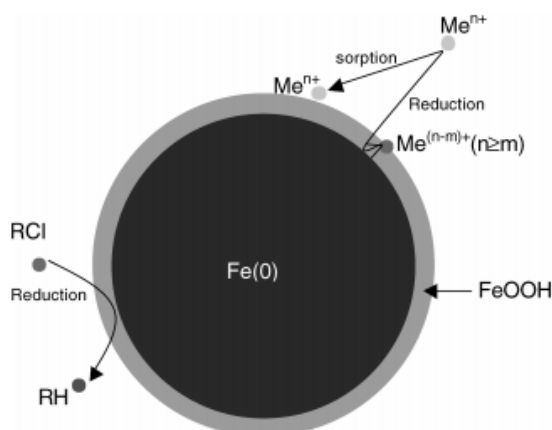
## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN DE NANO-PARTÍCULAS CEROVALENTES DE HIERRO

##### Nano-Partículas Cero Valentes de Hierro:

Son partículas de Hierro de valencia cero, las cuales poseen un diámetro hidrodinámico menor a 100nm, y tienen una estructura típica de núcleo – coraza, como se indica en la figura 1. (Li, 2006)



**Figura 1: Estructura de Nanopartícula ZVI**

Fuente: (Li, 2006)

El núcleo consiste principalmente de Hierro cero Valente y provee el poder reductor para reaccionar con contaminantes ambientales. La capa exterior está compuesta en gran mayoría de óxidos / hidróxidos de hierro formados a partir de la oxidación del hierro de valencia cero, esta capa proporciona medios para formaciones químicas complejas. (Li, 2006)

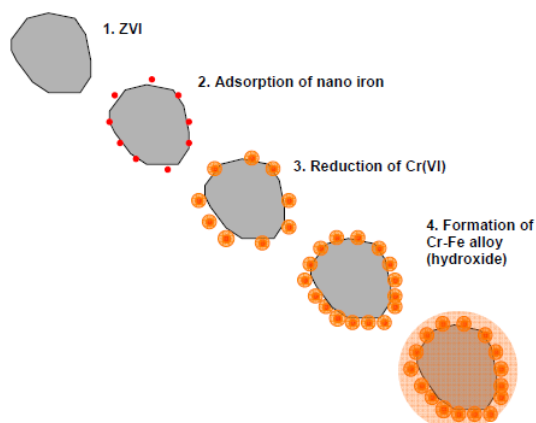
La superficie masiva y las propiedades únicas de las nano-partículas han enfocado mucha investigación hacia la remediación ambiental. La amplia gama usos de nano-partículas en considerados ambientales han sido las siguientes: Nano-partículas de  $\text{TiO}_2$  para tratamientos foto-catalíticos de óxidos nitrosos en emisiones de plantas, la oxidación provocada de nano-partículas metálicas para el tratamiento de contaminantes orgánicos en aguas servidas. (Üzüm, 2008)

En general las nano-partículas pueden tratar los siguientes contaminantes en un marco geológico:

- Contaminantes
  - Compuestos Alifáticos Halogenados
  - Compuestos Aromáticos Halogenados
  - Herbicidas y pesticidas Halogenados
  - PCB (Benifenilos policlorados)
  - Nitro-aromáticos
  - Metales
- Condiciones Geológicas
  - Arena
  - Limo
  - Rocas pulverizadas
  - Escombros
  - Sedimentos

La nano-partícula funciona encapsulando el contaminante metal, es la capa encapsuladora inmoviliza el contaminante hasta por 30 años. Su

proceso de encapsulamiento puede ser ilustrado mediante la siguiente figura.



**Figura 2: Encapsulación y estabilización de un contaminante de Cobre**

Fuente: (Üzüm, 2008)

La inyección de nano-partículas de Hierro cero Valente en la remediación ambiental ofrece la ventaja de la aplicabilidad en las fuentes de contaminación en acuíferos profundos o en áreas ocupadas por tierras en un tiempo relativamente corto. Sin embargo para que las partículas tengan esta propiedad su tamaño debe estar en el orden del nano es decir por debajo de la escala microscópica, para poder movilizarse a la zona donde se quiere debe ser controlado. (Üzüm, 2008)

Existen tres técnicas más usadas para la elaboración de las nano-partículas:

- Molido de alta energía de esferas metálicas de Hierro
- Reducción de fase de gas de óxidos de Hierro mediante  $H_2$ .
- Reducción de fase acuosa de sales de hierro mediante Borohidruro de Sodio ( $NaBH_4$ ).

**Borihidruro BH<sup>4-</sup>:**

Es un agente reductor de carácter selectivo usado en la síntesis de fármacos y otros compuestos orgánicos. Es un sólido blanco, que se suele encontrar en forma granulada (polvo). Es soluble en alcoholes y agua, aunque reacciona con ellos con relativa lentitud (acentuada si se añade una base fuerte) formando hidrógeno (riesgo de explosión). (Merck, 2006)

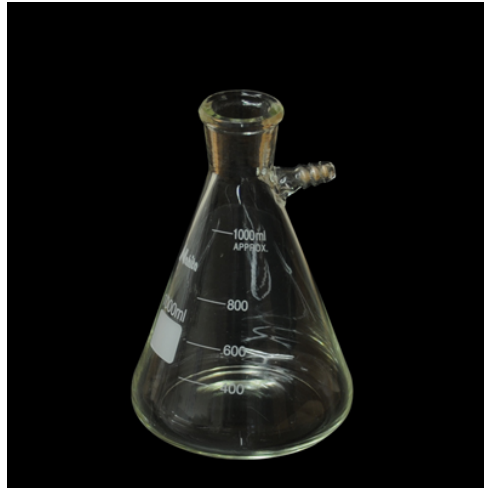
**Carboximetil Celulosa (CMC):**

Polvo granulado o fibroso, blanco o ligeramente amarillento o grisáceo, ligeramente higroscópico, inodoro e insípido, preparado a partir de la celulosa encontrada en la madera y posteriormente modificada químicamente. Usos muy diversos, principalmente como agente espesante, pero también como producto de relleno, fibra dietética, agente antigrumoso y emulsificante. La carboximetilcelulosa es muy soluble, y puede ser fermentada en el intestino grueso. Altas concentraciones pueden causar problemas intestinales, tales como hinchazón, estreñimiento y diarrea. También reduce ligeramente el nivel de colesterol en la sangre. La carboximetilcelulosa es la sal parcial de sodio de un éter carboximetílico de celulosa. (Sydney2000, s.f.)

**Procedimiento de Elaboración:**

Para la elaboración de Nano-partículas cero valentes de hierro ZVI (Zerovalent Iron Nanoparticles), se debe modificar la reducción de borihidruro a través de la CMC (Carboximetil celulosa), como una pre-aglomeración estabilizadora. En resumen la preparación es llevada a cabo

en un Matraz de 250 ml, que debe estar unido a una línea de vacío. (Feng, 2007)



**Figura 3: Matraz kitasatos de 250ml**  
Fuente: (Catálogos Matracas Kitasatos, s.f.)

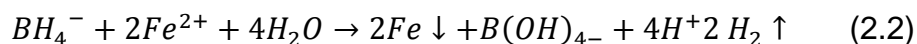
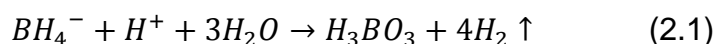
Se debe usar agua desionizada para realizar una solución de CMC, que debe ser purgada por medio de nitrógeno ( $N_2$ ), para por 15 min para remover el oxígeno disuelto. (Feng, 2007)

A su vez se prepara una solución de 10ml de  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ , que debe ser suministrada a la solución estabilizadora de 100 ml, para producir la concentración de  $Fe^{2+}$  y CMC. Posteriormente se somete la mezcla a 15 min de  $N_2$  por 15 minutos, para  $Fe^{2+}$ -CMC compleja. Para el experimento se puede utilizar bien 0.1 o 1 g/L. (Feng, 2007)

Las Nanopartículas ZVI se generan reduciendo iones de  $Fe^{2+}$ , usando una solución de 10 ml de Borihidruro (introducida a 5 ml/min) a una relación molar de 2.0 de  $BH_4^-/Fe^{2+}$ . Para asegurar el eficiente uso de  $BH_4^-$ , el sistema dentro del reactor debe ser operado bajo condiciones anóxicas y esto se logra sometiéndolo a una línea de vacío. En el reactor la solución debe ser agitada a una velocidad de alrededor de 230 rpm, hasta que la expulsión de

hidrógeno cese, se espera 1 hora para obtener el tamaño medio de partícula o la distribución del tamaño deseado. (Feng, 2007)

Cuando el Borihidruo es introducido a la solución de CMC-Fe<sup>2+</sup>, se suscita la siguiente reacción:



## 2.2 REACTORES

### 2.2.1 DESCRIPCIÓN

#### Reactor Químico:

Un reactor químico es una unidad procesadora diseñada para que en su interior se lleve a cabo una o varias reacciones químicas. Dicha unidad procesadora está constituida por un recipiente cerrado, el cual cuenta con líneas de entrada y salida para sustancias químicas, y está gobernado por un algoritmo de control. (Scott, 2001)

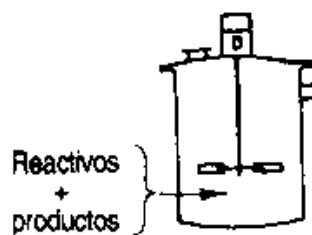
El Reactor tiene como funciones principales:

- Asegurar el tipo de contacto o modo de fluir de los reactantes en el interior del tanque, para conseguir una mezcla deseada con los materiales reactantes.
- Proporcionar el tiempo suficiente de contacto entre las sustancias y con el catalizador, para conseguir la extensión deseada de la reacción.
- Permitir condiciones de presión, temperatura y composición de modo que la reacción tenga lugar en el grado y a la velocidad deseada, atendiendo a los aspectos termodinámicos y cinéticos de la reacción.



Los tipos de reactores se clasifican en:

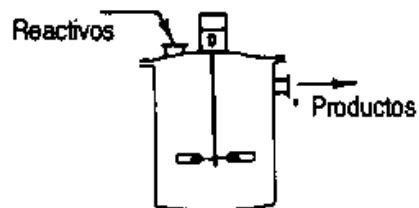
**Reactor Intermitente:** Este tipo admite todos los reactivos al principio y los procesa según un curso predeterminado de reacción, durante el cual no se alimenta o se extrae algún material. Este reactor puede o no tener agitación y se utiliza para producción a pequeña escala. La mayor parte de datos cinéticos básicos se obtienen en base a esta clase de equipo. (Perry, 2001)



**Figura 4: Reactor Intermitente**

Fuente: (Perry, 2001)

**Reactor Continuo:** Los reactivos se introducen y los productos se extraen simultáneamente y en forma continua. El reactor puede tener la forma de un tanque, una estructura tubular o una torre, y tiene multitud de aplicaciones en plantas a gran escala con el propósito de reducir costos de operación y facilitar el control de calidad del producto. (Perry, 2001)

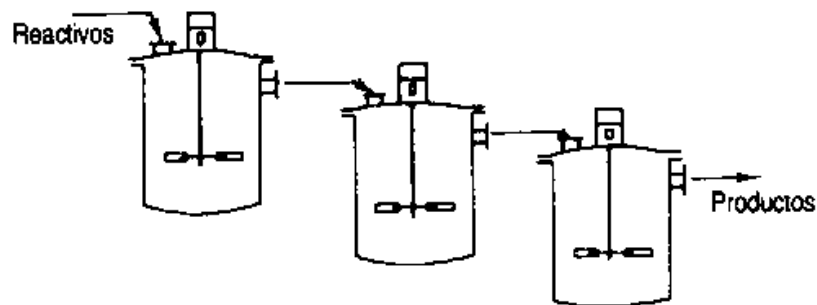


**Figura 5: Reactor Continuo**

Fuente: (Perry, 2001)

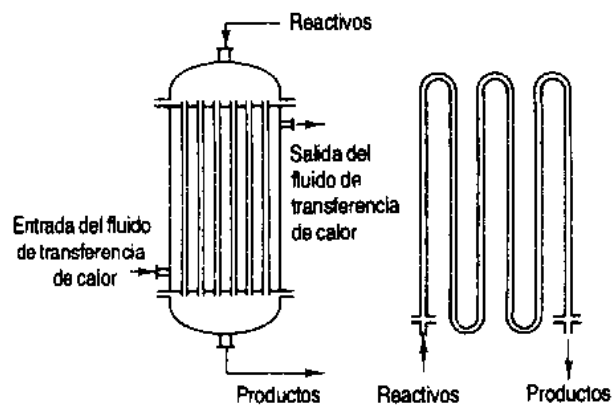
**Reactor Semicontinuo:** A esta categoría pertenecen los reactores que no se ajustan por completo a una de las dos clases antes mencionadas. En uno de los casos, algunos de los reactivos se cargan al principio, en tanto que los restantes se dosifican continuamente conforme se desarrolla la reacción. (Perry, 2001)

**Reactor tanque:** Equipado con algún medio de agitación (centrifugación, oscilación o sacudidas), y con elementos de transferencia de calor. Puede ser de operación intermitente o continua. Se produce un mezclado casi perfecto, y en una operación continua se pueden conectar en serie varios reactores de este tipo. (Perry, 2001)



**Figura 6: Batería de Reactores Continuos de tanque agitado**  
Fuente: (Perry, 2001)

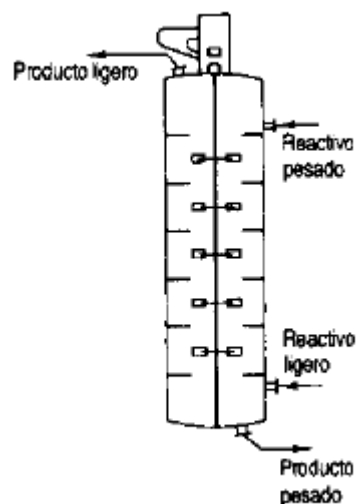
**Reactor tubular:** Este tipo de reactor se construye con sólo un tubo continuo o con varios tubos en paralelo. Los reactivos penetran por un extremo del reactor y el producto sale por el otro, con una variación continua en la composición de la mezcla de reacción entre estos dos puntos. La transferencia de calor, se logra por una camisa o un diseño de tubos y carcasa. Este reactor tiene aplicación en casos en los que es indeseable el retro-mezclado en la dirección del flujo. (Perry, 2001)



**Figura 7: Reactor Multitubular y de serpetín simple tubular**

Fuente: (Perry, 2001)

**Reactor en torre:** Esta clase de reactor se caracteriza por su estructura cilíndrica vertical con una relación grande entre la altura y el diámetro. Puede tener desviadores o rellenos sólidos (catalizadores), o puede ser una torre vacía y se utiliza para procesos continuos de reacciones heterogéneas. (Perry, 2001)



**Figura 8: Reactor continuo por etapas**

Fuente: (Perry, 2001)

**Reactor de lecho fluidizado:** Se trata de un depósito cilíndrico vertical que contiene partículas sólidas finas que son catalizadores o reactivos. La

corriente del reactivo fluido se introduce en la base del reactor a una velocidad tal que los sólidos flotan en la corriente del fluido sin salir del sistema. En estas condiciones, el lecho de partículas se comporta como un líquido en ebullición que tiende a igualar la composición de la mezcla de reacción y la temperatura a lo largo del lecho. (Perry, 2001)

**Reactor para fases dispersas:** Este tipo de reactor se caracteriza por una columna vertical que contiene partículas muy finas de catalizador suspendidas en un medio líquido, que puede ser uno de los reactivos. El reactivo gaseoso que se burbujea por la suspensión se disuelve en el medio líquido en donde se producen las reacciones catalizadas. Esta técnica facilita el control de la temperatura debido a la gran capacidad calórica del líquido. (Perry, 2001)

**Reactor de Mezcla Perfecta:** En este reactor las propiedades no se modifican ni con el tiempo ni con la posición, ya que supone que se está trabajando en estado de flujo estacionario y la mezcla de reacción es completamente uniforme. El tiempo de mezcla tiene que ser muy pequeño en comparación con el tiempo de permanencia en el reactor. (Perry, 2001)

**Reactores de Membrana:** Son aquellos que combinan la reacción y la separación en una sola unidad; la membrana selectivamente remueve una (o más) de las especies reactantes o productos. Se utilizan para incrementar el rendimiento y la selectividad de reacciones enzimáticas y catalíticas influyendo a través de la membrana sobre la concentración de una (o más)

especies intermedias, removiéndolas selectivamente (o ayudando a mantenerlas en una concentración baja), evitando la posibilidad de que dichos compuestos envenenen o desactiven el catalizador y para proveer una interface controlada entre dos o más reactantes. (Perry, 2001)

**Fermentadores:** Este tipo de reactores utilizan hongos, los cuales forman un cultivo, el cual a su vez se transforma en una sopa espesa que contiene crecimientos filamentosos. Un ejemplo se encuentra en la fabricación de antibióticos como la penicilina.

### 2.2.2 DATOS TÉCNICOS

Todos los procesos químicos giran en torno al reactor, por lo que los reactores deben diseñarse para cubrir los diferentes requerimientos de los sistemas reaccionantes. Para diseñar un reactor se debe tener la siguiente información. (Perry, 2001)

- El tipo de reacción (simple o compleja)
- La necesidad de un catalizador
- Las fases comprendidas
- La modalidad de control de temperatura y presión (isotérmico, adiabático u otro: la necesidad de presión, vacío, etc.)
- La capacidad de producción
- Las expresiones de velocidad química y la variación de los parámetros de velocidad en función de la temperatura, presión.
- Las características de transferencia de calor y masa

- Las propiedades físicas y químicas de todos los componentes que actúan en la reacción.
- Las características de corrosión-erosión del sistema reaccionante y cualquier riesgo potencial relacionado con dicho sistema.

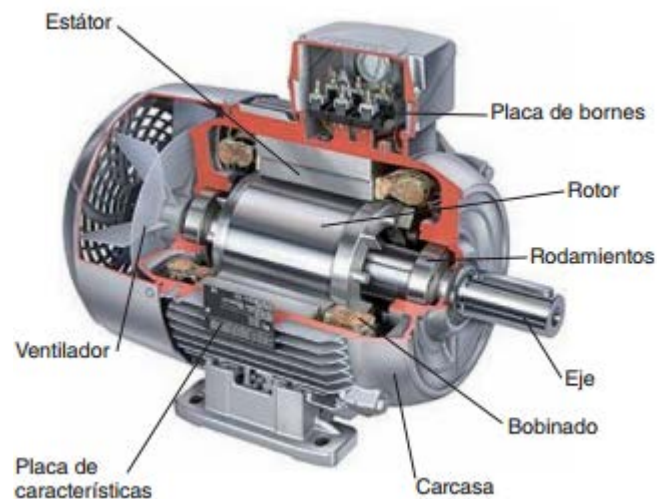
## **2.3 FACILIDADES ASOCIADAS**

### **2.3.1 DESCRIPCIÓN**

#### **Motores Eléctricos:**

Son máquinas eléctricas que transforman en energía mecánica la energía eléctrica que absorben por sus bornes, dependiendo del tipo de corriente utilizada para su alimentación se clasifican en: **(Smeaton, 1990)**

- Motores de Corriente Continua
  - De excitación independiente
  - De excitación serie
  - De excitación (shunt) o derivación
  - De excitación compuesta
- Motores de Corriente Alterna
  - Motores síncronos
  - Motores asíncronos
    - Monofásicos
    - Trifásicos



**Figura 9: Sección Motor Eléctrico**  
Fuente: (Smeaton, 1990)

Los motores de corriente continua pueden ser usados para transformar la energía eléctrica en energía mecánica, y también pueden funcionar como generadores de energía eléctrica. (Smeaton, 1990)

Los motores de corriente continua tienen un par de arranque alto, en comparación con los de corriente alterna, también se puede controlar con mucha facilidad la velocidad. Por estos motivos, son ideales para funciones que requieran un control de velocidad. Son usados para tranvías, trenes, coches eléctricos, ascensores, cadenas productivas, y todas aquellas actividades donde el control de las funcionalidades del motor se hace esencial. (Smeaton, 1990)

### **Agitación Mecánica:**

La agitación mecánica es una operación de mezclado, a utilizar cuando el mayor componente de la mezcla es un líquido, que recurre a algún tipo de

aspas como dispositivo para conseguir la mezcla. (Red colombiana de Metrología, 2011)

Operaciones de Agitación: (Red colombiana de Metrología, 2011)

**1. Homogeneización:** Su objetivo es equilibrar la concentración y/o temperatura desde dos o más líquidos miscibles entre sí.

**2. Intensificación:** Intensificación de la transferencia de calor entre el líquido y una superficie, incluso si la superficie es de otro líquido.

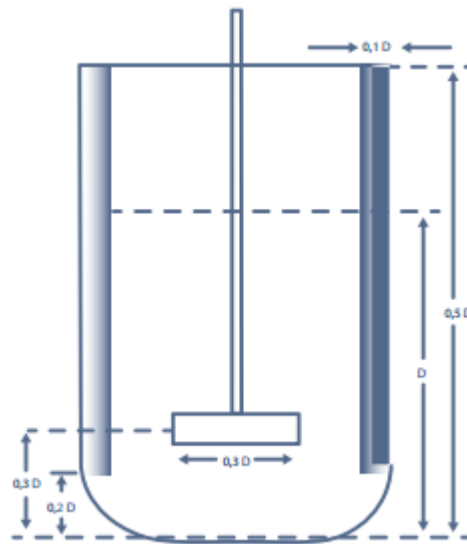
**3. Suspensión:** Puede ser acompañada de una disolución parcial de un sólido, para formar un lodo (“slurry”), de concentración y temperatura homogéneas.

**4. Dispersión de un gas:** Ya sea hasta disolverlo, o hasta conseguir burbujas estables del tamaño de una distribución deseada.

**5. Emulsificación:** De dos líquidos inmiscibles, la suspensión de gotitas del uno en el otro. También en este caso, se trata de conseguir gotitas estables del tamaño de una distribución deseada.

El impulsor comunica al líquido energía cinética que se va a disipar en forma viscosa en la masa líquida, al producirse el fenómeno de interacción y mezclado entre líquidos. Los impulsores más comunes son los de paletas, turbinas y propela.

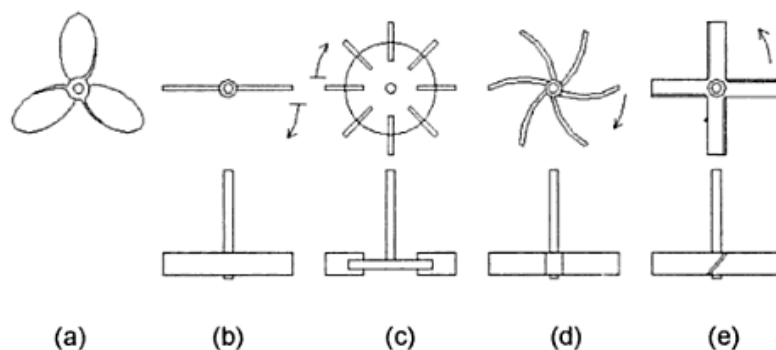




**Figura 10: Disposición para un tanque de agitación**

Fuente: (Red colombiana de Metrología, 2011)

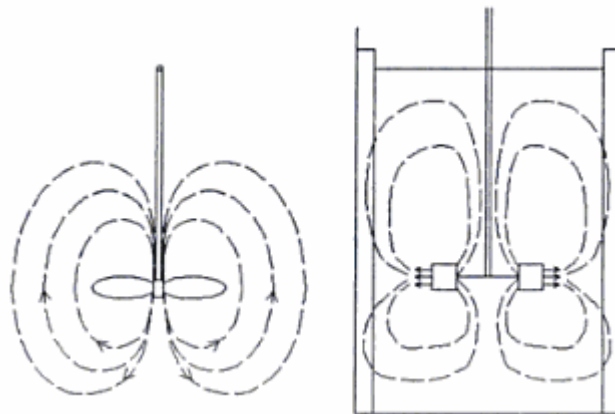
**Paletas:** Se usan para velocidades bajas de 20 a 200 RPM, en recipientes sin deflectores. Son instaladas con un eje vertical en el centro del tanque. Las más comunes son las de dos y cuatro paletas inclinadas. El diámetro del agitador debe ser de 50 – 80% del diámetro del tanque, y la relación ancho largo de 1:6 y 1:10. (Dondé Castro, 2005)



**Figura 11: Tipos de impulsores (a)propela marina de 3 aspas (b) Impulsor de paletas vertical con dos aspas (c) Turbina con 6 paletas rectas verticales (d) Turbina con aspas verticales curvas (e) Turbinas con aspas inclinadas.**

Fuente: (Dondé Castro, 2005)

**Turbinas:** Son un tipo de agitadores de paletas múltiples y cortas, girando a mayores velocidades. El eje es centrado. El número de paletas es usualmente 6 u 8. El diámetro de agitador va del 30 – 50% del diámetro total del tanque. (Dondé Castro, 2005)



**Figura 12: Patrones de flujo en propela marina, turbina y paleta**  
Fuente: (Dondé Castro, 2005)

**Propelas:** Pueden girar dependiendo de su tamaño de 400 – 1750 RPM. Son de varios tipos; la más usual es la marina que tiene 3 aspas. Pierden su efectividad si se montan centralmente, principalmente si no hay baffles. Deben ir doblemente inclinadas. Se pueden instalar unos tubos de tiro alrededor de la propela o por encima de la turbina para dirigir las corrientes en la succión del impulsor; esto aumenta el esfuerzo cortante y la fricción. Las propelas producen movimiento axial en el líquido. La distancia que este recorrería por una vuelta del impulsor de no haber deslizamiento aspa-líquido es el paso de la propela; depende del ángulo de las aspas. Cuando el paso es igual al diámetro de la propela se dice que es cuadrado. La propela más común es la de tres aspas paso cuadrado. (Dondé Castro, 2005)

## 2.3.2 DATOS TÉCNICOS

### Motores Eléctricos de Corriente Continua:

Tabla 1: Datos Técnicos motores eléctricos marca WEG

Modelos	_R_/20	_R_/60	_R_/100	TCW20__	TCW40__
Tensión a 1.000 rpm	20 V*	60 V*	100 V*	20 V*	40 V*
Velocidad máxima	8.000 rpm	8.000 rpm	6.000 rpm	8.000 rpm	4.000 rpm
Sentido de rotación	Reversible	Reversible	Reversible	Reversible	Reversible
Corriente máxima de consumo	550 mA	250 mA	160 mA	30 mA	20 mA
Tensión máxima de consumo	160 V	480 V	600 V	165 V	165 V
Resistencia de la armadura	9 Ohm +3%	59 Ohm +3%	165 Ohm +3%	60 Ohm +3%	196 Ohm +3%
Error máximo de linealidad	0,50%	0,50%	0,50%	0,50%	0,50%
Error máximo de reversibilidad	1%	1%	1%	1%	1%
Ondulación ("ripple")	1%	1%	1%	1%	1%
Coefficiente de temperatura para variación porcentual de la tensión	0,01% /°C	0,01% /°C	0,01% /°C	0,01% /°C	0,01% /°C
Resistencia de aislamiento a 600 V CC y régimen térmico de 120°C	2 MΩhm	2 MΩhm	2 MΩhm	2 MΩhm	2 MΩhm
Rigidez dieléctrica entre cada terminal y carcasa	1.700 V/60 Hz para 30°	1.700 V/60 Hz para 30°	1.700 V/60 Hz para 30°	1.700 V/60 Hz para 30°	1.700 V/60 Hz para 30°
Humedad máxima relativa del ambiente	90%	90%	90%	90%	90%
Protección conforme IEC 34-5 y NBR 6146	IP44 o IP55**	IP44 o IP55**	IP44 o IP55**	IP55	IP55
Clase de aislamiento	B	B	B	B	B
Fuerza radial máxima	10 Kgf	10 Kgf	10 Kgf	-	-
Fuerza axial máxima	10 Kgf	10 Kgf	10 Kgf	-	-
Número de polos	2	2	2	4	4
Número de escobillas	4	4	4	4	4
GD²	8.450 g. cm²	8.450 g. cm²	8.450 g. cm²	5.370 g. cm²	5.370 g. cm²
Temperatura ambiente	-15 hasta 60°C	-15 hasta 60°C	-15 hasta 60°C	-15 hasta 60°C	-15 hasta 60°C
Masa aproximada modelo sin caja de conexión	2,20 Kg	2,20 kg	2,20 kg	-	-
Masa aproximada modelo con caja de conexión	2,40 kg	2,40 kg	2,40 kg	-	-
Masa aproximada modelo TCW	-	-	-	1,50 kg	1,50 kg

Fuente: (WEG, s.f.)

## 2.4 INSTRUMENTACIÓN

### 2.4.1 DESCRIPCIÓN

#### Indicadores de Nivel de Vidrio:

Para aplicaciones de baja presión, los visores de nivel de vidrio son la alternativa ideal por su bajo precio y fácil mantenimiento.

Están disponibles con conexiones roscadas perpendiculares o en línea, fabricados en acero inoxidable poseen una amplia gama de escalas según su necesidad. (Lefama, s.f.)

Si el medio es claro, viscoso o agresivo, los cristales planos y transparentes garantizan la mejor indicación debido a que la superficie del cristal se puede proteger con láminas de mica de serios ataques de fluido.

Aplicación: Control visual de nivel de agua en calderos, estanques, etc. (Saidi)

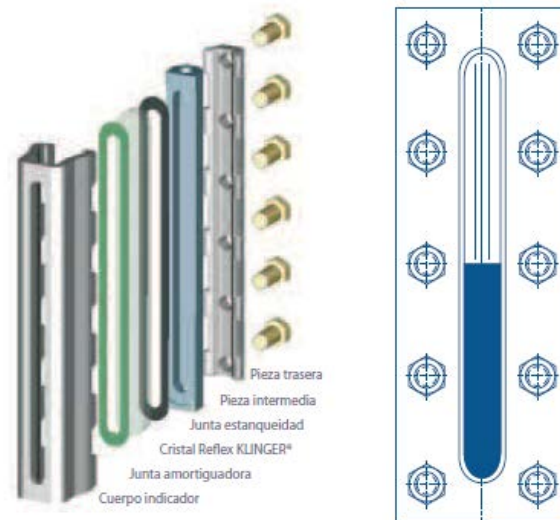


**Figura 13: Juego de llaves de Nivel y Tubo de Vidrio**

Fuente: (fitvalv.com)

Indicadores de Nivel a Reflexión: Su funcionamiento basa en la diferencia del índice entre la refracción de un líquido y un gas, y por lo general se utiliza agua y vapor. La columna de líquido está contenida en el agujero de la pieza intermedia, detrás del cristal, y éste se encuentra atrapado dentro del cuerpo del indicador. (Saidi)

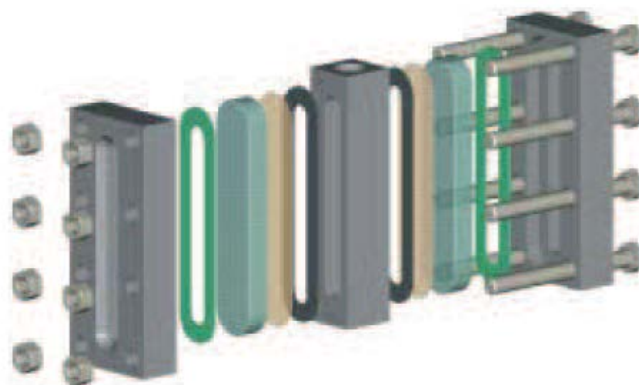
Su ventaja radica en la visibilidad clara y ausente de ambigüedad, por lo imposibilita falsas lecturas.



**Figura 14: Indicador de Nivel a Reflexión**

Fuente: (Saidi)

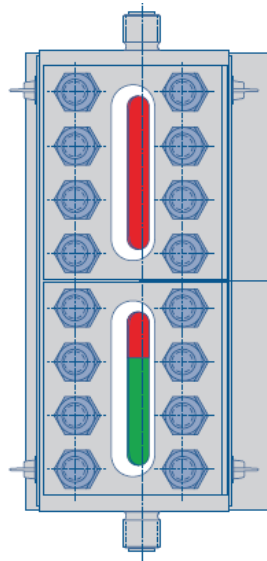
Indicador de Nivel Transparente: La columna de líquido se encuentra contenida entre dos cristales de un indicador. Se puede montar un iluminador en la parte trasera del indicador: los rayos son desviados por un tamiz de láminas en la parte alta de la columna de líquido. Los rayos, que impactan sobre la superficie del líquido, son reflejados de nuevo hacia el ojo del observador; por lo que ve en el indicador la superficie iluminada del líquido. Los fluidos oscuros son fácilmente visibles. (Saidi)



**Figura 15: Indicador de Nivel Transparente**

Fuente: (Saidi)

Indicador de nivel Bicolor: Su diseño, está basado en un bi-color, el cual hace posible la indicación. Contiene dos filtros color (rojo y verde), los cuales se montan justo frente a la fuente de luz del iluminador. La separación óptica de las zonas de vapor u agua están basadas en el diferente índice de refracción de la luz sobre las mismas. Si el indicador bi-color se instala en una posición elevada, el nivel de líquido puede reflejarse en un plano inferior mediante espejos. (Saidi)

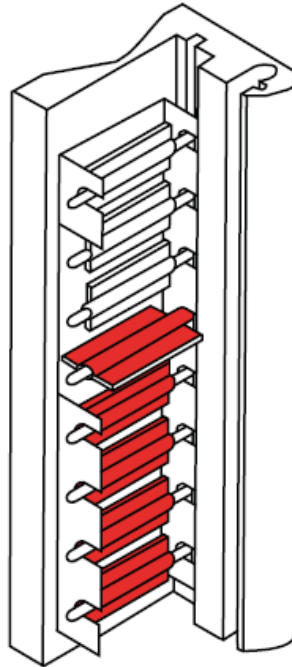


**Figura 16: Indicador de Nivel Bi-color**

Fuente: (Saidi)

Indicador de Nivel Magnético: Se utilizan para servicios donde existan líquidos o gases tóxicos y peligrosos, debido a que el fluido a medir se encuentra dentro de una cámara sellada. Un flotador, provisto de un imán multidireccional se mueve libremente a lo largo de la cámara, este actúa sobre las lamas magnéticas, que tienen un color (blanco y rojo) diferente en sus dos caras. A medida que el flotador sube o baja con el nivel del líquido,

cada lama gira 180° cambiando de color. Las lamas que están por encima del flotador se verán de color rojo, con lo que se consigue una lectura definida y precisa del nivel del líquido en la cámara. (Saidi)



**Figura 17: Indicador de Nivel Magnético**

Fuente: (Saidi)

### **Manómetros:**

Aparatos empleados para medir presiones, utilizan presión atmosférica como nivel de referencia y miden la diferencia entre presión real o absoluta y presión atmosférica, este valor se conoce como presión manométrica. La presión manométrica se expresa ya sea por encima, o bien por debajo de la presión atmosférica. Los manómetros que presiones inferiores a la atmosférica se conocen como vacuómetros o manómetros de vacío. (Saavedra, 1854)



**Figura 18: Manómetro con toma vertical sin glicerina**

Fuente: (Winters)

Manómetro Tipo Bourdon: Instrumento mecánico de medición de presión, el cual emplea como elemento sensible un tubo metálico curvado o torcido, de sección transversal aplanada. Se basa en dos principios básicos:

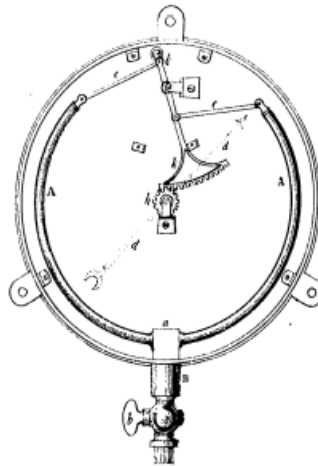
1. La curvatura de un tubo metálico varía con la diferencia entre presiones, volviéndose menor cuando domina la primera y mayor cuando domina la segunda.

2. Esta variación está determinada entre límites y es proporcional a la diferencia de presiones.

El movimiento del extremo libre mide la presión interior y provoca el movimiento de la aguja indicadora.

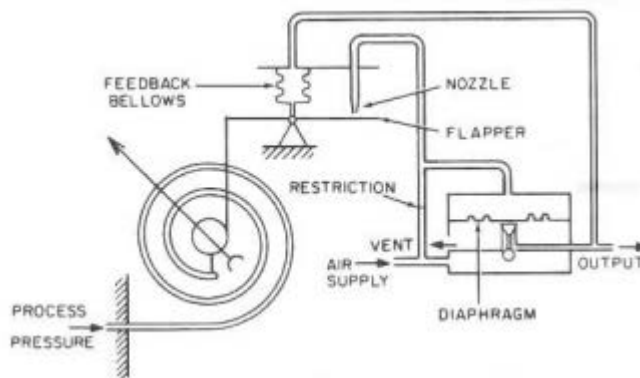
Los tubos Burdon se pueden fabricar mediante una serie de aleaciones de cobre y en aceros inoxidable al cromo níquel. Los aceros inoxidable ofrecen mayor resistencia a la corrosión que las aleaciones. (Saavedra, 1854)





**Figura 19: Manómetro tipo Bourdon**  
Fuente: (Saavedra, 1854)

Tipo Espiral: Se forma arrollando el tubo de Bourdon en forma de espiral, asemejándose a una bobina plana.



**Figura 20: Bourdon Espiral en un transmisor de presión por balance de movimiento**  
Fuente: (Acedo Sánchez, 2006)

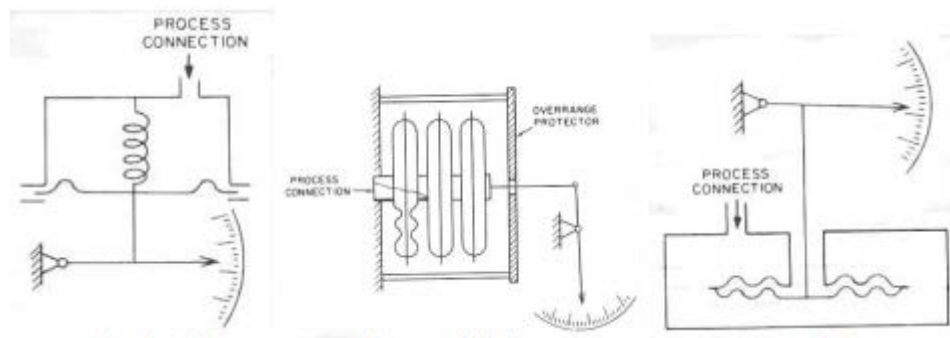
Elemento Helicoidal: Se forma arrollando verticalmente más de una espira en forma de hélice parecida a un resorte. Los elementos espiral y helicoidal producen un mayor movimiento por unidad de presión aplicada, en comparación con el tubo Bourdon tradicional. (Acedo Sánchez, 2006)



**Figura 21: Bourdon Helicoidal**

Fuente: (Acedo Sánchez, 2006)

Diafragma: Se compone de en una o varias cápsulas rígida conectadas entre sí por soldadura, de forma que al aplicar presión, cada cápsula se deforma y la suma de los pequeños desplazamientos, los cuales son amplificados por un juego de palancas. El sistema funciona de tal modo que, al aplicar presión, el movimiento se aproxima a una relación lineal en un intervalo de medida amplio con una histéresis mínima y una desviación permanente en el cero. Se fabrican normalmente de una aleación níquel o inconel. Son utilizados para presiones baja. (Acedo Sánchez, 2006)

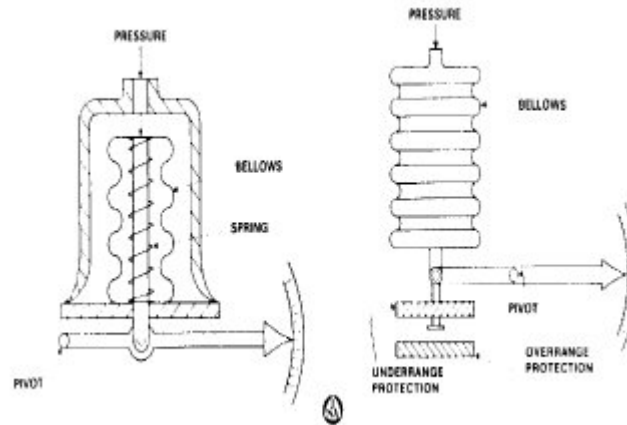


**Figura 22: Flexible en múltiples capas Anidados**

Fuente: (Acedo Sánchez, 2006)

Fuelle: Se usa para presiones intermedias ya que miden variaciones superiores, las que generalmente se determinan con el diafragma, pero no tan grandes como las que se aplican a las unidades tipo Bourdon de espiral o hélice. Los elementos de fuelle se caracterizan por su larga duración. El material de fabricación del fuelle es usualmente bronce fosfórico y el muelle

es tratado térmicamente para mantener fija su constante de fuerza por unidad de compresión. (Acedo Sánchez, 2006)



**Figura 23: Sensor Tipo Fuelle**

Fuente: (Acedo Sánchez, 2006)

**Tabla 2: Tabla de características de los elementos mecánicos**

Instrumento		Campo de medida	Precisión en % de toda la escala	Temperatura máxima de servicio	Presión estática máxima
Medida directa	Barómetro cubeta	0,1 - 3 m cda	0,5 - 1%	Ambiente	6 bar
	Tubo en U	0,2 - 1,2 m cda	0,5 - 1%	Ambiente	10 bar
	Tubo inclinado	0,01 - 1,2 m cda	0,5 - 1%	Ambiente	10 bar
	Toro pendular	0,5 - 10 m cda	0,5 - 1%	Ambiente	100 - 600 bar
	Manómetro campana	0,005 - 1 m cda	0,5 - 1%	Ambiente	Atmosférica
Elásticos	Tubo Bourdon	0,5 - 6000 bar	0,5 - 1%	90° C	6000 bar
	Espiral	0,5 - 2500 bar	0,5 - 1%	90° C	2500 bar
	Helicoidal	0,5 - 5000 bar	0,5 - 1%	90° C	5000 bar
	Diafragma	50 mm cda - 2 bar	0,5 - 1%	90° C	2 bar
	Fuelle	100 mm cda - 2 bar	0,5 - 1%	90° C	2 bar

Fuente: (Acedo Sánchez, 2006)

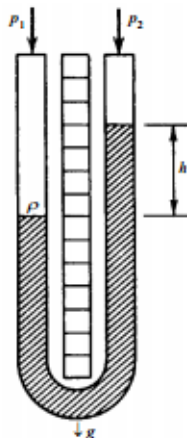
Manómetro de columna de líquido: La columna de líquido, es el instrumento de medición de presión más antiguo, y de los más exactos con alcances de 500 Pa a 200 kPa. La selección de la configuración de la columna y del fluido manométrico permite la medición de todos los tipos de presión: absoluta, barométrica, bajo vacío, vacío negativo, relativa y diferencial. Las ventajas de este instrumento como patrón de referencia

primario, así como su diseño, fabricación y uso, están al alcance de los laboratorios de calibración 'secundarios', que requieren o están interesados en prestar servicios de calibración de alta exactitud. La adecuada selección de la configuración del instrumento, la capacidad de medición de los instrumentos auxiliares, el claro conocimiento de las magnitudes de influencia que afectan su operación, y buenas prácticas de operación y calibración del mismo; hacen de este un instrumento muy versátil y capaz. (Aranda, 2003)

Gracias a la simplicidad de su funcionamiento y a lo económico que puede resultar su compra o fabricación, las columnas de líquido (principalmente mercurio o agua) son el patrón de referencia de mayor uso en este intervalo de presión. Las columnas de líquido son el único instrumento basado en métodos primarios que puede encontrarse tanto como patrón de referencia como instrumento ordinario.

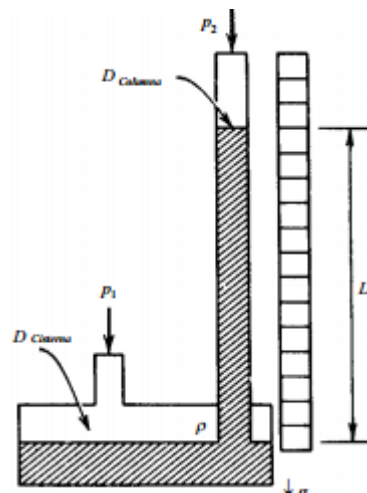
Tipos de columnas:

- Tipo U, es la configuración más popular para la medición de presión, tanto con mercurio, agua y aceites



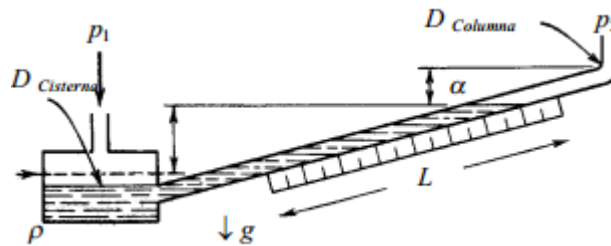
**Figura 24: Columna de líquido tipo U**  
Fuente: (Aranda, 2003)

- Tipo Cisterna, Fluido manométrico normalmente mercurio y agua con alcances de 150 a 3 000 mm de altura utilizando reglas con división mínima de 1 mm a 0,1 mm, se utiliza para la medición de presión relativa y negativa. (Aranda, 2003)



**Figura 25: Columna de Líquido Tipo Cisterna**  
Fuente: (Aranda, 2003)

- Inclínada, Se utilizan con aceite con densidad relativa menor al agua ( $<1$ ) para aumentar la sensibilidad de la medición en alcances de 25 a 100 mm y división mínima hasta de 1 mm. En el ámbito industrial se les conoce como manómetros de tiro, dado que son utilizados para medir la presión del suministro de aire de combustión a las calderas que arrastra los gases quemados hacia el exterior a través de la chimenea. Cuentan con un nivel, con el propósito de ajustar el ángulo de inclinación ( $\alpha$ ), para el cual fue diseñada la columna. (Aranda, 2003)

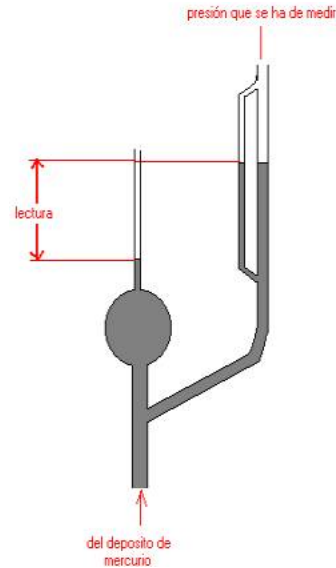


**Figura 26: Columna Inclinada**

Fuente: (Aranda, 2003)

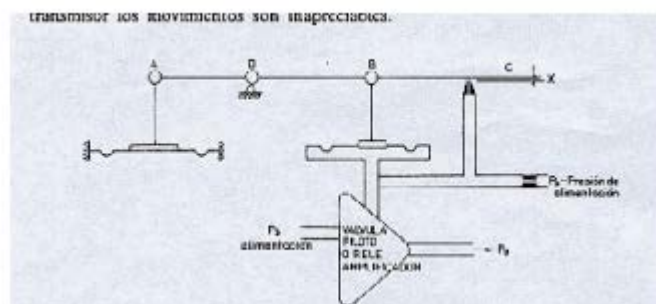
Manómetro de McLeod: Modelo de instrumento utilizado para medir bajas presiones. También se llama vacuómetro de McLeod. Se recoge un volumen conocido del gas cuya presión se ha de medir y se eleva en el nivel de fluido (normalmente mercurio) por medio de un embolo, por una elevación del depósito. Al elevar más el nivel del mercurio el gas se comprime en el tubo capilar. De acuerdo con la Ley de Boyle, el gas comprimido ejerce ahora una presión suficiente para soportar una columna de mercurio lo bastante alta como para que pueda ser leída. Las lecturas son casi por completo independientes de la composición del gas. El manómetro de McLeod es sencillo y económico. Es muy usado como patrón absoluto de presiones en la zona de 0.0001-10mm de mercurio; a menudo se emplea para calibrar otros manómetros de bajas presiones que tienen un uso más práctico. (Aranda, 2003)

Este manómetro tiene como inconvenientes que las lecturas son discontinuas, que necesita cierta manipulación para hacer cada lectura y que esta lectura es visual. El vapor de mercurio puede ocasionar trastornos al difundirse en el vacío que se va a medir. (Aranda, 2003)



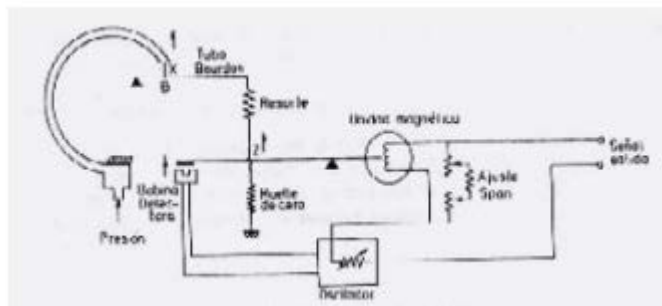
**Figura 27: Manómetro de McLeod**  
Fuente: (Aranda, 2003)

Transmisor de equilibrio de fuerzas: En este elemento de medición se ejerce una fuerza en el punto A sobre la palanca AC que tiene su punto de apoyo en D. Cuando aumenta la fuerza ejercida por el elemento de medición la palanca se desequilibra, tapa la tobera, la presión aumenta y el diafragma ejerce una fuerza hacia arriba alcanzándose un nuevo equilibrio. Hay que señalar que en este transmisor los movimientos son inapreciables. (Acedo Sánchez, 2006)

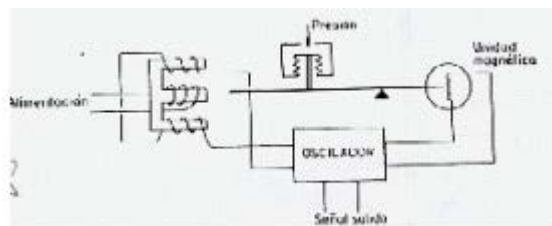


**Figura 28: Transmisor de equilibrio de fuerzas**  
Fuente: (Acedo Sánchez, 2006)

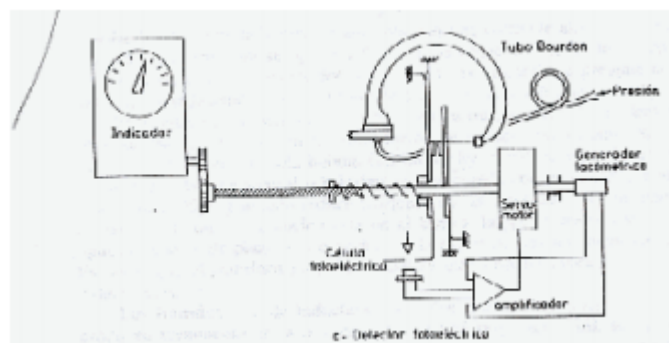
Transmisores electrónicos de equilibrio de fuerza: En este instrumento el elemento electromecánico de medición (tubo Bourdon, espiral, fuelle,...) ejerce una fuerza sobre una barra rígida del transmisor. Para cada valor de la presión la barra adopta una posición determinada excitándose un transductor de desplazamiento tal como un detector de inductancia, un transformador diferencial o un detector fotoeléctrico.



**Figura 29: Detector de inductancia**  
Fuente: (Hoyos, 2010)



**Figura 30: Transformador Diferencial**  
Fuente: (Acedo Sánchez, 2006)

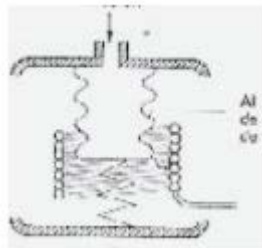


**Figura 31: Detector fotoeléctrico**  
Fuente: (Acedo Sánchez, 2006)



Transductores Resistivos: Es uno de los transmisores eléctricos más sencillos. Consiste en un elemento elástico (tubo bourdon o cápsula) que varía la resistencia óhmica de un potenciómetro en función de la presión.

Existen varios tipos de potenciómetros según sea su elemento de resistencia: de grafito, de resistencia bobinada, de película mecánica y de plástico moldeado. (Acedo Sánchez, 2006)

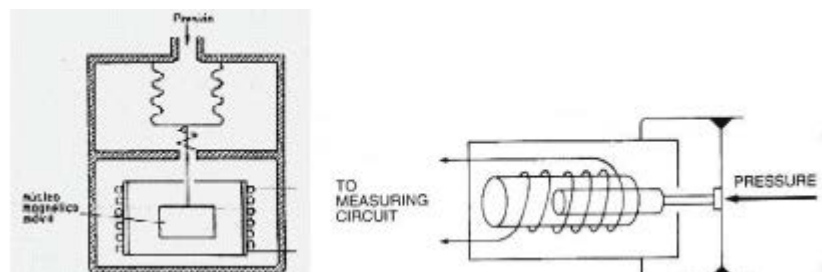


**Figura 32: Transductores Resistivos**

Fuente: (Acedo Sánchez, 2006)

Transductores Magnéticos: Se clasifican según su principio de funcionamiento en:

- Transductores de inductancia variable, el desplazamiento de un núcleo móvil dentro de una bobina aumenta la inductancia de ésta forma casi proporcional a la porción metálica del núcleo contenida dentro de la bobina. (Acedo Sánchez, 2006)



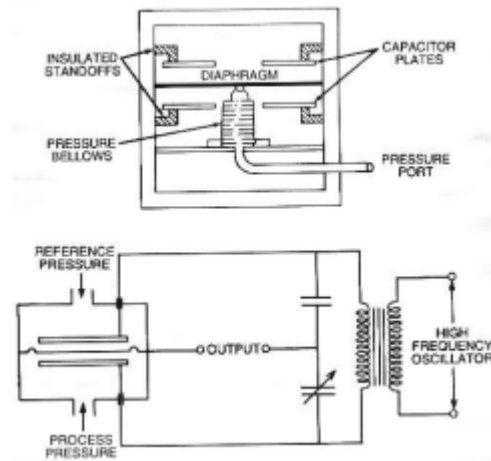
**Figura 33: Transductores de inductancia variable**

Fuente: (Acedo Sánchez, 2006)

- Transductores de reluctancia variable, consiste en un imán permanente o un electroimán que crea un campo magnético dentro del cual

se mueve una armadura de material magnético. El circuito se alimenta con una fuerza magneto-motriz constante con lo cual al cambiar la posición de la armadura varía la reluctancia y por lo tanto el flujo magnético. Esta variación del flujo da lugar a una corriente inductancia en la bobina que es, por tanto, proporcional al grado de desplazamiento de la armadura móvil. (Acedo Sánchez, 2006)

- Transductores capacitivos, se basan en la variación de capacidad que se produce en un condensador al desplazarse una de sus placas por la aplicación de presión. La placa móvil tiene forma de diafragma y se encuentra situada entre dos placas fijas. De este modo se tienen dos condensadores uno de capacidad fija o de referencia y el otro de capacidad variable. (Acedo Sánchez, 2006)



**Figura 34: Transductores Capacitivos**  
Fuente: (Acedo Sánchez, 2006)

**Tabla 3: Tabla de sensores de presión electromecánicos**

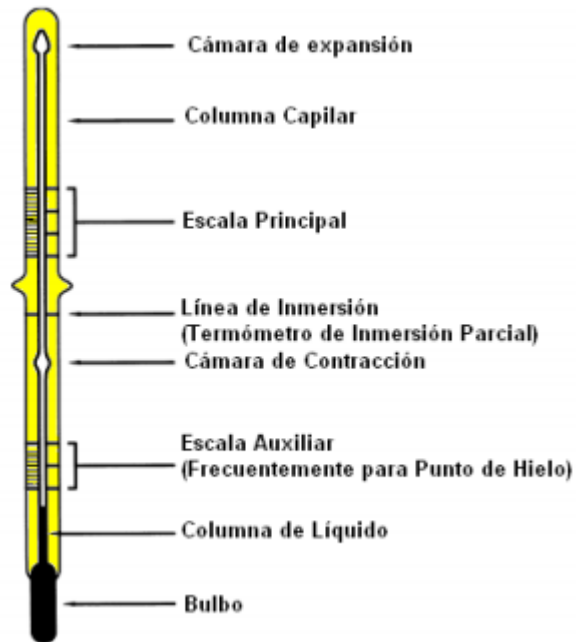
Instrumento	Margen en bar	Precisión en % de toda la escala	Estabilidad en el tiempo	Sobre-carga	Temperatura máxima de servicio °C	Nivel señal de salida	Impedancia Salida (KiloOhms)	Error de cero por influencia de T°amb.	Resolución	Sensibilidad a vibraciones	
Magnéticos	Equilibrio de Fuerzas	2,0 - 6000	0,5	Media a mala	150%	65	10 V	0,6	0,9-2,3%	Continua	Alta
	Resistivos	0-0,1 a 0-300	1	Mala	150%	80	Variac. Res.	0-Res.Total	0-Res. Total	0,25%	Alta
	Inductancia variable	0-0,1 a 0-300	0,5	Media	150%	80	0 - 5 V	2	2	Continua	Alta
	reluctancia variable	0-0,1 a 0-300	1	Media	150%	80	0 - 5 V	2	2	Continua	Alta
Galgas extensi.	Capacitivos	0,05-5 a 0,05-600	1	Media a buena	150%	150	0 - 5 V	5	5	Continua	Media
	Cementadas	0-0,5 a 0-3000	0,5	Mala	150%	120	35 mV	0,35	0,35	Continua	Alta
	Sin cemento	0-0,01 a 0-600	1	Mala	200%	120	35 mV	0,35	0,35	Continua	Alta
	Silicio Difundido	0-2 a 0-600	0,3	Muy buena	200%	107	2 - 10 V	0,6	0,6	Continua	Despreciable
Piezoeléctricos	0,1 - 600	1	Mala	200%	90	600 mV/bar	1000K	1000K	"1/5000"	Baja	

Fuente: (Acedo Sánchez, 2006)

### Termómetros:

El termómetro es un instrumento que se usa para medir la temperatura, su creador fue Galileo Galilei. Debe indicar la temperatura mediante una escala graduada. (Hoyos, 2010)

Termómetros de Vidrio o de líquido: Hechos con vidrio sellado, muestra la temperatura por medio del nivel al que llega el mercurio o alcohol en una escala graduada. Estos líquidos se dilatan y contraen debido a los cambios de temperatura. Generalmente, la escala de medición que usa es Celsius, aunque también se puede expresar en grados Fahrenheit. Actualmente estos termómetros contienen alcohol coloreado debido al peligro que significa el contacto con el mercurio. (Metas y Metrólogos Asociados, 2008)



**Figura 35: Termómetro de vidrio en líquido**  
Fuente: (Metas y Metrólogos Asociados, 2008)

En un termómetro de líquido en dilatación, el sistema se llena completamente con un líquido apropiado y consiste en un bulbo conectado por tubo capilar a un elemento en forma de hélice o espiral de Bourdon situado en la caja del instrumento. A medida que aumenta la temperatura y se dilata el líquido, la hélice tiende a deshacerse para proporcionar el aumento de volumen y es mayor. La presión de llenado elegida debe ser tal, que la temperatura de ebullición del líquido sea apreciablemente más alta que la mayor temperatura que el sistema haya de medir. Pueden medirse temperaturas desde  $-175\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta  $+300\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ . para el mercurio). Aunque los cambios de volumen son relativamente pequeños, las fuerzas ejercidas pueden ser grandes para accionar el elemento, y por consiguiente, este tipo de medida se considera bueno para aparatos reguladores que requieran alto grado de estabilidad. (Metas y Metrólogos Asociados, 2008)

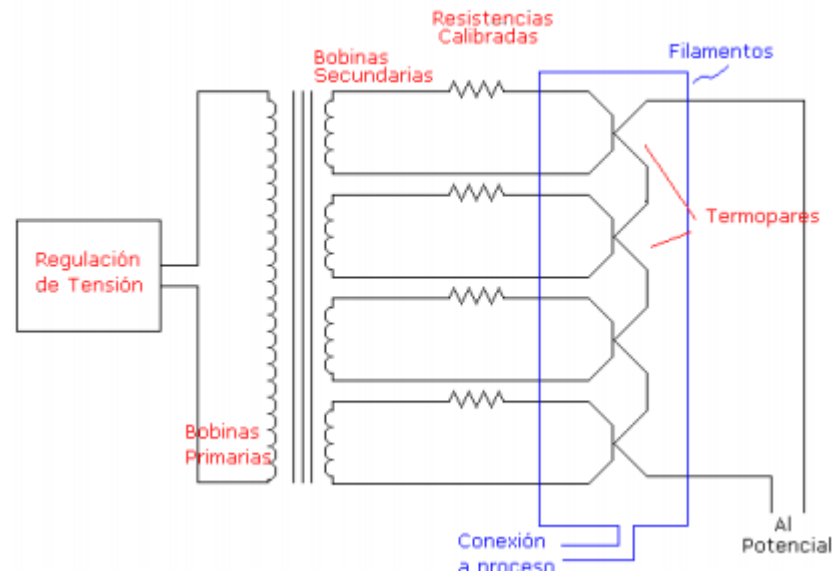
Termómetros de resistencia de platino: El termómetro de resistencia de platino depende de la variación de la resistencia a la temperatura de una espiral de alambre de platino. Es el termómetro más preciso y se puede emplear para medir temperaturas hasta de 1127 °C. Pero reacciona despacio a los cambios de temperatura, debido a su gran capacidad térmica y baja conductividad, por lo que se emplea sobre todo para medir temperaturas fijas. (Hoyos, 2010)



**Figura 36: Termómetro de resistencia de platino**

Fuente: (Cortes)

Par Metálico: Este termómetro consiste en un conjunto conformado por dos hilos metálicos y un envoltímetro calibrado, cuando la temperatura en los hilos es diferente se crea una fuerza electromotriz que es medida por el voltímetro, esta clase de termómetros se utiliza generalmente para medir temperaturas muy elevadas y en algunas ocasiones muy bajas. (Cortes)



**Figura 37: Termopar**

Fuente: (Cortes)

Pirómetro: El pirómetro de radiación se utiliza para medir temperaturas muy altas. Se basa en el calor por radiación visible emitida por objetos calientes, y mide el calor de la radiación mediante un par térmico, comparada con un filamento de tungsteno incandescente conectado a un circuito eléctrico. El pirómetro es el único termómetro que puede medir temperaturas superiores a 1477 °C. (Cortes)

## 2.4.2 DATOS TÉCNICOS

### Indicadores de Nivel:

- Material: Cuerpo Acero inoxidable 316
- Retención de seguridad; retiene el vapor o agua en caso de romperse el tubo de vidrio.
- Varillas de protección.
- Conexión hilo NPT.

- Incluye tubo.
- Incluye golillas
- Rango de Temperatura -196°C a 400°C

### **Indicador de Nivel Magnético:**

- Respuesta inmediata y segura a los cambios de nivel
- Indicación continua del nivel del fluido
- Visualización local y/o remota
- Acabado Robusto
- Flotador con sistema magnético omni-direccional
- Apto para altas presiones hasta 200 bar
- Longitud ilimitada
- Fácil de Instalar
- En diferentes materiales: Recubierto de PTFE/PFA, PP , PVDF y

PVC.

### **Manómetros:**

#### Manómetros de Columna:

- Manómetros de columna para presión, vacío y presión diferencial.
- Columna inclinada con tres escalas de 10 – 25 y 50 mmca.
- Columna en "U", escalas de 50 – 0 – 50 mmca. hasta 1500 -- 0 – 1500 mmca.
- Columna directa, escalas 0 / +250 mmca hasta 0 – 1400 mmca.
- Líquido medidor: Silicona, tetrabromuro ó mercurio.

#### Manómetros Standard:

- Manómetros de muelle tubular serie standard en diámetros 40,50,63,80,100 ó 160 mm.
- Montaje radial, posterior, borde dorsal, borde frontal o con brida, según modelos.
- Material de la caja: en plástico, acero pintado de negro ó acero inoxidable. Racord – tubo en latón (según modelos).
- Conexiones 1/8", 1/4",1/2 " GAS, según modelos (otras bajo demanda).
- Rangos de 0 – 0,6 bar a 0 – 1000 bar (según modelos) para vacío, vacío / presión o presión.
- Precisión clase 1 ó 1,6.
- Ejecuciones: Llenado de glicerina, contactos eléctricos, marcas personalizadas.

#### Manómetros de Baja Presión:

- Manómetros a cápsula, serie BAJA PRESION.
- En diámetros 63, 100 ó 160.
- Montaje radial, posterior, borde dorsal o borde frontal (según modelos).
- Material: caja en acero pintado en negro o acero inoxidable. Racord – cápsula en latón o acero inoxidable.
- Conexiones 1/4",1/2" GAS, según modelos. (Otras bajo demanda).
- Rangos de 0 – 2,5 mbar a 0 – 600 mbar (según modelos), para vacío, vacío / presión o presión.



- Precisión clase 1,6.
- Otras ejecuciones, consultar.

#### Manómetros Digitales:

- Manómetros digitales con sensor integrado o independiente.
- Rangos de 0 – 30 mbar a 0 – 2000 bar ó –1+2 bar a –1 +20 bar.
- Precisiones del  $\pm 0,2 \%$ ,  $\pm 0,1 \%$  ó  $0,05\%$  sobre el fondo de escala.
- Opciones con selección de unidades, valor máximo y mínimo, tiempo de funcionamiento, puesta a cero, salida vía RS232 para volcado de datos y software.

#### Transmisores electrónicos de equilibrio de fuerza:

- Presentan movimientos muy pequeños en la barra de equilibrio
- Poseen realimentación
- Una muy buena elasticidad
- Nivel alto en la señal de salida
- Presentan un ajuste del cero y del alcance (span) complicado, por su constitución mecánica.
- Presentan una alta sensibilidad a vibraciones
- La estabilidad en el tiempo es de media a pobre
- Su intervalo de medida corresponde al del elemento mecánico que utilizan
- Su precisión es del orden de  $0.5 - 1\%$

#### Transductores Resistivos:

- Su señal de salida es bastante potente, sin necesidad de amplificación.
- Son insensibles a pequeños movimientos del contacto del cursor.

- Son muy sensibles a vibraciones externas.
- Presentan una estabilidad pobre en el tiempo.
- El intervalo de medida corresponde al elemento de presión que utiliza (tubo Bourdon, fuelle, etc..) y varía en general de 0 – 0.1 a 0 – 300 Kg/cm<sup>2</sup>.
- La precisión es del orden del 1-2%

Transductores de inductancia variable:

- En la medición no se produce rozamiento
- Se obtiene una respuesta lineal
- Son pequeños y de construcción robusta
- No necesitan ajustes críticos en el montaje
- Su precisión es del orden del -1 - +1%.
- Posicionan el núcleo con un elemento de presión (tubo Bourdon, espiral,...)
- Utilizan circuitos eléctricos bobinados de puente de inductancia de corrientes alterna.

Transductores de reluctancia variable:

- No existen rozamientos, por lo que se elimina la histéresis mecánica típica de otros instrumentos.
- Presentan una alta sensibilidad a las vibraciones
- Presentan una estabilidad media en el tiempo
- Son sensibles a las temperaturas
- Su precisión es del orden del -0.5 - +0.5%
- Posicionan la armadura móvil con un elemento de presión (tubo Bourdon, espiral,...)

- Utilizan circuitos eléctricos bobinados de puente de inductancias de corrientes alternas.

#### Transductores Capacitivos:

- Su pequeño tamaño y su construcción robusta
- Tienen un pequeño desplazamiento volumétrico
- Son adecuados para medidas estáticas y dinámicas.
- Su señal de salida es débil por lo que precisan de amplificadores con el riesgo de introducir errores en la medición
- Son sensibles a las variaciones de temperatura y a las aceleraciones transversales
- Precisan de un ajuste de los circuitos oscilantes y de los puentes de corriente alterna a los que están acoplados.
- Su intervalo de medida es relativamente amplio entre 0.05 – 5 a 0.5 – 600 Kg/cm<sup>2</sup>
- Su precisión es del orden de +/-0.2 - +/-0.5%

#### **Termómetros:**

##### Termómetros de vidrio en líquido:

- Ser líquido en el intervalo nominal del termómetro,
- Tener un coeficiente de expansión lineal,
- Ser opaco o con color, para su fácil lectura,
- No “mojar” por fuerzas adhesivas la superficie del capilar,
- Ser químicamente inerte con respecto a otros materiales en el sistema.

- Ser químicamente estable,
- No ser dañino, para seguridad en manufactura y uso,
- Tener un menisco bien definido, para fácil lectura.

**Tabla 4: Tabla de las propiedades de los líquidos de medición de temperatura**

Líquido Termométrico	Intervalo Típico	Coefficiente de Expansión Típico Relativo en Vidrio
	°C	°C <sup>-1</sup>
Mercurio	-38...+600	0,000 16
Alcohol, etanol	-80...+60	0,001 04
Tolueno	-80...+100	0,001 03
Pentano	-200...+30	0,001 45

Fuente: (Cortes)

Termómetros de Resistencia de Platino:

- Químicamente inerte a altas temperaturas.
- Punto de fusión alto (1772°C)
- Resistente a la oxidación a altas temperaturas.
- Coeficiente de resistividad relativamente alto ( $10 \cdot 10^{-8} \Omega m$ )
- Relación altamente lineal de resistencia contra temperatura.

**Tabla 5: Tabla de tipos de termómetros por resistencia de platino**

Material	Tipo de Termómetro	Geometría	Alcance de Uso °C
Platino	Patrón	Cápsula	-259 a 232
		Tallo largo	-200 a 660
		Alta temperatura	660 a 962
	Industrial	Cualquier forma	-200 a 850

Fuente: (Cortes)

Termopar:

- Sencillez y manejabilidad
- No es frágil
- Bajo costo
- De larga duración y confiabilidad, ya que da lecturas continuas de la presión
- Puede leerse a distancia
- No le perjudica el ser sometido a la presión atmosférica, salvo el de combustión si se expone cuando el filamento esta caliente
- Su escala no es lineal
- Debe calibrarse para cada gas
- Su intervalo de medida es de 0.5

**Tabla 6: Tabla de Tipos de termopares**

Tipo	Alcance Temperatura °C	Materiales y Aleaciones (+) Vs. (-)
Metal - Base		
E	-270 a 1 000	níquel - cromo Vs. cobre - níquel
J	-210 a 1 200	hierro Vs. cobre - níquel
T	-270 a 400	cobre Vs. cobre - níquel
K	-270 a 1 372	níquel - cromo Vs. níquel - aluminio
N	-270 a 1 300	níquel - cromo - silicio Vs. níquel - silicio - magnesio
Metal - Noble		
R	-50 a 1 768	platino - 13 % rodio Vs. platino
S	-50 a 1 768	platino - 10 % rodio Vs. platino
B	0 a 1 820	platino - 30 % rodio Vs. platino - 6 % rodio

Fuente: (Hoyos, 2010)

TERMOPAR TIPO K

- Bajo costo y en una variedad de sondas.
- Calibración sin recubrimiento hasta 1100°C.

- Con recubrimiento hasta 1260°C.
- Termoelemento positivo: Ni90%, Cr10%
- Termoelemento negativo: Ni95%, Mn2%, Si1%, Al 2%
- F.E.M. producida: -6,458 mV/°C a 48,838 mV/°C
- Pueden tener falta de homogeneidad de tipo mecánico.
- Existen cambios químicos asociados que se presentan durante su empleo (descalibración).

- Se recomienda en atmósferas oxidantes y a temperaturas de trabajo entre 500 y 150°C.

- No debe ser utilizado en atmósferas reductoras ni sulfurosas a menos que esté protegido con un tubo de protección (evitarse hidrógeno, monóxido de carbono u otros gases fuertemente reductores).

#### TIPO E

- Ideales para el uso en bajas temperaturas, en el ámbito criogénico gracias a su sensibilidad.

- Termoelemento positivo: Ni90%, Cr10%
- Termoelemento negativo: Cu55%, Ni45%
- F.E.M. producida: -9,835 mV/°C a 76,373 mV/°C (la mayor).
- Puede usarse en vacío o en atmósfera inerte o medianamente oxidante o reductora.

#### TIPO J

- Es el más popular y ampliamente empleado de todas las combinaciones de metal base debido a su bajo coste.

- Termoelemento positivo: Fe99,5%

- Termoelemento negativo: Cu55%, Ni45%
- Rango limitado. Son ideales para usar en viejos equipos que no aceptan el uso de termopares más modernos.
- F.E.M. producida: -8,096 mV/°C a 42,919 mV/°C.
- Adecuado en atmósferas con escaso oxígeno libre la oxidación del hilo de hierro aumenta rápidamente por encima de 550°C, siendo necesario un mayor diámetro del hilo hasta una temperatura límite de 750°C.

#### TIPO T

- Termoelemento positivo: Cu 100%
- Termoelemento negativo: Cu55%, Ni45%
- F.E.M. producida: -6,258 mV/°C a 20,872 mV/°C.
- Temperatura máxima limitada por la oxidación del cobre por encima de 371°C.
- Se debe evitar atmósferas en donde estén presentes amoníaco, peróxido de hidrógeno, azufre fundido, sulfuro de hidrógeno y anhídrido sulfuroso con un RH de 65% o mayor.
- El termopar tipo T, tiene una elevada resistencia a la corrosión por humedad atmosférica o condensación y puede utilizarse en atmósferas oxidantes o reductora.

#### TIPO N

- Termoelemento positivo: Ni84,4%, Cr14,2%, Si1,4%
- Termoelemento negativo: Ni95,45% Si4,40%, Mg0,15%
- F.E.M. producida: -4,345 mV/°C a 47,513 mV/°C.

- Adecuado para mediciones de alta temperatura gracias a su elevada estabilidad y resistencia a la oxidación de altas temperaturas, y no necesita del platino utilizado en los tipos B, R y S que son más caros

#### TIPO S

- Los pares de calibración S se utilizan para medidas de temperatura industrial y como patrones primarios.

- Termoelemento positivo: Pt90%, Rh10%

- Termoelemento negativo: Pt100%

- F.E.M. producida: -0,236 mV/°C a 18,693 mV/°C.

- Ideales para mediciones de altas temperaturas hasta los 1.300 °C, pero su baja sensibilidad y su elevado precio lo convierten en un instrumento no adecuado para el uso general.

- Debido a su elevada estabilidad, el tipo S es utilizado para la calibración universal del punto de fusión del oro (1064,43 °C).

- Excelente resistencia a la oxidación

#### TIPO R

- Gran aceptación en las aplicaciones industriales de alta temperatura debido a su elevado poder termoeléctrico en estas condiciones.

- Termoelemento positivo: Pt87%, Rh13%.

- Termoelemento negativo: Pt100%.

- F.E.M. producida: -0,226 mV/°C a 21,101 mV/°C.

- Adecuados para la medición de temperaturas de hasta 1.300 °C. Su baja sensibilidad (10  $\mu$ V/°C) y su elevado precio quitan su atractivo.

- Excelente resistencia a la oxidación.



- Las atmósferas con gases reductores como el hidrógeno atacarán al termopar.

#### TIPO B

- Utilizado en la industria para temperaturas más elevadas que ambos ya que con la aleación de Pt-Rh se logra que su temperatura de fusión se eleve y por lo tanto puede emplearse hasta temperaturas mayores.

- Termoelemento positivo: Pt70,4%, Rh29,6%.
- Termoelemento negativo: Pt93,9%, Rh6,1%.
- Adecuados para la medición de altas temperaturas superiores a 1.800 °C.

- F.E.M. producida: 0,000 mV/°C a 13,820 mV/°C.
- Presentan el mismo resultado a 0 °C y 42 °C.
- Excelente resistencia a la oxidación.
- Las atmósferas con gases reductores como el hidrógeno atacarán al termopar

## **2.5 NORMATIVAS APLICABLES**

- ASME Boiler and Pressure Vessel Code; Section X; Fiber- Reinforced Plastic Pressure Vessels.
- ASME Boiler and Pressure Vessel Code; Section VIII Division 1 Rules for Construction of Pressure Vessels.
- ASME VIII Division 1 Rules for Construction of Pressure Vessels
- ASME Boiler and Pressure Vessel Code; Section II, Part D (MATERIALS), 2010

- ASME Boiler and Pressure Vessel Code; Section V (NONDESTRUCTIVE EXAMINATION), 2010
- ASME Boiler and Pressure Vessel Code; Section IX (WELDING AND BRAZING QUALIFICATIONS) 2010
- ASME Boiler and Pressure Vessel Code; Section 16.5, 2003 (PIPE FLANGES AND FLANGED FITTINGS)

## **2.6 MODELOS (ESCALAMIENTO)**

Para manejar una relación compleja entre la velocidad global de reacción y el tipo y tamaño de reactor, se han desarrollado varios métodos semi-empíricos como: Método de similitud química (similitud dimensional aplicada a reacciones químicas) y el Método de formulación de modelos matemáticos que se facilita gracias a la disponibilidad de computadoras de alta velocidad. Estos métodos necesitan datos cinéticos básicos a escala de laboratorio y/o estudios a escala de planta piloto, tanto como de la experiencia y práctica. (Perry, 2001)

### **2.6.1 SIMILITUD QUÍMICA**

Este método consiste en construir unidades de tamaño progresivamente crecientes, en base a varios grupos carentes de dimensiones que se derivan de la aplicación de leyes de conservación de masa, cantidad de movimiento y energía al sistema de la reacción química. Para poder realizar el cambio de escala se debe contar con funciones que vinculen las variables dependientes e independientes en modelo y prototipo. (Perry, 2001)

Los principios de Método según las suposiciones de Stanley M. Walas:

El sistema de reacción en estudio es un mecanismo de primer orden en fase gaseosa del tipo  $A \rightarrow 2$ .

El análisis de las leyes de conservación se basa en una unidad de volumen de un reactor cilíndrico circular de radio  $R$  y longitud  $L$ .

Prevalece la condición de estado estacionario, es decir, no hay acumulación de masa, energía con respecto al tiempo. (Scott, 2001)

El escalamiento confiable de un reactor químico por medio de la similitud dimensional se limita a los sistemas de reacciones relativamente sencillos, por ejemplo, las reacciones homogéneas de primer orden. Resulta muy difícil tener una similitud dimensional completa en un sistema químico, ya que es muy improbable alcanzar una condición tal que la velocidad global de una reacción química desarrollada en reactores a escalas totalmente distas pueda sujetarse a la influencia de parámetros físicos en la misma medida, a menos de que sea el caso de una reacción rápida. (Perry, 2001)

### **2.6.2 Formulación de modelos matemáticos:**

Debido a que el método de similitud dimensional no revela datos cuantitativos directos sobre los mecanismos detallados en la relación con los diferentes procesos de velocidad de que se trata, se deben formular modelos matemáticos, que a menudo son tan complejas que la solución se debe realizar mediante la simulación del mismo en computadoras. Los pasos que se deben seguir para hacer escalamientos mediante la formulación de modelos matemáticos se detallan a continuación:

- *Formulación de las Expresiones matemáticas:* Los diferentes procesos comprendidos en las reacciones son representados por descripciones matemáticas derivadas de las leyes básicas de los procesos de velocidad física y química.

- *Optimización del Proceso:* En esta etapa, los métodos matemáticos de optimización se emplean para determinar condiciones teóricas óptimas, en relación de parámetros clave como: temperatura, presión y composición. Estos métodos de optimización se relacionan con frecuencia con la conversión y distribución del producto.

- *Selección preliminar de tipos de reactor:* En general, las condiciones óptimas establecidas en la etapa anterior no satisfacen con exactitud para los reactores reales, por lo que la selección del reactor se debe realizar de tal manera que las condiciones óptimas deben ser las más aproximadas.

- *Estabilidad del Proceso y sensibilidad paramétrica:* La estabilidad de un reactor químico para un proceso exotérmico se relaciona con la condición de que la velocidad de transferencia de calor sea igual o mayor con de la del calor generado y en donde la temperatura se mantenga relativamente constante.

- *Selección final del sistema de reactor:* En esta etapa se incorporan tanto consideraciones técnicas como económicas a los resultados de los pasos anteriores, para llegar a una solución final que optimice la funcionalidad del reactor con respecto a su tamaño y costo. Los datos obtenidos del reactor experimental se ingresaran al modelo matemático para realizar así un cálculo iterativo. Se puede utilizar un método de simulación computacional para investigar la no idealidad del sistema de reactor

verdadero, de esta manera se puede predecir el comportamiento de un sistema de reactor para una mayor escala. (Perry, 2001)

### **2.6.3 Método estadístico de escalamiento:**

El método diseña el programa experimental basado en el contenido de información y proporciona un programa secuencial de investigación. La suposición básica es la presencia de las diferencias de escalamiento entre etapas de desarrollo independientes. El método se encarga de dirigir condiciones de funcionamiento hacia niveles óptimos. (Perry, 2001)

## CAPÍTULO III

# DISEÑO FABRICACIÓN Y PRUEBAS DEL MODELO A ESCALA

### 3.1 Parámetros del Diseño del Modelo

#### Parámetros Iniciales:

- Volumen de Producción de Nano-partículas: 3lt.
- Relación Volumen Nano-partículas – Borihidruro: 4:1
- Relación Volumen Nano-partículas – CMC: 2:1
- Relación Volumen Nano-partículas – Sulfato de Hierro: 4:1

#### Tanque Borihidruro:

- Volumen de Solución 750 ml que es los tres litros de Nano-partículas dividido para la relación de volumen.

- Volumen de tanque 2.5 lt, debido a que en este tanque se da liberación de Hidrógeno en forma de gas ( $H_2$ ).

- Material Nylon Poliamida (Duralón)
- Diámetro Interno=145mm
- Longitud=195mm
- Temperatura= 20 – 25°C

Cálculo de Presión de Hidrógeno:

Se tiene el dato experimental de que se necesita 67.15 mg de Sulfato de Borohidruro ( $\text{NaBH}_4$ ) para un volumen de 50 ml.

Para 750 ml:

$$750\text{ml} * \frac{67.15\text{mg}}{50\text{ml}} = 1,007 \text{ mg NaBH}_4$$

De la ecuación de la reacción química de las nano-partículas se determina una relación estequiométrica de 4 entre el Borohidruro y el Hidrógeno.

Peso Molecular del  $\text{BH}_4$  y el  $\text{H}_2$ :

$$PM_{\text{NaBH}_4} = PM_{\text{Na}} + PM_{\text{B}} + 4 * PM_{\text{H}} = 37.8 \text{ g/mol} \quad (3.1)$$

$$PM_{\text{H}_2} = 2 \text{ g/mol}$$

Donde:

$$PM_{\text{Na}} = 22.99\text{g/mol}$$

Peso Molecular del Sodio

$$PM_{\text{B}} = 10.81\text{g/mol}$$

Peso Molecular del Boro

$$PM_{\text{H}} = 1 \text{ g/mol}$$

Peso Molecular del Hidrógeno

Número de moles de Hidrógeno

$$1.007 \text{ gNaBH}_4 * \frac{1 \text{ mol de Na BH}_4}{37.8 \text{ g NaBH}_4} * \frac{1 \text{ mol de BH}_4}{1 \text{ NaBH}_4} * \frac{4 \text{ mol H}_2}{1 \text{ mol de BH}_4}$$

$$= 0.11 \text{ mol H}_2$$

De la ecuación de Gas Ideal se despeja la Presión de Hidrógeno:

$$P = \frac{n * R * T}{V} = \frac{0.11 * 0.0821 * 300}{2.5} = 1.04 \text{ atm} = 15.4 \text{ psi} \quad (3.2)$$

Donde:

$n = 0.27 \text{ mol}$	Número de Moles H <sub>2</sub>
$R = 0.0821 \frac{\text{atm}\cdot\text{lt}}{\text{°K}\cdot\text{mol}}$	Constante Universal de los gases
$T = 300 \text{ °K}$	Temperatura
$V = 2.5 \text{ lt}$	Volumen Tanque

- Presión Interna de Diseño: 20 psi
- Presión Externa de Diseño: -15 psi debido a que se va a generar vacío debido a una bomba de vacío.

**Tabla 7: Resumen de parámetros de diseño Tanque Borihidruro Modelo a Escala**

<u>Parámetros de Diseño</u>	<u>Valores</u>
Volumen Tanque	2.5 lt
Material	Nylon Poliamida
Diámetro Interno Tanque	145 mm
Largo Tanque	195 mm
Temperatura de Operación	25 °C
Presión Interna de Diseño	20 psi
Presión Externa de Diseño	-15 psi

#### **Tanque de Carboxi-Metil Celulosa:**

- Volumen de Solución 1500 ml que es los tres litros de Nano-partículas dividido para la relación de volumen.



- Volumen de tanque 3 lt, debido a que este tanque se calienta hasta el punto de ebullición y necesita espacio para estos gases.

- Material Acero Inox austenítico tipo 304
- Diámetro Interno = 4"
- Longitud= 375mm
- Temperatura = 100°C
- Presión Interna de diseño 45.35 psi por calentamiento de tanque
- Presión Externa de diseño -15 psi por Bomba de vacío

**Tabla 8: Resumen de parámetros de diseño Tanque Carboxi – Metil Celulosa Modelo a Escala**

<u>Parámetros de Diseño</u>	<u>Valores</u>
Volumen Tanque	3 lt
Material	AISI 304
Diámetro Interno Tanque	105.6 mm (4.16")
Largo Tanque	375 mm
Temperatura de Operación	100 °C
Presión Interna de Diseño	45.35 psi
Presión Externa de Diseño	-15 psi

#### **Reactor de Nano-partículas:**

- Volumen de Solución 3000 ml que es los tres litros de Nano-partículas dividido para la relación de volumen.

- Volumen de tanque 4000 ml, se deja un volumen libre de 1lt.
- Material Nylon Poliamida (Duralón)
- Diámetro Interno = 145mm

- Longitud=250mm
- Temperatura= 20 – 25°C
- Presión Interna de Diseño 20 psi
- Presión Externa de Diseño -15 psi, debido a bomba de vacío

**Tabla 9: Resumen de parámetros de diseño Tanque Reactor Nanopartículas Modelo a Escala**

<u>Parámetros de Diseño</u>	<u>Valores</u>
Volumen Tanque	4 lt
Material	Nylon Poliamida
Diámetro Interno Tanque	145 mm
Largo Tanque	250 mm
Temperatura de Operación	25 °C
Presión Interna de Diseño	20 psi
Presión Externa de Diseño	-15 psi

## **3.2 Diseño del Tanque de Borihidruro**

### **3.2.1 Diseño Mecánico**

#### **DISEÑO A PRESIÓN EXTERNA:**

En base a la Norma:

- ASME Boiler and Pressure Vessel Code; Section X; Fiber-Reinforced Plastic Pressure Vessels.

Presión Externa Admisible asumiendo un espesor de 0.6 in

$$Pas1 = \frac{K * \left(\frac{Er}{Fs}\right) * \left(\frac{Do}{L}\right) * \left(\frac{ts}{Do}\right)^{5/2}}{1 - 0.45 \sqrt{\frac{ts}{Do}}} = 130.702 \text{ psi} \quad (3.3)$$

Donde:

$K = 2.6$	<i>Factor de Concentración de Esfuerzo</i>
$Er = 113786.75 \text{ psi}$	<i>Módulo de Tensión Axial</i>
$Do = 7.1 \text{ in}$	<i>Diámetro Interno</i>
$L = 7.677 \text{ in}$	<i>Longitud de Tanque</i>
$ts = 0.6 \text{ in}$	<i>Espesor de Pared de Tanque</i>
$Fs = 5$	<i>Factor de Diseño para Presión Externa</i>

## DISEÑO A PRESIÓN INTERNA:

### Ejemplo de Cálculo

En base a norma:

ASME Boiler and Pressure Vessel Code; Section X; Fiber- Reinforced

Plastic Pressure Vessels

Espesor de pared para esfuerzo longitudinal:

$$t1 = \frac{P * R}{2 * (0.001 * E1 - 0.6 * P)} = 0.29 \text{ in (7.36 mm)} \quad (3.4)$$

Donde:

$P = 20 \text{ psi}$	<i>Presión Interna</i>
$R = 2.953 \text{ in}$	<i>Radio Interno</i>
$E1 = 1.138 \times 10^5 \text{ psi}$	<i>Módulo de Tensión Longitudinal</i>

Espesor de pared por esfuerzo circunferencial:

$$t_2 = \frac{P \cdot R}{(0.001 \cdot E \cdot 1 - 0.6 \cdot P)} = 0.58 \text{ in (14.7 mm)} \quad (3.5)$$

Donde:

$$P = 20 \text{ psi} \quad \text{Presión Interna}$$

$$R = 2.953 \text{ in} \quad \text{Radio Interno}$$

$$E = 1.138 \times 10^5 \text{ psi} \quad \text{Módulo de Tensión Circunferencial}$$

Revisar Cálculo en Anexo B

**Tabla 10: Resumen de Cálculo de diseño de tanque de Borihidruro  
Modelo a escala  
RESUMEN DE CÁLCULO**

<u>Descripción</u>	<u>Valores</u>
Espesor de Pared	15 mm
Presión Externa Admisible	130 psi
Espesor de Pared mínimo por esfuerzo longitudinal	7.4 mm
Espesor de Pared mínimo por esfuerzo circunferencial	14.8 mm

Tras haber realizado los cálculos se determinó que el espesor requerido para el recipiente es de 15 mm, ya que este espesor soporta tanto los esfuerzos por presión interna como por presión externa, además permite una fácil maquinabilidad y adaptación de elementos roscados.

### 3.2.2 Instrumentación

- Manómetro Winters de Glicerina rango de presión 0-100 psi, con toma de 1/2" NPT, bronce.

**Tabla 11: Tabla de Parámetros de Operación de Manómetro Winters**



#### 3820-3820N

##### Manómetro Ø53

Caja ABS. Tubo bourdon y racor latón UNE-EN 12165.  
3820 Rosca 1/4" macho gas (BSP) y 3820N rosca NPT.  
Graduaciones disponibles 0 a 2.5-4-6-10-16-25 bar.  
Salida inferior (radial). Clase de precisión 2,5. Peso 68 grs.

##### Pressure gauge Ø53

ABS case. Brass bourdon pipe and connector UNE-EN 12165. 1/4" male gas threaded (BSP) and 3820N - NPT.  
Scale available from 0-2,5-4-6-10-16-25 bar. Bottom connection (radial). Precision class 2,5. Weight 68 grs.

	bar		psi		
	bar	psi	bar	psi	
3820 002	0-2,5	0-40	1-280-6720	1,09	
3820 004	0-4	0-60	1-280-6720	1,09	
3820 006	0-6	0-90	1-280-6720	1,09	
3820 010	0-10	0-150	1-280-6720	1,09	
3820 016	0-16	0-240	1-280-6720	1,09	
3820 025	0-25	0-400	1-280-6720	1,09	

	bar		psi		
	bar	psi	bar	psi	
3820N 002	0-2,5	0-40	1-280-6720	1,12	
3820N 004	0-4	0-60	1-280-6720	1,12	
3820N 006	0-6	0-90	1-280-6720	1,12	
3820N 010	0-10	0-150	1-280-6720	1,12	
3820N 016	0-16	0-240	1-280-6720	1,12	
3820N 025	0-25	0-400	1-280-6720	1,12	

Fuente: (Winters)

Revisar Catálogo en Anexo G

### 3.3 Diseño del Tanque Carboxi-metil celulosa:

#### 3.3.1 Diseño Mecánico

##### DISEÑO A PRESIÓN INTERNA:

##### Ejemplo de Cálculo

En base a Norma:

- ASME Boiler and Pressure Vessel Code; Section VIII Division 1 Rules for Construction of Pressure Vessels.

Para un espesor de  $t_s=0.12\text{in}$

1) Espesor mínimo admisible para esfuerzo circunferencial:

$$t_{sc1} = \frac{Pd \cdot Ri}{Ss \cdot E_{jf} - 0.6 \cdot Pd} = 9.786 \times 10^{-3} \text{in} \quad (0.25 \text{mm}) \quad (3.6)$$

Presión Admisible:

$$Pa1 = \frac{(Ss * E_{jf} * ts)}{Ri + 0.6 * ts} = 539.38 \text{ psi} \quad (3.7)$$

Donde:

$Pd = 45.35 \text{ psi}$	Presión de Diseño
$Ri = 2.13 \text{ in}$	Radio Interno
$Ss = 16496 \text{ psi}$	Esfuerzo Máximo Admisible
$E_{jf} = 0.6$	Eficiencia de la junta

2) Espesor mínimo admisible para esfuerzo longitudinal:

$$tsc2 = \frac{Pd * Ri}{2 * Ss * E_{jf} + 0.4 * Pd} = 4.87 \times 10^{-3} \text{ in (0.12 mm)} \quad (3.8)$$

Presión Admisible:

$$Pa2 = \frac{2(Ss * E_{jf} * ts)}{Ri - 0.4 * ts} = 1141 \text{ psi} \quad (3.9)$$

## DISEÑO A PRESIÓN EXTERNA:

### Ejemplo de Cálculo

- ASME Boiler and Pressure Vessel Code; Section VIII Division 1 Rules for Construction of Pressure Vessels.

Relación entre diámetro y espesor mayor o igual a 10.

Presión Externa admisible:

$$Pas = \frac{4 * Bs}{3 * \left(\frac{Do}{ts}\right)} = 118.89 \text{ psi} \quad (3.10)$$

Donde:

$D_o = 5.63 \text{ in}$	Diámetro Externo del tanque
$A_s = 0.0012$	Valor obtenido de Norma ASME II
$B_s = 8366.71 \text{ psi}$	Valor obtenido de Norma ASME II
$t_s = 8366.71 \text{ psi}$	Espesor de pared especificado para diseño.

Revisar cálculo en Anexo B

**Tabla 12: Resumen de Cálculo de diseño de tanque de Carboxi-Metil Celulosa Modelo a escala**

### RESUMEN DE CÁLCULO

<u>Descripción</u>	<u>Valores</u>
Espesor de pared de tanque	3.048 mm
Espesor mínimo por esfuerzo circunferencial	0.28 mm
Espesor mínimo por esfuerzo longitudinal	0.12 mm
Presión Interna Admisible	539.38 psi
Presión Externa Admisible	118.89 psi

Tras haber realizado los cálculos se determinó que el espesor requerido para el recipiente es de 3.048 mm, debido a que este soporta los esfuerzos por presión interna y externa, soporta las cargas como son motor y tapa y permite la soldabilidad del tanque con otros elementos.

### 3.3.2 Diseño Térmico (Selección de Calentador)

Calor por cambio de temperatura:

$$\dot{Q} = \frac{c_p * \rho * V * (T_2 - T_1)}{t} = 1680 \text{ W} \quad (3.11)$$

Donde:

$$c_p = 4200 \frac{\text{J}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \quad \text{Calor Específico del Agua}$$

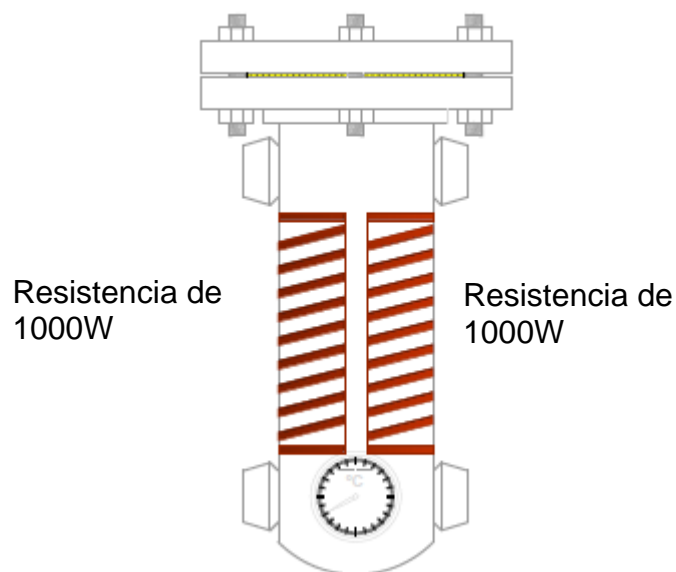
$$\rho = 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \quad \text{Densidad del Agua}$$

$$V = 0.003 \text{ m}^3 \quad \text{Volumen de Agua a Calentar}$$

$$T_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C} \quad \text{Temperatura Inicial de la Solución}$$

$$T_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C} \quad \text{Temperatura final de la Solución}$$

Por lo tanto se escoge un calentador eléctrico tipo abrazadera con bisagras, con dos resistencias eléctricas de 1000 W cada una.



**Figura 38: Esquema Resistencias Tipo Abrazadera**





**Figura 39: Fotografía Tanque CMC con resistencias**

### **3.3.3 Instrumentación**

- Termómetro 0-115 °C C3 CV1/2" Bulbo 4" WINTERS

## **3.4 Diseño del Reactor:**

### **3.4.1 Diseño Mecánico**

Diseño a Presión Externa y Presión Interna en base a:

- ASME Boiler and Pressure Vessel Code; Section X; Fiber- Reinforced Plastic Pressure Vessels.

Revisar Cálculo en Anexo B

**Tabla 13: Resumen de Cálculo de diseño de tanque de Nanopartículas Modelo a escala**  
**RESUMEN DE CÁLCULO**

<u>Descripción</u>	<u>Valores</u>
Espesor de Pared	15 mm
Presión Externa Admisible	107 psi
Espesor de Pared mínimo por esfuerzo longitudinal	7 mm
Espesor de Pared mínimo por esfuerzo circunferencial	14 mm

Se escogió un espesor de 15 mm de pared debido a que soporta tanto los esfuerzos generados por la presión interna como presión externa, además permite una fácil maquinabilidad y adaptación de elementos roscados.

### 3.4.2 Instrumentación

- Mano-vacuómetro Winters -30”Hg-150Psi, 4 ½ ” de Dial, Inox
- Termómetro 0-115 °C C3 CV1/2” Bulbo 4” WINTERS
- Juego de llaves nivel de SS Acero con tomas de ½” NPT, con tubo visor.
- Medidor de Oxígeno Disuelto Hanna Instrument

## 3.5 Fabricación:

### 3.5.1 Fabricación de los Tanques

#### Tanque Borihidruro:

Material Nylon Poliamida (Duralón)

### Materiales

- Tocho de Duralón de Ø230X285 mm

### Cuerpo

- Refrentado de caras
- Cilindrado entre dos puntos por torno
- Maquinado en CNC
- Taladrado para aberturas
- Machuelado para roscas NPT

### Tapa

- Refrentado de caras
- Cilindrado entre dos puntos por torno
- Corte por Cizalla
- Taladrado para aberturas
- Machuelado para roscas NPT



**Figura 40: Fotografía Materia prima para reactor y tanque de Borhidruro**



**Figura 41: Fotografía tanque de Borhidruro al finalizar proceso de fabricación**

#### **Tanque Carboxi - Metil Celulosa:**

Material Acero Inox austenítico 304

#### Materiales

- Brida Inox deslizable 4" X 150 lbs T304
- Brida Inox ciega 4" X 150 lbs T304
- Tubería Inox 304 SCH40 Ø4"X335mm
- Plancha Inox 304 4mm Ø140mm
- Threatolet Inox roscados ½" por 3000 lbs T304

#### Cuerpo

- Unión de Brida deslizable con Tubo Inóx con soldadura TIG.
- Taladrado de aberturas en cuerpo
- Soldeo TIG de threatolet con el tanque
- Doblado de plancha inox para dar forma semiesférica
- Unión de plancha doblada con Tubo a través de soldadura TIG.

### Tapa

- Brida Ciega
- Taladrado y Machuelado para aberturas de tapa.



**Figura 42: Fotografía de Tanque de Carboxi al finalizar proceso de fabricación**

### **Reactor Nano – partículas:**

Material Nylon Poliamida (Duralón)

### Materiales

- Tocho de Duralón de Ø250X285 mm

### Cuerpo

- Refrentado y cilindrado entre dos puntos por torno
- Maquinado en CNC
- Taladrado para aberturas
- Machuelado para roscas NPT

## Tapa

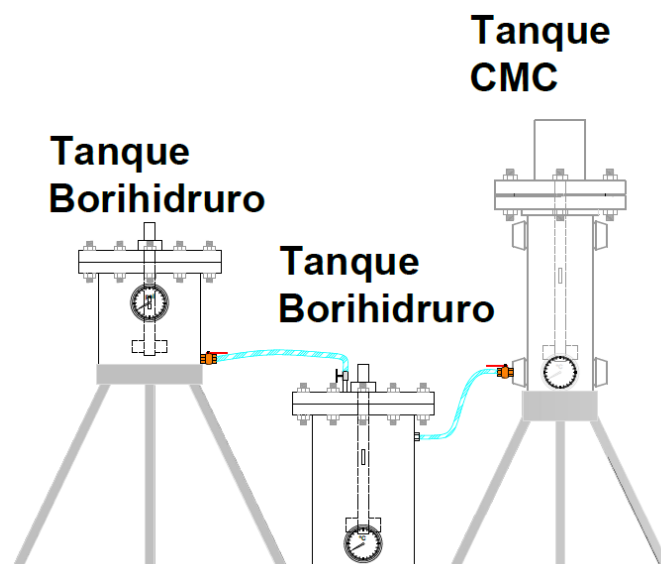
- Cilindrado entre dos puntos por torno
- Corte por Cizalla
- Taladrado para aberturas
- Machuelado para roscas NPT



**Figura 43: Fotografía de Reactor al finalizar proceso de fabricación**

### 3.5.2 Implementación

La implementación se realizará en base al siguiente esquema:



**Figura 44: Esquema de Implantación**

## CÁLCULO DE POTENCIA REQUERIDA POR MOTORES

### Tanque Borihidruro:

#### Cálculo de RPM requeridas por motor:

Para tener un flujo turbulento se necesita un número de Reynolds mayor a 10000.

Ecuación del Número de Reynolds:

$$N_{RE} = \frac{D_a^2 * N * \rho}{\mu} \quad (3.12)$$

Donde:

$$D_a = 0.06 \text{ m} \quad \text{Diámetro del impulsor}$$

$$N \rightarrow \text{Velocidad de Rotación en rev/s}$$

$$\rho = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{Densidad del Agua}$$

$$\mu = 0.001 \text{ Pa} \cdot \text{s} \quad \text{Viscosidad dinámica del agua}$$

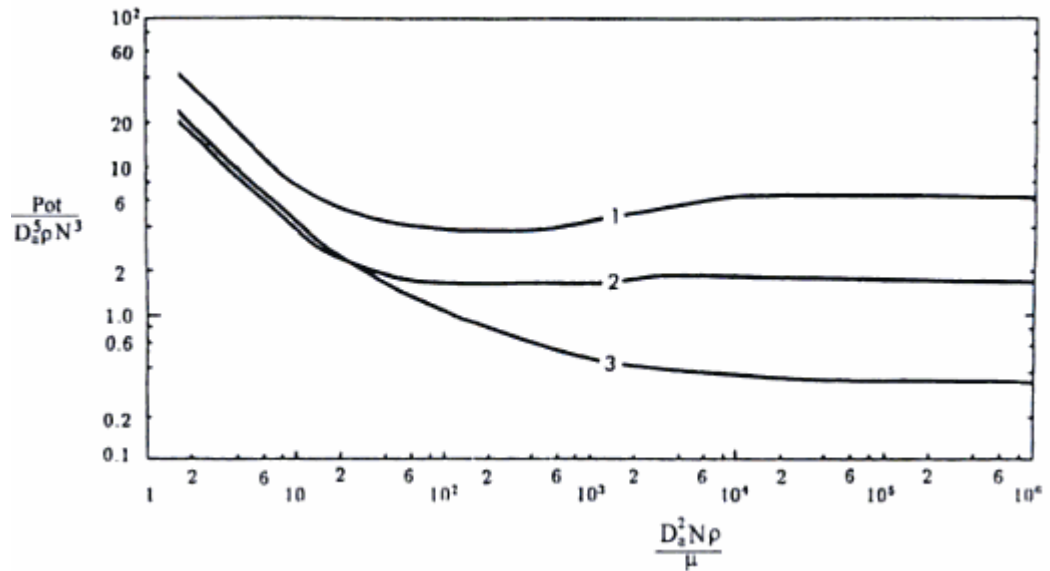
Para un  $Re=10000$  se despeja la velocidad de rotación

$$N = \frac{10000 * 0.001}{0.06^2 * 1000} = 2.78 \frac{\text{rev}}{\text{s}} = 168 \text{ RPM}$$

Para tener flujo turbulento el motor mínimo debe dar 168 RPM.

Se escogió un motor 12 VDC, con una velocidad de salida de 200 RPM y se tiene un Número de Reynolds de 12000.

Consumo de Potencia por Agitación:



**Figura 45: Gráfica relación entre el Número de Potencia y el Número de Reynolds**

Fuente: (Dondé Castro, 2005)

1. Turbina de 6 Aspas verticales 2. Impulsor de 2 paletas planas verticales 3. Propelas marina 3 aspas

Sacando de la gráfica Número de Potencia vs. Número de Reynolds, para un Reynolds de 12000 se tiene un número de potencia de 2, para impulsor de 2 paletas planas verticales.

De la fórmula del Número de Potencia, se despeja la Potencia y se tiene que:

$$Pot = \frac{D_a^5 * \rho * N^3}{N_{POT}} = 0.014 W \quad (3.13)$$

Donde:

$$D_a = 0.06 m \quad \text{Diámetro del impulsor}$$

$$N = \frac{200}{60} = 3.33 \quad \text{Velocidad de Rotación en rev/s}$$



$$\rho = 1000 \frac{kg}{m^3} \quad \text{Densidad del Agua}$$

$$N_{POT} = 2 \quad \text{Viscosidad dinámica del agua}$$

Cálculo de Torque para mover inercia del eje:

Masa de Eje de Duralón:

$$M_{eje} = V * \rho = \frac{\pi}{4} (\phi_{eje}^2 * L_{eje}) * 1140 = \frac{\pi}{4} (0.02^2 * 0.185) * 1140 \quad (3.14)$$

$$= 0.067 \text{ Kg}$$

$$M_{paletas} = 2 * a_{paleta} * \left(\frac{\phi_{paleta}^2 * \pi}{4}\right) * \rho = 0.025 * \left(\frac{0.06^2 * \pi}{4}\right) * 1140 \quad (3.15)$$

$$= 0.172 \text{ Kg}$$

Donde:

$$\phi_{eje} = 0.02 \text{ m} \quad \text{Diámetro del eje del agitador}$$

$$L_{eje} = 0.185 \text{ m} \quad \text{Longitud del eje agitador}$$

$$\rho = 1140 \frac{Kg}{m^3} \quad \text{Densidad de Duralón}$$

Inercia del eje:

$$I_{eje} = \frac{1}{2} * m_{eje} * r_{giro}^2 + \frac{1}{2} * m_{paletas} * r_{giro}^2 \quad (3.16)$$

$$= 0.5 * (0.067 * 0.01^2 + 0.172 * 0.03^2) = 8.075 * 10^{-5} \text{ Kg} * m^2$$

Se asume que las paletas son discos, de esta manera tendrán más Inercia y se asume que se llega a la velocidad angular en medio segundo por lo que se tendrá un aceleración angular  $\alpha=400 \text{ rad/s}$

El Torque necesario para vencer la Inercia del eje es:

$$\tau = I_{eje} * \alpha = 8.075 * 10^{-5} * 400 = 0.0323 \text{ Nm} \quad (3.17)$$

La Potencia Eléctrica de un motor de 12 DC a 1A es 12W.

La Potencia Mecánica es aproximadamente el 80% por lo tanto la Potencia es 9.6 W.

El Torque que da el motor a 200 RPM es:

$$\tau_{motor} = \frac{P_{mec} * 9.95}{300} = \frac{12 * 9.95}{300} = 0.398 \text{ Nm} \quad (3.18)$$

Se escoge este motor porque su precio es económico y es fácil de encontrar en el mercado, su Torque es casi 10 veces mayor al necesario por lo que trabajará sin problemas.

### **Tanque Carboxi:**

#### Cálculo de RPM requeridas por motor:

Para tener un flujo turbulento se necesita un número de Reynolds mayor a 10000.

Para un Re=10000 se despeja la velocidad de rotación

$$N = \frac{10000 * 0.001}{0.06^2 * 1000} = 2.78 \frac{rev}{s} = 168 \text{ RPM}$$

Para tener flujo turbulento el motor mínimo debe dar 168 RPM.

Consumo de Potencia por Agitación:

El consumo de Potencia por Agitación es el mismo del Tanque de Borihidruro.

Cálculo de Torque para mover inercia del eje:

Masa de Eje de Aluminio:

$$M_{eje} = V * \rho = \frac{\pi}{4} (\phi_{eje}^2 * L_{eje}) * 2700 = \frac{\pi}{4} (0.02^2 * 0.320) * 2700 \quad (3.19)$$

$$= 0.27 \text{ Kg}$$

$$M_{paletas} = 2 * a_{paleta} * \left( \frac{\phi_{paleta}^2 * \pi}{4} \right) * \rho = 2 * 0.025 * \left( \frac{0.06^2 * \pi}{4} \right) * 2700 \quad (3.20)$$

$$= 0.38 \text{ Kg}$$

Donde:

$$\phi_{eje} = 0.02 \text{ m} \quad \text{Diámetro del eje del agitador}$$

$$L_{eje} = 0.320 \text{ m} \quad \text{Longitud del eje agitador}$$

$$\rho = 2700 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \quad \text{Densidad de Aluminio}$$

Inercia del eje:

$$I_{eje} = 0.5 * (0.27 * 0.01^2 + 0.38 * 0.03^2) = 1.845 * 10^{-4} \text{ Kg} * \text{m}^2$$

Se asume que las paletas son discos para que tengan más Inercia y se asume que se llega a la velocidad angular en medio segundo por lo que se tiene un aceleración angular  $\alpha=400 \text{ rad/s}$

El Torque necesario para vencer la Inercia del eje es:

$$\tau = 0.0738 Nm$$

Se escogió un Motor AC que tiene velocidad de salida 230RPM y un Torque de 34 Kg-cm, 3.33 Nm. Es necesario tener un torque tan alto debido a que este tanque se calienta y el eje de aluminio tiende que expandirse por lo que necesita un buen torque para poder seguir girando mientras el tanque se calienta.

#### **Tanque Reactor Nano-partículas:**

Se escogió un motor de las mismas características del Tanque de Borihidruro, puesto que los agitadores y los tanques son muy similares.

### **3.6 Pruebas de Funcionamiento:**

#### **3.6.1 Tanque Carboxi-Metil Celulosa**

##### **Prueba Neumática:**

Después de la inspección visual donde se pudo constatar que el recipiente está construido según lo especificado en los planos, se realizó la prueba neumática a una presión interna de 60 psi y se mantuvo ésta presión durante 2 horas para verificar que no existan fugas. La presión de diseño de éste recipientes es de 45.35 psi. y se utilizó la siguiente fórmula para determinar la presión de prueba (según ASME BVPC Section VIII – Div. 1)

$$Ph = 1.3 * (MAWP \text{ ó } Pd) * \frac{S(temp.prueba)}{S(temp.diseño)} = 60 \text{ psi} \quad (3.21)$$

Donde:

**Ph:** Presión de Prueba

**MAWP:** Presión máxima permisible de trabajo

**Pd:** Presión de diseño

$\frac{S(temp.prueba)}{S(temp.diseño)}$  : Relación entre valores máximos admisibles de esfuerzo

En este caso la relación citada anteriormente será igual a uno (1).



**Figura 46: Fotografía Prueba Neumática Tanque Carboxi**



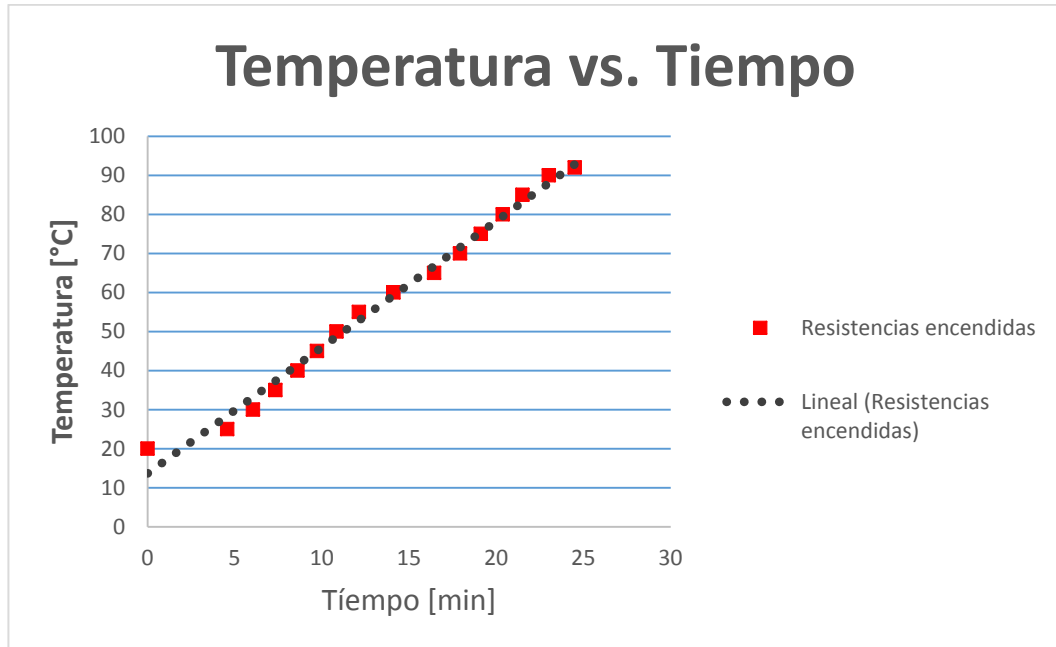
**Figura 47: Fotografía Manómetro de Prueba Tanque Carboxi**

## Prueba de Calentamiento de Tanque

Se calentó el tanque de Carboxi con las resistencias, hasta una temperatura de 92°C un volumen de 1550 ml de agua con 15 gr. de Carboxi – Metil Celulosa en polvo y se obtuvieron los siguientes resultados.

**Tabla 14: Tabla de Prueba de Calentamiento Tanque Carboxi**

<u>Tiempo</u>	<u>Temperatura</u>	<u>Resistencia</u>
0 min	20 °C	Encendida
4:34 min	25 °C	Encendida
6:03 min	30 °C	Encendida
7:20 min	35 °C	Encendida
8:36 min	40 °C	Encendida
9:43 Min	45 °C	Encendida
10:50 min	50 °C	Apagada
12:07 min	55 °C	Apagada
14:06 min	60 °C	Encendida
16:26 min	65 °C	Encendida
17:55 min	70 °C	Encendida
19:07 min	75 °C	Encendida
20:22 min	80 °C	Encendida
21:30 min	85 °C	Apagada
23:01 min	90 °C	Apagada
24:30 min	92 °C	Apagada



**Figura 48: Gráfica Temperatura vs. Tiempo calentamiento tanque Carboxi**



**Figura 49: Fotografía Prueba de Calentamiento Tanque Carboxi**  
Este tanque alcanzó la temperatura de 92°C en 24 minutos y para lograr

que se disuelva toda la Carboxi en la solución se mantuvo girando durante 10 minutos a esta temperatura apagada las resistencias.

El tiempo de enfriamiento de la Carboxi es aproximadamente 6 horas.

En el experimento se determinó que este tanque tiene un volumen de agua evaporado de 50 ml, por lo que se debe disolver 15 gr. de polvo de Carboxi-metil Celulosa en 1550 de ml agua, para obtener como producto final (en la mezcla de las tres soluciones) 3 lt. de Nano partículas.

### **3.6.2 Tanque Borihidruro**

#### **Prueba Neumática:**

Después de la inspección visual donde se pudo constatar que el recipiente está construido según lo especificado en los planos, se realizó la prueba neumática a una presión interna de 35 psi y se la mantuvo durante 2 horas para revisar que no existan fugas. Según el ASME BVPC Sección X, la presión de prueba debe ser mínimo 1.1 veces la presión de diseño; así que, teniendo un criterio conservador, se decide tener una presión 1.3 veces la presión de diseño (nos basamos en el cálculo realizado para la el recipiente CMC). Tener en cuenta que la presurización del recipiente no debe exceder una velocidad de 2% de la máxima presión de prueba por minuto.

En este tanque se determinó que existe un volumen muerto de 335 ml, por lo que se debe disolver 1.46 gr. de Borihidruro de Sodio en polvo, en 1085 ml de agua para tener como producto final (en la mezcla de las tres soluciones) 3lt. de Nano-partículas.



### **3.6.3 Reactor**

#### **Prueba Neumática:**

Después de la inspección visual donde se pudo constatar que el recipiente está construido según lo especificado en los planos, se realizó la prueba neumática a una presión interna de 35 psi y se la mantuvo durante 2 horas para revisar que no existan fugas. Según el ASME BVPC Sección X, la presión de prueba debe ser mínimo 1.1 veces la presión de diseño; así que, teniendo un criterio conservador, se decide tener una presión 1.3 veces la presión de diseño (nos basamos en el cálculo realizado para la el recipiente CMC). Tener en cuenta que la presurización del recipiente no debe exceder una velocidad de 2% de la máxima presión de prueba por minuto.

#### **Prueba de Vacío:**

Se realizó la prueba una prueba de vacío con la bomba que se va a utilizar en el experimento y se llegó a una presión de -2 psi, a la cual llega la bomba, y se mantuvo durante 2 horas.

En este tanque se debe disolver primero 20.85 gr. de Sulfato de Hierro en 750 ml de agua para tener como resultado final (en la mezcla de las tres soluciones) 3lt. de Nano-Partículas.



**Figura 50: Fotografía de generación de vacío en Reactor**

## **EXPERIMENTO PARA LA OBTENCIÓN DE NANOPARTÍCULAS**

El experimento debe ser llevado a cabo según el procedimiento establecido en el ANEXO F



**Figura 51: Fotografía Experimento Nano-partículas**

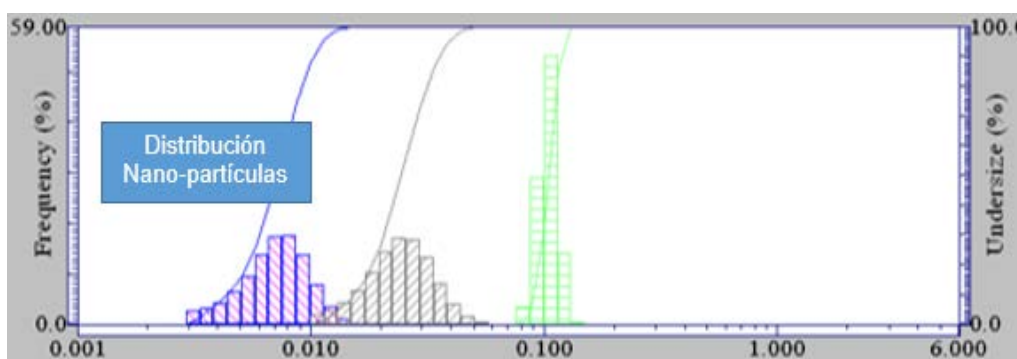
Al realizar el experimento se obtuvieron los siguientes resultados:



**Figura 52: Fotografía Nano-partículas finales en Matraz de 100ml**

Se puede observar claramente que el color de las nano-partículas es completamente negro, inclusive a contra luz; esto es un indicador de que las mismas se formaron.

Las Nano- partículas obtenidas tenían las siguientes características



**Figura 53: Distribución de tamaño de Nano-partículas**

En el gráfico se puede observar que las nano-partículas se encuentran en el rango de 0 – 100 nm, y tienen una distribución normal.

**Tabla 15: Tabla distribución de tamaño nano-partículas en experimento**

**Tabla distribución de tamaño  
Nano - partículas**

<u>Descripción</u>	<u>Dimensión</u>
Mediana	0.0072 $\mu\text{m}$
Media	0.0073 $\mu\text{m}$
Varianza	5.02 E-6 $\mu\text{m}$
Desviación Standard	0.0022 $\mu\text{m}$
Covarianza	1.96 E-2 $\mu\text{m}^2$
Coefficiente de Difusión	1.46 E-2 $\text{m}^2/\text{s}$

## CAPÍTULO IV

### DISEÑO DEL PROTOTIPO

#### 4.1 Características y Parámetros:

##### 4.1.1 Temperatura:

- Los tanques de Borihidruro y de Nano-partículas están diseñados a temperatura ambiente.
- El Tanque de Carboxi-metil Celulosa está diseñado para soportar rangos de temperatura de 20 – 100 °C. Se determinó mediante el modelo a escala que el calentamiento del tanque debe ser zonificado, dependiendo del volumen que se vaya a calentar.

##### 4.1.2 Presión:

Para un tanque de 1.2 m<sup>3</sup>, se determinó que se necesita una cantidad de 1611.6 gr. de NBH<sub>4</sub>, por lo que se dará una presión de Hidrógeno de 51.45 psi.

- Tanque Borihidruro está diseñado a una presión interna de 71.3 psi, para mantenimiento y a una presión externa de 15.4 psi.
- Tanque de Carboxi-Metil Celulosa está diseñado a una presión interna de 25 psi y a una presión externa de 15 psi.
- Tanque Reactor de Nano-partículas está diseñado a un presión interna de 71.3 psi y a una presión externa de 15.4 psi.

### 4.1.3 Volumen:

- Tanque Borihidruro 1.2 m<sup>3</sup>.
- Tanque de Carboxi-Metil Celulosa 1m<sup>3</sup>.
- Tanque Reactor de Nano-partículas 2m<sup>3</sup>.

### 4.1.4 Forma (Relacionada con Volumen)

#### Diseño Tanques de Acero:

- Reactor Nano-partículas  $\varnothing_{\text{interno}}=1.2\text{m}$  y largo 1.6m (horizontal).
- Tanque Borihidruro  $\varnothing_{\text{interno}}=1\text{m}$  y largo 1.27m (vertical)
- Tanque Carboxi  $\varnothing_{\text{interno}}= 1\text{m}$  y largo 1.27 m (vertical).

#### Diseño Tanques de Plástico:

- Tanque Borihidruro  $\varnothing_{\text{interno}}=1.1\text{m}$  y largo 1.54m (Horizontal).
- Reactor Nano-partículas  $\varnothing_{\text{interno}}=1.2\text{m}$  y largo 1.9m (Horizontal).

**Tabla 16: Resumen de parámetros de diseño Tanque Borihidruro Plástico Prototipo**  
**TANQUE BORIHIDRURO PLÁSTICO**

<u>Parámetros de Diseño</u>	<u>Valores</u>
Volumen Tanque	1.2 m <sup>3</sup>
Material	Polietileno de alta densidad
Diámetro Interno Tanque	1.1 m
Largo Tanque	1.54 m
Temperatura de Operación	20 °C
Presión Interna de Diseño	71.3 psi
Presión Externa de Diseño	-15 psi

**Tabla 17: Resumen de parámetros de diseño Tanque Borihidruro  
Acero Prototipo  
TANQUE BORIHIDRURO Acero**

<b><u>Parámetros de Diseño</u></b>	<b><u>Valores</u></b>
Volumen Tanque	1 m <sup>3</sup>
Material	AISI 304 Austenítico
Diámetro Interno Tanque	1 m
Largo Tanque	1.27 m
Temperatura de Operación	20 °C
Presión Interna de Diseño	71.3 psi
Presión Externa de Diseño	-15 psi

**Tabla 18: Resumen de parámetros de diseño Tanque Carboxi Acero  
Prototipo  
TANQUE Carboxi Acero**

<b><u>Parámetros de Diseño</u></b>	<b><u>Valores</u></b>
Volumen Tanque	1 m <sup>3</sup>
Material	AISI 304 Austenítico
Diámetro Interno Tanque	1 m
Largo Tanque	1.27 m
Temperatura de Operación	100 °C
Presión Interna de Diseño	25 psi
Presión Externa de Diseño	-15 psi

**Tabla 19: Resumen de parámetros de diseño Tanque Nano-partículas Plástico Prototipo  
TANQUE NANO-PARTÍCULAS PLÁSTICO**

<u>Parámetros de Diseño</u>	<u>Valores</u>
Volumen Tanque	2 m <sup>3</sup>
Material	Polietileno de alta densidad
Diámetro Interno Tanque	1.2 m
Largo Tanque	1.9 m
Temperatura de Operación	20 °C
Presión Interna de Diseño	71.3 psi
Presión Externa de Diseño	-15 psi

**Tabla 20: Resumen de parámetros de diseño Tanque Nano-partículas Acero Prototipo  
TANQUE NANO-PARTÍCULAS Acero**

<u>Parámetros de Diseño</u>	<u>Valores</u>
Volumen Tanque	2 m <sup>3</sup>
Material	AISI 304 Austenítico
Diámetro Interno Tanque	1.2 m
Largo Tanque	1.6 m
Temperatura de Operación	20 °C
Presión Interna de Diseño	71.3 psi
Presión Externa de Diseño	-15 psi



## 4.2 Diseño de Tanques:

### 4.2.1 Tanques en Plástico (Según ASME BVPC Section X) con presión externa

#### TANQUE BORIHIDRURO:

#### Diseño Presión Externa Tanque sin anillos rigidizadores:

Material DOWLEX IP – 10262 Polietileno de Alta Densidad

Asumiendo un espesor de 0.5 in, se determinó un Presión

Externa admisible de 0.578 psi.

#### Ejemplo de Cálculo para determinar Presión Externa Admisible en cabezas:

Se asume un espesor  $t_h=0.5$  in

**Tabla 21: Tabla de Valores de Factores Radiales Esféricos para cabezas elipsoidales**

**VALUES OF SPHERICAL RADIUS FACTOR  
 $K_o$  FOR ELLIPSOIDAL HEADS  
WITH PRESSURE ON CONVEX SIDE**

Major-to-Minor Axis Ratio	$K_o$
2.0	0.9
1.8	0.81
1.6	0.73
1.4	0.65
1.2	0.57
1.0	0.50

Presión Externa Admisible para cabezas:

$$P_{ah} = \frac{0.41 * \left(\frac{E}{F}\right) * t_h^2}{\sqrt{3 * (1 - \nu_1 * \nu_2)} * (K_o * D_o)^2} = 0.92 \text{ psi} \quad (4.1)$$

Donde:

$E = 107000 \text{ psi}$  *Módulo de Tensión menor entre meridional y circunferencial*

$F = 5$  *Factor de diseño para presión externa en cabeza*

$th = 0.5 \text{ in}$  *Espesor de pared de cabeza*

$\nu_1 = 0.5$  *Relación de Poisson en dirección longitudinal*

$\nu_2 = 0.5$  *Relación de Poisson en dirección circunferencial*

$K_o = 0.9$  *Factor de Radio Esférico tomado de tabla para cabeza elipsoidal 2:1*

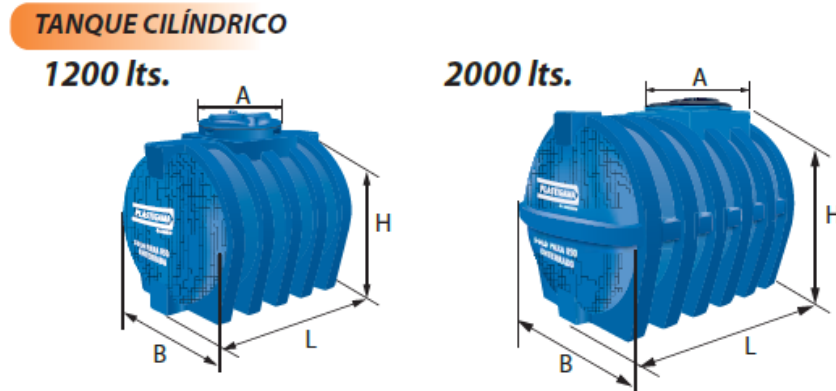
$D_o = 44.3 \text{ in}$  *Diámetro Exterior de tanque*

**Tabla 22: Resumen de Cálculo Tanque Borihidruro Prototipo Plástico sin anillos rigidizadores a presión externa**  
**TANQUE BORIHIDRURO PLÁSTICO**

<u>Parámetros Calculados</u>	<u>Valores</u>
Presión Externa admisible de tanque	0.578 psi
Presión Externa admisible en cabeza elipsoidal	0.92 psi

**Diseño Presión Externa Tanque con anillos rigidizadores:**

Material DOWLEX IP – 10262 Polietileno de Alta Densidad



Capacidad litros			B	L	H	A	Uso
Nominal	Total*	Útil**	mm	mm	mm	mm	
1200	1036	1106	1100	1545	1200	400	Enterrado
2000	1935	1990	1200	1900	1425	620	Enterrado

**Figura 54: Datos Técnicos Tanques Titán Plastigama con anillos rigidizadores**

Fuente: Catálogo Tanques Plastigama

Para determinar la Presión Admisible se utiliza en L la longitud entre anillos rigidizadores, para lo cual se obtuvieron los siguientes resultados.

**Tabla 23: Resumen de Cálculo Tanque Borihidruro Prototipo Plástico con anillos rigidizadores a presión externa**  
**TANQUE BORIHIDRURO PLÁSTICO**

<u>Parámetros Calculados</u>	<u>Valores</u>
Presión Externa admisible de tanque	3.47 psi
Presión Externa admisible en cabeza elipsoidal	3.903 psi

**REACTOR DE NANO-PARTÍCULAS:****Diseño Presión Externa Tanque Plástico sin anillos rigidizadores:**

Material DOWLEX IP – 10262 Polietileno de Alta Densidad

**Tabla 24: Resumen de Cálculo Tanque de Nano-partículas Prototipo sin anillos rigidizadores a presión externa  
TANQUE NANO-PARTÍCULAS PLÁSTICO**

<u>Parámetros Calculados</u>	<u>Valores</u>
Presión Externa admisible de tanque	0.411 psi
Presión Externa admisible en cabeza elipsoidal	0.464 psi

**Diseño Presión Externa Tanque Plástico con anillos rigidizadores:**

Material DOWLEX IP – 10262 Polietileno de Alta Densidad

Para determinar la Presión Admisible se utiliza en L la longitud entre anillos rigidizadores, para lo cual se obtuvieron los siguientes resultados.

**Tabla 25: Resumen de Cálculo Tanque Nano-partículas Prototipo con anillos rigidizadores a presión externa  
TANQUE NANO-PARTÍCULAS PLÁSTICO**

<u>Parámetros Calculados</u>	<u>Valores</u>
Presión Externa admisible de tanque	2.88 psi
Presión Externa admisible en cabeza elipsoidal	3.25 psi

#### 4.2.2 Tanques en Plástico (Según ASME BVPC Section X) con presión interna

##### TANQUE BORIHIDRURO:

Material DOWLEX IP – 10262 Polietileno de Alta Densidad

**Tabla 26: Resumen de Cálculo Tanque Borihidruro Prototipo a presión interna  
TANQUE BORIHIDRURO PLÁSTICO**

<u>Parámetros Calculados</u>	<u>Valores</u>
Espesor de pared mínimo por esfuerzo tangencial	133 mm
Espesor de pared mínimo por esfuerzo circunferencial	265 mm

##### REACTOR DE NANO - PARTÍCULAS:

Material DOWLEX IP – 10262 Polietileno de Alta Densidad

**Tabla 27: Resumen de Cálculo Tanque Nano-partículas Prototipo a presión interna  
TANQUE NANO-PARTÍCULAS PLÁSTICO**

<u>Parámetros Calculados</u>	<u>Valores</u>
Espesor de pared mínimo por esfuerzo tangencial	145 mm
Espesor de pared mínimo por esfuerzo circunferencial	290 mm

### 4.2.3 Tanques en Acero Inoxidable (Según ASME BVPC Section VIII-DIV1) con presión externa

#### TANQUE BORIHIDRURO Y CARBOXI:

Tabla 28: Resumen de Cálculo de diseño a presión externa de tanque de Carboxi-Metil Celulosa y Borihidruro de acero en Prototipo

#### RESUMEN DE CÁLCULO

<u>Descripción</u>	<u>Valores</u>
Espesor de pared de tanque	0.25 in (6.35mm)
Espesor mínimo por esfuerzo circunferencial	Sin refuerzo
Espesor mínimo por esfuerzo longitudinal	Sin refuerzo
Presión Externa Admisible	59.3 psi

#### TANQUE NANO-PARTÍCULAS:

Tabla 29: Resumen de Cálculo de diseño a presión externa de tanque de Nano-partículas de acero en Prototipo

#### RESUMEN DE CÁLCULO

<u>Descripción</u>	<u>Valores</u>
Espesor de pared de tanque	0.25 in (6.35mm)
Espesor mínimo por esfuerzo circunferencial	Sin refuerzo
Espesor mínimo por esfuerzo longitudinal	Sin refuerzo
Presión Externa Admisible	40.62 psi

#### 4.2.4 Tanques en Acero Inoxidable (Según ASME BVPC Section VIII-DIV1) con presión interna.

##### TANQUE BORIHIDRURO Y CARBOXI:

Tabla 30: Resumen de Cálculo de diseño a presión interna de tanque de Carboxi-Metil Celulosa y Borihidruro de acero en Prototipo

#### RESUMEN DE CÁLCULO

<u>Descripción</u>	<u>Valores</u>
Espesor de pared de tanque	0.25 in (6.35mm)
Espesor mínimo por esfuerzo circunferencial	Sin refuerzo
Espesor mínimo por esfuerzo longitudinal	Sin refuerzo
Presión Interna Admisible	335.73 psi

##### TANQUE NANO-PARTÍCULAS:

Tabla 31: Resumen de Cálculo de diseño a presión interna de tanque de Nano-partículas de acero en Prototipo

#### RESUMEN DE CÁLCULO

<u>Descripción</u>	<u>Valores</u>
Espesor de pared de tanque	0.25 in (6.35mm)
Espesor mínimo por esfuerzo circunferencial	Sin refuerzo
Espesor mínimo por esfuerzo longitudinal	Sin refuerzo
Presión Interna Admisible	251.44 psi

Se determinó que la mejor alternativa de construcción para los tres tanques es con acero Inoxidable AISI 304, debido a las presiones admisibles externas en los tanques de plástico son menores a las de diseño y que los espesores mínimos requeridos son muy grandes en los mismos. Los tanques de acero inoxidable son de fácil maquinabilidad, por lo que se

pueden instalar fácilmente en estos motores, válvulas, mangueras, instrumentación, en fin.

#### 4.2.5 Diseño de Facilidades Asociadas:

##### Diseño de Sistema de Agitación:

Se escogió el siguiente motor para los tres tanques:

**Tabla 32: Tabla Datos Motor Eléctrico**

<b>Datos Motor Agitador</b>	
<b><u>Parámetros:</u></b>	<b><u>Valores</u></b>
Marca	Siemens
Potencia	1 HP
N° Polos	6
Voltaje	230- 400 V
Par Nominal	4.5 Nm
RPM	1660

Fuente: Catálogo Motores Siemens



**Figura 55: Motor eléctrico**

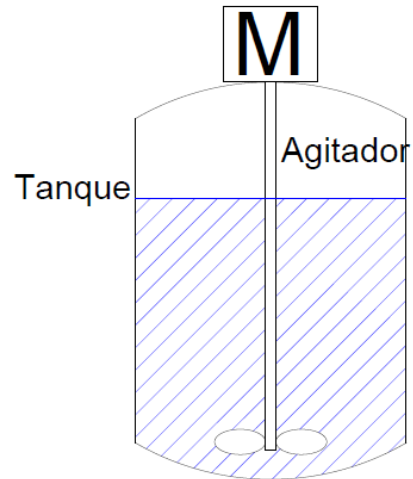
Fuente: Catálogo Motores Siemens

El motor tendrá un variador de frecuencia que permita variar la velocidad y un Reductor Lineal con una relación de transmisión de 7, por lo cual se tendrá una velocidad final de 225 RPM y un torque de 31.5 Nm.



Los tanques van a ser agitados por el siguiente sistema:  
Para tanque de Carboxi y Borihidruro

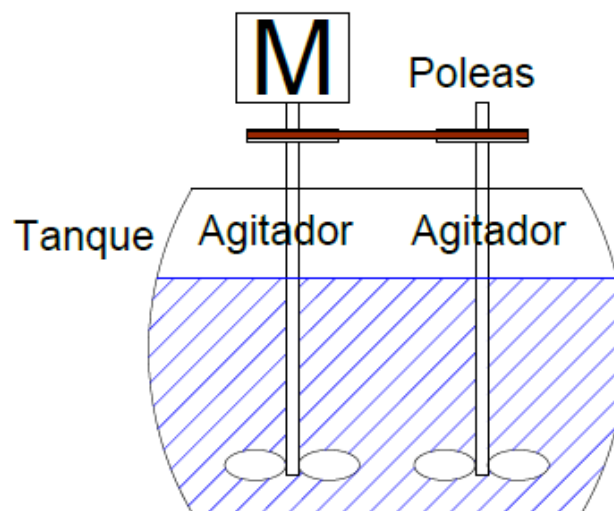
**Esquema Sistema de  
agitación Tanques**



**Figura 56: Esquema Agitación Tanque Borihidruro y tanque Carboxi**

- Para tanque Reactor de Nano-partículas

**Esquema Sistema de  
agitación Tanques**

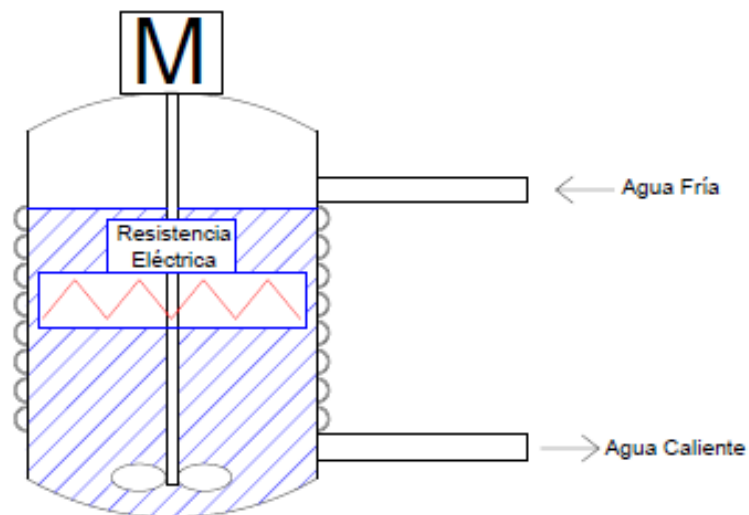


**Figura 57: Esquema Agitación Tanque Nano-Partículas**

Se mantendrá un agitador de paletas planas en los tres tanques, de la misma forma que se tiene en los modelos a escala.

### Diseño de sistema de Refrigeración:

#### Sistema de Enfriamiento por Enchaquetado mitad de Tubería



**Figura 58: Esquema Tanque Enchaquetado**

**Tabla 33: Tabla Datos de Sistema de Enfriamiento Tanque Carboxi  
Datos Sistema de Enfriamiento**

<u>Datos:</u>	<u>Valores</u>
Material	AISI 304 austenítico
Diámetro de Tubería	1"
Número de vueltas al Tanque	20

**Diseño Térmico:**

A través de la fórmula de calor por cambio de temperatura se determinó que se necesita una resistencia interna de 30000, para calentar 0,5 m<sup>3</sup> de carboxi en 1 hora.

**Ejemplo de Cálculo:**

Ecuación de Dittus-Bolter

Cálculo del coeficiente de convección para la tubería de chaqueta

$$h = 0.023 * Re^{0.8} * Pr^{0.4} * \frac{k}{Di} = 6930 \frac{W}{m^2 \cdot C} \quad (4.2)$$

Donde:

$Re = 81460$  Reynolds en la tubería para  $v=1.5$  m/s

$Pr = 3.56$  Número de Prandtl

$k = 0.643 \frac{W}{m \cdot C}$  Conductividad térmica temp. Media agua

$Di = 0.031$  m Diámetro de la tubería

Cálculo para coeficiente de convección para el tanque

**Tabla 34: Tabla Factores de Agitadores para coeficiente convección en tanques**

Agitador	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>m</i>	Intervalo del número de Reynolds
Paletas <sup>a</sup>	0.36	$\frac{2}{3}$	0.21	300-3×10 <sup>5</sup>
Turb. de aspas separadas <sup>b</sup>	0.53	$\frac{2}{3}$	0.24	80-200
Disco, turb. de aleta plana <sup>c</sup>	0.54	$\frac{2}{3}$	0.14	40-3×10 <sup>5</sup>
Hélice <sup>d</sup>	0.54	$\frac{2}{3}$	0.14	2×10 <sup>3</sup> (un punto)
Ancla <sup>h</sup>	1.0	$\frac{1}{2}$	0.18	10-300
Ancla <sup>h</sup>	0.36	$\frac{2}{3}$	0.18	300-40 000
Banda helicoidal <sup>e</sup>	0.633	$\frac{1}{2}$	0.18	8-10 <sup>5</sup>

Fuente: (Kern, 1999)

Se escogen los factores para paletas planas

$$h_2 = a * Re^b * \left(\frac{Cp * \mu}{k}\right)^{\frac{1}{3}} * \left(\frac{\mu_b}{\mu}\right)^m = 1950 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \quad (4.3)$$

Donde:

$Re = 81460$  Reynolds del tanque para 225 RPM

$a = 0.36$  Factor tomado de la tabla de Kern

$b = \frac{2}{3}$  Factor tomado de la tabla de Kern

$m = 0.21$  Factor tomado de la tabla de Kern

$\mu_b = 5.48 \times 10^{-4} Pa \cdot s$  Viscosidad a temperatura media

Cálculo para coeficiente de global de transferencia de Calor

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{e}{k} + \frac{1}{h_2}} = 914.98 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \quad (4.4)$$

Donde:

$h_1 = 6930 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$  Coeficiente de Convección en chaqueta de enfriamiento

$e = 0.006 m$  Espesor de Pared de Tanque

$h_2 = 1950 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$  Coeficiente de Convección en Tanque

Cálculo de Calor removido por chaqueta:

$$Q = U * A * \Delta T_{ml} = 68830 W \quad (4.5)$$

Donde:

$A = 0.946 m^2$  Área de transferencia de Calor para 20 vueltas de tubo

$\Delta T_{ml} = 79.58 ^\circ C$  Temperatura Media Logarítmica

**Tabla 35: Tabla Resumen de Cálculo de Sistema de Enfriamiento  
Tanque Carboxi Prototipo  
Resumen Cálculo Chaqueta de Enfriamiento**

<u>Datos:</u>	<u>Valores</u>
Ø de Tubería	1"
Metros de Tubería	32 m
Calor Removido	68.8 KW
Tiempo Estimado de Enfriamiento	35 min

### **4.3 Diseño de un Sistema de Control:**

La instrumentación necesaria en el Sistema de Generación de Nanopartículas, permitirá medir parámetros de funcionamiento y mantener el sistema dentro de las condiciones idóneas para que las nanopartículas se generen con éxito. Concatenado a la instrumentación se establece un sistema de control, el cual permite la automatización del proceso y mayor control o precisión en las variables o parámetros que intervienen en el sistema.

#### **INSTRUMENTACIÓN DE LOS RECIPIENTES:**

- REACTOR: 1) Manovacuómetro (Transmisor-PIT)  
2) Termómetro  
3) Medidor de Nivel (Transmisor – LG/LIT)  
4) Sensor de oxígeno disuelto.  
5) PSV
  
- Reci. CMC: 1) Manovacuómetro (PI)  
2) Termómetro (Transmisor- TIT)  
3) Medidor de Nivel (Transmisor – LG/LIT)  
4) PSV

- Recipiente BH4: 1) Manovacuómetro (Transmisor PI)  
2) Termómetro (Transmisor- TIT)  
3) Medidor de Nivel (Transmisor – LG/LIT)  
4) PSV

## **SISTEMA DE CONTROL (FUNCIONAMIENTO)**

La automatización depende del sistema de control que se establezca. Para el sistema de generación de nano-partículas se controlará las válvulas de salida y entrada para controlar los niveles en los distintos recipientes.

REACTOR: En el reactor habrá un LIT que enviará la señal al PLC (en cual estará programado de acuerdo a los valores determinados en el LIC) y éste a su vez controlará la solenoide que permite el ingreso o salida de aire para activar la válvulas neumática de control de nivel (LV).

Otra señal que recibirá el PLC es de presión a través de un PIT; con dicha señal el PLC activará una alarma de alerta según los parámetros establecidos en el PIC. En el caso de una sobrepresión, la PSV se activará y protegerá al recipiente de cualquier daño.

RECIPIENTE CMC: En éste recipiente, al igual, que en el Reactor se controlará nivel a través de un LV. El PLC recibirá la señal del LIT y controlará el ingreso o salida de aire que abrirá o cerrará la válvula neumática de control de nivel LV. Los valores de limitantes estarán programados (establecidos) en el LIC.

El recipiente CMC también tendrá un sistema controlado de calentamiento, para lo cual el TIT envía la señal al TSH y éste último activa una alarma de alta temperatura TAH; luego la señal continúa hacia el PLC el cual controla un relé que enciende o apaga el calentador.

En el caso de una sobrepresión, la PSV se activará y protegerá al recipiente de cualquier daño.

RECIPIENTE BH4: En éste recipiente, al igual, que en el Reactor se controlará nivel a través de un LV. El PLC recibirá la señal del LIT y controlará el ingreso o salida de aire que abrirá o cerrará la válvula neumática de control de nivel LV. Los valores de limitantes estarán programados (establecidos) en el LIC.

En éste recipiente habrá un PIT que enviará una señal al PLC para activar una alarma por alta presión PAH (los valores limitantes estarán dados o establecidos en el PIC). En el caso de una sobrepresión, la PSV se activará y protegerá al recipiente de cualquier daño.

Revisar Diagrama P&ID en Anexo C

## **CAPÍTULO V**

### **ESTUDIO DE COSTOS**

#### **MANO DE OBRA:**

La mano de obra que debe ser utilizada en los tanques debe ser calificada; debido a que son recipientes a presión, la construcción de los mismos debe cumplir con todos los parámetros de la norma, tanto en funcionalidad como en seguridad. Ya sea que los recipientes sean contruidos con metal o plástico, se debe tener personal con el suficiente conocimiento y capacitación para que el producto final no presente ninguna falla o complicación al momento de utilizarlo.

#### **MATERIA PRIMA:**

- La materia prima con la que fueron diseñados los recipientes es:
- Duralón: Para el diseño de modelo de laboratorio (recipiente BH4 y Reactor)
- Acero Inoxidable Austenítico Tipo 304: Para el diseño del recipiente CMC a escala de laboratorio e industrial, y diseño de los recipientes BH4 y Reactor a escala industrial.
- Polietileno de alta densidad: Para el diseño de los recipientes BH4 y Reactor a escala industrial.

#### **COSTOS INDIRECTOS**

Los costos indirectos relacionados con todos los elementos que no estén directamente relacionado con la construcción y funcionamiento de los recipientes pero que intervienen en el procesos de fabricación de los mismos.

#### **INSTRUMENTACIÓN Y SISTEMA DE CONTROL:**

La instrumentación y sistema de control que requiere el proceso de generación de nano-partículas es indispensable para su ejecución. A través



de la instrumentación y sistema de control se puede manejar el proceso de forma automática y dentro de los parámetros necesarios para que la nano-partículas se generen con éxito.

**Tabla 36: Tablas Estudio de Costos Modelo a Escala**

ESTUDIO DE COSTO (CONSTRUCCIÓN)			
PARÁMETRO	FACTOR DE COSTO	VALOR	OBSERVACIONES
MATERIA PRIMA	Duralón (recipiente)	\$900.00	Cilindro sólido de $\Phi=250$ mm, L=600mm
	Acero Inoxidable Tipo 304	\$60.00	Tubería 4", SCH 40S, L=500mm
	Accesorios Ac. Inoxidable T304	\$650.00	Brida Slip On / Brida Ciega
	Aluminio aleado	\$50.00	Construcción de eje para recipiente CMC,
	Duralón (ejes)	\$80.00	Cilindro sólido de $\Phi 30$ mm, L=400mm
	<b>TOTAL</b>	<b>\$1,740.00</b>	
MANO DE OBRA	Soldadura de Acero Inoxidable	\$150.00	Procedimiento de soldadura GTAW
	Maquinado de duralón para construcción de recipientes	\$800.00	Maquinado en CNC (cuerpo y brida)
	Maquinado brida ciega inoxidable	\$350.00	Realizada en torno mecánico
	Instalación y conexión de instrumentos y agitadores	\$500.00	Incluye parte eléctrica.
	Construcción de ejes de duralón	\$120.00	Ejes para recipientes BH4 y Reactor
	Construcción de eje de aluminio	\$80.00	Eje para recipiente CMC
	Construcción calentador (incluye materia prima)	\$170.00	Calentador hecho con resistencias eléctricas y encamisado de aluminio.
	Recubrimiento recipiente CMC para hacerlo adiabático (incluye materia prima)	\$80.00	Recubrimiento con lana de piedra y cinta de aluminio
	Bases para recipientes (incluye materia prima)	\$100.00	Bases metálica pintadas.
<b>TOTAL</b>	<b>\$2,350.00</b>		
COSTOS INDIRECTOS	Transporte	\$200.00	Gasolina
	<b>TOTAL</b>	<b>\$200.00</b>	
INSTRUMENTACIÓN Y SISTEMA DE CONTROL	Manómetros y manovacuómetros	\$240.00	Material de Acero Inoxidable T316. Rosca NPT
	Termómetro	\$120.00	Material de Acero Inoxidable T316. Rosca NPT
	Sensor de Oxígeno disuelto	\$1,100.00	
	Medidor de nivel	\$50.00	Llaves de bronce y tubo visor de vidrio
	Accesorios para acoplar instrumentos y mangueras al recipiente	\$200.00	Material de acero inoxidable T316
	PSV	\$80.00	Válvula de seguridad regulable
	<b>TOTAL</b>	<b>\$1,790.00</b>	
ACCESORIOS COMPLEMENTARIOS RECIPIENTE	O-Ring de Vitton	\$80.00	Sellamiento entre brida y recipiente (en duralón)
	Gasket 4"x150	\$25.00	Sellamiento entre brida y recipiente (en Ac. Inox.)
	Mangueras y acoples	\$70.00	Mangueras para vacío
	Chumacera	\$30.00	Para recipiente CMC; para dar mas apoyo al giro del eje
	Rodamientos	\$70.00	
	Retenedores	\$20.00	
	Accesorios en general de los recipientes	\$180.00	
	Elementos de Conexión de Boquillas	\$560.00	Threadolet, conectores y niples
	Pernería	\$150.00	Esparráragos para los tres recipientes
	Motorreductor (200 RPM, 20 Kg*cm)	\$250.00	Motor usado en la agitación
<b>TOTAL</b>	<b>\$1,435.00</b>		
DISEÑO E INGENIERÍA	Diseño Mecánico y sistema de control	\$1,300.00	Incluye cálculos y planos de instalación
	<b>TOTAL</b>	<b>\$1,300.00</b>	
<b>TOTAL CONSTRUCCION</b>		<b>\$8,815.00</b>	

Tabla 37: Tabla Resumen Estudio de Costos Prototipo Plástico

ESTUDIO DE COSTO (PROYECTO A ESCALA INDUSTRIAL EN PLÁSTICO)						
PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT	VALOR UNITARIO	VALOR	OBSERVACIONES
MATERIA PRIMA	Tanque Plastigama Titán con anillos rigidizadores V=1m <sup>3</sup>	UNIDAD	1	\$ 200.00	\$200.00	Tanque para Borohidruro
	Tanque Plastigama Titán con anillos rigidizadores V=1m <sup>3</sup>	UNIDAD	1	\$ 278.00	\$278.00	Tanque para Nano-Partículas
	Plancha Acero Inoxidable Tipo 304 de 6 mm	UNIDAD	5	\$ 980.00	\$4,900.00	Número de Planchas Tomadas para un tanque
	Brida Long Welding Neck 304 Clase 150 D=2"	UNIDAD	15	\$ 150.00	\$2,250.00	Se utilizan para boquillas de los tanques
	Brida Long Welding Neck 304 Clase 300 D=3"	UNIDAD	2	\$ 230.00	\$460.00	Se utilizan para boquillas de los tanques
	Tubo 1 1/2" Inox 304 SCH 5S	UNIDAD	2	\$ 350.00	\$700.00	Material para ejes de agitación. Long. Total de 4 ejes = 6.2m
	Coupling THD 3/4" Inox 304 Clase 1500	UNIDAD	18	\$ 8.00	\$144.00	Accesorios para los 3 recipientes
	Coupling THD 1" Inox 304 Clase 1500	UNIDAD	12	\$ 12.00	\$144.00	Accesorios para los 3 recipientes
<b>SUBTOTAL MATERIA PRIMA</b>					<b>\$9,076.00</b>	
MANO DE OBRA	Soldadura de Acero Inoxidable	NA	1	\$ 4,500.00	\$4,500.00	Procedimiento de soldadura GTAW
	Instalación y conexión de instrumentos y agitadores	NA	1	\$ 2,300.00	\$2,300.00	Incluye parte eléctrica.
	Construcción de ejes de tubería Inox.	NA	1	\$ 1,800.00	\$1,800.00	Ejes para los tres recipientes
	Construcción calentador de 30000 W (incluye materia prima)	NA	1	\$ 1,300.00	\$1,300.00	Calentador ubicado en la parte interior del recipiente
	Construcción de chaqueta exterior de medio tubo 1" (Incluye Materia Prima)	NA	1	\$ 4,000.00	\$4,000.00	Sistema de enfriamiento para Recipiente Carboxi
	Bases para recipientes (incluye materia prima)	NA	1	\$ 1,500.00	\$1,500.00	Construcción de skids y saddles
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>					<b>\$15,400.00</b>	
COSTOS INDIRECTOS	Transporte	NA	1	\$ 2,000.00	\$ 2,000.00	Gasolina y conductor
<b>SUBTOTAL COSTOS INDIRECTOS</b>					<b>\$ 2,000.00</b>	
INSTRUMENTACIÓN Y SISTEMA DE CONTROL	Manómetro	UNIDAD	2	\$ 300.00	\$600.00	Material de Acero Inoxidable T316. Rosca NPT Instrumento es indicador y sensor a la vez
	Manovacuómetro	UNIDAD	1	\$ 450.00	\$450.00	Material de Acero Inoxidable T316. Rosca NPT Instrumento es indicador y sensor a la vez
	Termómetro	UNIDAD	3	\$ 220.00	\$660.00	Material de Acero Inoxidable T316. Rosca NPT Instrumento es indicador y sensor a la vez
	Sensor de Oxígeno disuelto	UNIDAD	1	\$ 1,000.00	\$1,000.00	Material de Acero Inoxidable T316. Rosca NPT
	Medidor de Nivel	UNIDAD	3	\$ 500.00	\$1,500.00	Visor de Nivel acompañado con sensor de nivel
	Accesorios para acoplar instrumentos y mangueras al recipiente	NA	1	\$ 700.00	\$700.00	Material de acero inoxidable T316
	PSV	UNIDAD	3	150	\$450.00	Válvula de seguridad regulable
	PLC	UNIDAD	1	3200	\$3,200.00	Recibe señales de los distintos transmisores
<b>SUBTOTAL INSTRUMENTACIÓN Y SISTEMA DE CONTROL</b>					<b>\$8,560.00</b>	
ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS	Sello mecánico multiresorte (O-ring de viton)	UNIDAD	3	250	\$750.00	
	Gasket Spiral Wound	UNIDAD	3	65	\$195.00	
	Mangueras y acoples	NA	1	560	\$560.00	
	Chumaceras	UNIDAD	3	50	\$150.00	
	Accesorios en general de los recipientes	NA	1	600	\$600.00	
	Motorreductor industrial (250 RPM, 100 Kg*cm Tor)	UNIDAD	3	750	\$2,250.00	Incluye motor y caja reductora
<b>SUBTOTAL ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS</b>					<b>\$4,505.00</b>	
DISEÑO E INGENIERÍA	Diseño Mecánico y sistema de control	NA	1	5000	\$5,000.00	Incluye cálculos y planos de instalación
	<b>TOTAL DE DISEÑO E INGENIERÍA</b>					<b>\$5,000.00</b>
<b>TOTAL</b>					<b>\$44,541.00</b>	

**Tabla 38: Tabla Resumen Estudio de Costos Prototipo Acero Inoxidable**

ESTUDIO DE COSTO (PROYECTO A ESCALA INDUSTRIAL EN ACERO INOXIDABLE)						
PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT	VALOR UNITARIO	VALOR	OBSERVACIONES
MATERIA PRIMA	Plancha Acero Inoxidable Tipo 304 de 6 mm	UNIDAD	15	\$ 980.00	\$14,700.00	Número de Planchas Tomadas para un tanque
	Brida Long Welding Neck 304 Clase 150 D=2"	UNIDAD	15	\$ 150.00	\$2,250.00	Se utilizan para boquillas de los tanques
	Brida Long Welding Neck 304 Clase 300 D=3"	UNIDAD	2	\$ 230.00	\$460.00	Se utilizan para boquillas de los tanques
	Tubo 1 1/2" Inox 304 SCH 5S	UNIDAD	2	\$ 350.00	\$700.00	Material para ejes de agitación. Long. Total de 4 ejes = 6.2m
	Coupling THD 3/4" Inox 304 Clase 1500	UNIDAD	18	\$ 8.00	\$144.00	Accesorios para los 3 recipientes
	Coupling THD 1" Inox 304 Clase 1500	UNIDAD	12	\$ 12.00	\$144.00	Accesorios para los 3 recipientes
<b>SUBTOTAL MATERIA PRIMA</b>					<b>\$18,398.00</b>	
MANO DE OBRA	Soldadura de Acero Inoxidable	NA	3	\$4,500.00	\$13,500.00	Procedimiento de soldadura GTAW
	Instalación y conexión de instrumentos y agitadores	NA	1	\$2,300.00	\$2,300.00	Incluye parte eléctrica.
	Construcción de ejes de tubería Inox.	NA	1	\$1,800.00	\$1,800.00	Ejes para los tres recipientes
	Construcción calentador de 30000 W (incluye materia prima)	NA	1	\$1,300.00	\$1,300.00	Calentador ubicado en la parte interior del recipiente
	Construcción de chaqueta exterior de medio tubo 1" (Incluye Materia Prima)	NA	1	\$4,000.00	\$4,000.00	Sistema de enfriamiento para Recipiente Carboxi
	Bases para recipientes (incluye materia prima)	NA	1	\$1,500.00	\$1,500.00	Construcción de skids y saddles
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>					<b>\$24,400.00</b>	
COSTOS INDIRECTOS	Transporte	NA	1	\$2,000.00	\$2,000.00	Gasolina y conductor
<b>SUBTOTAL COSTOS INDIRECTOS</b>					<b>\$2,000.00</b>	
INSTRUMENTACIÓN Y SISTEMA DE CONTROL	Manómetro	UNIDAD	2	\$ 300.00	\$600.00	Material de Acero Inoxidable T316. Rosca NPT Instrumento es indicador y sensor a la vez
	Manovacuómetro	UNIDAD	1	\$ 450.00	\$450.00	Material de Acero Inoxidable T316. Rosca NPT Instrumento es indicador y sensor a la vez
	Termómetro	UNIDAD	3	\$ 220.00	\$660.00	Material de Acero Inoxidable T316. Rosca NPT Instrumento es indicador y sensor a la vez
	Sensor de Oxígeno disuelto	UNIDAD	1	\$1,000.00	\$1,000.00	Material de Acero Inoxidable T316. Rosca NPT
	Medidor de Nivel	UNIDAD	3	\$ 500.00	\$1,500.00	Visor de Nivel acompañado con sensor de nivel
	Accesorios para acoplar instrumentos y mangueras al recipiente	NA	1	\$ 700.00	\$700.00	Material de acero inoxidable T316
	PSV	UNIDAD	3	150	\$450.00	Válvula de seguridad regulable
	PLC	UNIDAD	1	3200	\$3,200.00	Recibe señales de los distintos transmisores
<b>SUBTOTAL INSTRUMENTACIÓN Y SISTEMA DE CONTROL</b>					<b>\$8,560.00</b>	
ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS	Sello mecánico multiresorte (O-ring de vitton)	UNIDAD	3	250	\$750.00	
	Gasket Spiral Wound	UNIDAD	3	65	\$195.00	
	Mangueras y acoples	NA	1	560	\$560.00	
	Chumaceras	UNIDAD	3	50	\$150.00	
	Accesorios en general de los recipientes	NA	1	600	\$600.00	
	Motorreductor industrial (250 RPM, 100 Kg*cm Tor)	UNIDAD	3	750	\$2,250.00	Incluye motor y caja reductora
<b>SUBTOTAL ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS</b>					<b>\$4,505.00</b>	
DISEÑO E INGENIERÍA	Diseño Mecánico y sistema de control	NA	1	5000	\$5,000.00	Incluye cálculos y planos de instalación
<b>TOTAL DE DISEÑO E INGENIERÍA</b>					<b>\$5,000.00</b>	
<b><u>TOTAL</u></b>					<b>\$62,863.00</b>	

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### Conclusiones:

- Después de realizar el diseño del Reactor de Nano-partículas y sus facilidades asociadas se pudo determinar que el parámetro más crítico fue la presión externa debido a que este establecerá tanto el espesor de pared del cuerpo como de la cabeza del recipiente, puesto que la presión admisible externa es mucho menor a la presión admisible interna.

- El material Nylon Poliamida (Duralón) fue muy útil y versátil para la manufactura de los tanques de Borihidruro y reactor de nano-partículas de los modelos a escala, debido a que sus características mecánicas y su composición química permitieron un desarrollo exitoso del experimento. Este material es de fácil maquinabilidad y no genera ninguna contaminación ni reacción química indeseada que altere el proceso de generación de nano-partículas. Además es un material liviano que permite la fácil manipulación de los tanques.

- En el recipiente de Carboxi-metil celulosa los parámetros que se deben controlar son presión, temperatura y nivel, en el recipiente de borihidruro los parámetros que se deben controlar son presión y nivel; para el reactor, al ser el recipiente principal donde se generan las nano-partículas, se deben controlar todos los parámetros inmersos en el proceso como son: temperatura, presión, nivel y porcentaje de oxígeno disuelto en la solución.

- Para asegurar la formación de nano-partículas de tamaño dentro del rango de 0 – 100 nm, se debe seguir el procedimiento establecido, dando importancia a factores muy importantes como son orden y limpieza. De esta manera se asegurará que la completa disolución de los químicos en cada uno de los tanques y un producto final dentro de los parámetros requeridos.

- El diseño de los recipientes prototipo tomó como referencia los parámetros y aspectos del modelo a escala, con lo cual se pudo comprobar

la factibilidad de llevar el proceso de generación de nano-partículas de hierro cero-valente a un proceso industrial.

## **Recomendaciones:**

- Para el prototipo se recomienda fabricar todos los tanques inmersos en la elaboración de nano-partículas en acero inoxidable AISI 304, debido a que es un material que se encuentra fácilmente en la industria ecuatoriana, debido a sus propiedades mecánicas puede soportar los parámetros de diseño y permite la instalación y acoplamiento de elementos complementarios como son motores, sellos, válvulas, instrumentación en fin.

- Para prevenir la filtración de aire y partículas ajenas a las soluciones reactivas, las cuales podrían perjudicar la correcta formación de nano-partículas, se deben considerar los siguientes aspectos: instalar un sello mecánico multiresorte, el cual sellará completamente los ejes agitadores, con caras de vitón-grafito autolubricantes con sellos de vitón, controlar el proceso de fabricación de los recipientes principalmente en los cordones de soldadura, donde se podrían suscitar fugas o filtraciones si el proceso no se realiza correctamente, controlar el correcto ajuste en conexiones roscadas y acoplamiento de instrumentación.

- En el tanque de Carboxi se requiere un sistema de calentamiento zonificado, el cual ayudará a la funcionalidad del tanque para varios volúmenes de solución.

- Para poder producir varios volúmenes de solución, logrando la completa disolución de los químicos, se recomienda instalar un variador de frecuencia en los motores, el cual permitirá variar la velocidad de agitación a conveniencia dependiendo del volumen de líquido que se tenga que agitar.

- Investigar sobre el proceso de agitación del reactor, de manera que se logre una homogenización en la mezcla, en un tanque horizontal a través de dos agitadores.

**Bibliografía:**

Acedo Sánchez, J. (2006). *Instrumentación y control avanzado de procesos*.

Madrid, España.

Alcocer, J. (2007). *Apuntes de Diseño Mecánico*. Quito.

Aranda, G. (2003). *Columna de Líquido, Manómetro Primario*. Jalisco,

México.

ASME. (2007). *Boiler & Pressure Vessel Code X Fiber-Reinforced Plastic*

Pressure Vessel.

*Catálogos Matrices Kitasatos*. (s.f.). Obtenido de <http://labotienda.com/>

Cengel, Y. (2007). *Trasferencia de Calor y Masa*. McGraw-Hill.

Cortes, M. (s.f.). *Temperatura Clasificación*. Academia de

Bioinstrumentación.

Dondé Castro, M. J. (2005). *Transporte de Momentum y Calor Teoría y*

*Aplicaciones a la Ingeniería de Proceso*. Yucatán: Universidad

Autónoma de Yucatán.

Feng, H. (2007). *Manipulating the Size and Dispersibility of Zerovalent Iron*

*Nanoparticles by use of Carboxymethyl Celullose Stabilizers* .

Incropera, F. (1999). *Fundamentos de Transferencia de Calor*. Prentice Hall.

Kern, D. (1999). *Procesos de Transferencia de Calor*.

Li, X.-q. (2006). *Zero-Valent Iron Nanoparticles for Abatement of*

*Environmental Pollutants: Materials and Engineering Aspects*.

Perry, R. H. (2001). *Manual del Ingeniero Químico* . Mc Graw Hill.

Red colombiana de Metrología. (2011). *Agitación Mecánica. Revista química*

*útil*.

Saavedra, F. (1854). Manómetros y barómetros metálicos. *Revista de Obras Públicas*, Tomo I: (261-263).

Scott, H. (2001). *Elementos de Ingeniería de las Reacciones Químicas*. Prentice Hall.

Smeaton, R. W. (1990). *Motores eléctricos, selección, mantenimiento y reparación*. MxGraw-Hill Interamericana de México.

Üzüm, Ç. (2008). Application of zero-valent iron nanoparticles for the removal of aqueous  $\text{Co}^{2+}$  ions under various experimental conditions. *Chemical Engineering Journal*.

### Referencias de Internet

Asociados, M. y. (Septiembre de 2008). *Termómetros de Líquido en Vidrio*.

Obtenido de <http://www.metas.com.mx/>

DISETEC. (s.f.). *CATALOGO MANÓMETROS WIKA*. Obtenido de

<http://www.disetec-ec.com/>

fitvalv.com. (s.f.). *Catálogo Sensores de Nivel Fittings y Válvulas Ltda*.

Obtenido de [www.fitvalv.cl](http://www.fitvalv.cl)

Hoyos, M. X. (19 de Abril de 2010). *Clases de Termómetros*. Obtenido de

<http://es.scribd.com/>

Lefama. (s.f.). *Catálogo Indicadores de nivel*. Obtenido de

<http://www.lefama.com/>

Merck. (2006). *Hoja Técnica Borihidruro de Sodio Merck Chemicals*.

Obtenido de [www.merck-chemicals.com](http://www.merck-chemicals.com)

Metas y Metrólogos Asociados. (2008). *Termómetros de Luíquido de Vidrio*.

Obtenido de <http://www.metas.com.mx/>

Saidi. (s.f.). *Catálogo Indicadores de Nivel Klinger*. Obtenido de [www.saidi.es](http://www.saidi.es)

Sydney2000. (s.f.). *Ficha Técnica Carboximetil Celulosa*. Obtenido de

<http://www.sydney2000.com.mx/>

WEG. (s.f.). *Catálogo de Motores eléctricos*. Obtenido de

<http://catalog.wegelectric.com/>

Winters. (s.f.). *Catálogo de manómetros Winters*. Obtenido de

[www.winters.com](http://www.winters.com)



## **ANEXOS**