



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO
EXTRACTOR DE ESENCIAS DE PLANTAS AROMÁTICAS CON
FLUIDOS SUPERCRÍTICOS.**

AUTORES:

ALEX FERNANDO RONQUILLO MORETA

JOHN JAVIER YUGCHA ALOMALIZA

DIRECTOR: ING. WASHINGTON FREIRE

LATACUNGA

2016



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICACIÓN

CERTIFICO

Certifico que el trabajo de titulación, ***“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO EXTRACTOR DE ESENCIAS DE PLANTAS AROMÁTICAS CON FLUIDOS SUPERCRÍTICOS”*** realizado por los señores ***ALEX FERNANDO RONQUILLO MORETA*** y ***JOHN JAVIER YUGCHA ALOMALIZA*** ha sido revisado y analizado por el software anti-plagio, el mismo que cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditar y autorizar a los señores ***ALEX FERNANDO RONQUILLO MORETA*** y ***JOHN JAVIER YUGCHA ALOMALIZA*** para que lo sustenten públicamente.

Latacunga, octubre 2016

Ing. Washington Freire Llerena.

DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **ALEX FERNANDO RONQUILLO MORETA** y **JOHN JAVIER YUGCHA ALOMALIZA**, con cédulas de identidad N° 180459515-3 y 180373522-2, declaro que este trabajo de titulación **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO EXTRACTOR DE ESENCIAS DE PLANTAS AROMÁTICAS CON FLUIDOS SUPERCRÍTICOS”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, octubre 2016

Alex Fernando Ronquillo Moreta
C.C.: 1804595153

John Javier Yugcha Alomaliza
C.C.: 1803735222



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **ALEX FERNANDO RONQUILLO MORETA** y **JOHN JAVIER YUGCHA ALOMALIZA**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en el repositorio institucional el trabajo de titulación “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO EXTRACTOR DE ESENCIAS DE PLANTAS AROMÁTICAS CON FLUIDOS SUPERCRÍTICOS**” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, octubre del 2016

Alex Fernando Ronquillo Moreta
C.C.: 1804595153

John Javier Yugcha Alomaliza
C.C.: 1803735222

DEDICATORIA

Con todo mi respeto y aprecio para mi padre Holguer Napoleón Ronquillo Ronquillo que con todo su apoyo incondicional y por sus valores inculcados hizo posible alcanzar este sueño.

Alex Ronquillo.

Al terminar una etapa de mi vida, dedico el presente trabajo a mi madre Laura Alomaliza quien con su apoyo incondicional y constate, a Sandra Villacis por formar parte de mi vida y cambiar la monotonía, hicieron posible alcanzar mi meta.

John Yugcha.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, a mi familia, a mi padre Holguer Ronquillo, a mi madre Elizabeth Moreta, a mi hermano Kevin Ronquillo por haberme apoyado día a día en el difícil trayecto de esta nueva meta.

Alex Ronquillo.

Expreso mi gratitud a quienes me apoyaron en todo momento, de manera especial a mi familia, amigos y docentes que brindaron su apoyo para sacar adelante el proyecto, y a la Universidad de las fuerzas armadas ESPE por ilustrarme e inculcarme todos los conocimientos que poseo.

John Yugcha.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA	i
CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO I	1
GENERALIDADES	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Planteamiento del problema	2
1.3 Justificación e importancia	2
1.4 Objetivo General	3
a. Objetivos específicos	3
b. Alcance	3
CAPÍTULO II	4
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	4
2.1 Descripción general de extracción de esencias	4
2.2 Aplicaciones de las esencias en la industria	4
2.3 Métodos de extracción	6
2.4.1. Destilación por arrastre de vapor de agua	6
2.4.2. Extracción con solventes volátiles	6

2.4.3	Método de Enflorado.....	7
2.4.4	Extracción por fluidos supercríticos.....	8
2.4	Extracción de fluidos supercríticos	9
2.5	Fluidos supercríticos.....	10
2.6	Aplicación de CO ₂ como fluido supercrítico	11
2.7	Definir el proceso de extracción con fluidos supercríticos	14
2.8.1	Tipos de sistemas	14
a.	Sistema dinámico o de flujo.....	14
2.10	Cilindros de co ₂	18
2.11	Recipientes de presión.....	20
2.12	Norma ASME Sección VIII.....	21
2.13	Separador	22
2.13.1	Principios de Separación	22
2.13.2	Partes del separador.....	23
2.14	Métodos para amplificar la presión de un gas.....	24
2.14.1	Amplificadores	24
2.14.2	Gas booster	26
2.16	Control de temperatura	30
2.16.1	Termocontrolador TCM-RR4.....	30
2.16.2	Relé.....	31
2.16.3	Termocupla tipo j.....	31
2.17	Válvulas	32
a.	Válvula de aguja.....	32
b.	Válvula de bola.....	33
2.18	Casa de Calidad.....	34
2.18.1	La voz del Usuario.....	36
2.18.2	La voz del Ingeniero.....	36
2.19	Diagnóstico y evaluación	37
2.19.1	Definición de RCM	37
2.19.2	Beneficios del RCM.....	37
2.19.3	Patrones de falla	38
2.19.4	Funciones	40
2.19.5	Fallas funcionales	41
2.19.6	Modos de falla.....	41

2.19.7 Efectos de la falla.....	41
2.19.8 Tareas proactivas.....	42
2.19.9 Tareas de reacondicionamiento y de sustitución cíclica	42
2.19.10 Error humano.	43
CAPÍTULO III.....	44
DISEÑO Y SELECCIÓN	44
3.1 Condiciones termodinámicas del proceso de extracción.	44
3.2 Diagrama de la casa de Calidad del Prototipo Extractor de Esencia. 47	
3.3 Diseño y selección de bomba.	49
3.4 Diseño y selección del Extractor de Esencias.....	53
3.4.1. Esfuerzo circunferencial.....	53
3.4.2. Esfuerzo longitudinal.....	54
3.4.3. Presión de diseño	54
3.4.4. Espesor mínimo para el cuerpo del cilindro	54
3.4.5. Espesor mínimo para el cuerpo del cilindro	56
3.4.6. Cabezales	56
3.4.7. Boquillas en recipiente a presión	58
3.5 Diseño y selección del separador de esencias	59
3.5.1. Diámetro del separador.....	59
3.5.2. Altura del separador.....	61
3.5.3. Dimensionamiento Demister	62
3.6 Dimensionamiento y selección de manguera.....	63
3.7 Selección de instrumentos de medida de presión y temperatura.....	64
3.8 Modelación del proceso.	65
CAPÍTULO IV	74
PLANOS DE LA ESTRUCTURA.....	74
4.1 Elaborar planos de la estructura	74
4.2 Elaborar planos P&ID del Prototipo.....	74
4.3 Ensamble del prototipo de la planta.....	76
CAPÍTULO V	77

OPERACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	77
5.1 Manual de operación del Prototipo.....	77
5.2 Manual de mantenimiento.....	82
5.3 Análisis de resultados	100
5.3.1 Costo.....	100
5.3.2 Pruebas para determinar el punto de extracción	101
5.2.3 Obtención de esencia	102
a. PAICO.....	102
b. MOLLE.....	112
CAPÍTULO VI	122
6.1 Conclusiones.....	122
6.2 Recomendaciones	124
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	125
ANEXOS	129
ANEXO A Características técnicas bomba gas booster.	
ANEXO B Planos mecánicos del cilindro extractor.	
ANEXO C Planos mecánicos del separador bifásico vertical.	
ANEXO D Características técnicas demister.	
ANEXO E Características técnicas de las mangueras de alta presión.	
ANEXO F Características técnicas de manómetro.	
ANEXO G Características técnicas del termocontrolador.	
ANEXO H Planos mecánicos del módulo de extracción.	
ANEXO I Planos control eléctrico y neumático.	
ANEXO J Plano co2 alta presión.	
ANEXO K Ensamble del prototipo de la planta.	

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1	Ventajas y Desventajas de Extracción por Fluidos Supercríticos. ...	9
Tabla 2	Temperaturas y Presiones críticas de fluidos útiles.....	11
Tabla 3	Aspectos Favorables y desfavorables de los fluidos supercríticos más usuales.	12
Tabla 4	Comparación entre las propiedades del CO ₂	13
Tabla 5	Descripción del Módulo Didáctico	48
Tabla 6	Parámetros de Selección de Bomba Gas Booster.....	50
Tabla 7	Dimensionamiento del espesor del cilindro	55
Tabla 8	Dimensionamiento de los cabezales del cilindro	57
Tabla 9	Parámetros para el dimensionamiento del Demistrer	63
Tabla 10	Registro del Estado inicial de las Válvulas.	79
Tabla 11	Registro del Estado final de las válvulas.	81
Tabla 12	Hoja de información RCM.....	83
Tabla 13	Hoja de decisión RCM.	92
Tabla 14	Diagrama de Gantt para el mantenimiento del módulo.....	98
Tabla 15	Registro Gas Booster para Presión Crítica.....	102
Tabla 16	Registro Extracción Paico Prueba 1	103
Tabla 17	Registro Gas Booster para Presión Crítica Prueba 2	105
Tabla 18	Registro Extracción Paico Prueba 2	106
Tabla 19	Registro Gas Booster para Presión Crítica Prueba 3	107
Tabla 20	Registro Extracción Paico Prueba 3	108
Tabla 21	Registro Gas Booster para Presión Crítica Prueba 4	110
Tabla 22	Registro Extracción Paico Prueba 4	111
Tabla 23	Registro Gas Booster para Presión Crítica Molle Prueba 1	112
Tabla 24	Registro Extracción Paico Molle Prueba 1.....	113
Tabla 25	Registro Gas Booster para Presión Crítica Molle Prueba 2.....	114
Tabla 26	Registro Extracción Paico Molle Prueba 2.....	115
Tabla 27	Registro Gas Booster para Presión Crítica Molle Prueba 3.....	117
Tabla 28	Registro Extracción Paico Molle Prueba 3.....	118
Tabla 29	Registro Gas Booster para Presión Crítica Molle Prueba 4.....	119
Tabla 30	Registro Extracción Paico Molle Prueba 4.....	120

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Destilación por arrastre de vapor.	6
Figura 2	Extracción por solventes volátiles.	7
Figura 3	Extracción por fluidos supercríticos.....	8
Figura 4	Diagrama P-T del Dióxido de Carbono	14
Figura 5	Esquema de un sistema dinámico o de flujo.	15
Figura 6	Esquema de un Sistema estático.....	16
Figura 7	Proceso de Extracción.	17
Figura 8	Partes de un Cilindro de CO ₂	19
Figura 9	Recipiente a presión, vista de sus partes principales.....	20
Figura 10	Norma ASME Sección VIII.....	21
Figura 11	Partes de un separador.....	23
Figura 12	Tipos de Gas Booster.	26
Figura 13	Horno de resistencias.	29
Figura 14	Equipos de calentamiento directo, intermitente y continuo.	30
Figura 15	Termocontrolador TCM - RR4.....	30
Figura 16	Relé MK2P-I.....	31
Figura 17	Termocupla tipo J.....	32
Figura 18	Válvula de aguja.....	33
Figura 19	Válvula de bola.....	34
Figura 29	Casa de la Calidad.....	35
Figura 20	Patrón de falla A (Curva de bañera).....	38
Figura 21	Patrón de falla B. (Curva de desgaste acelerado al final de la vida útil).....	38
Figura 22	Patrón de falla C. (Curva de desgaste).	39
Figura 23	Patrón de falla D. (Curva de falla aleatoria).	39
Figura 24	Patrón de falla E. (Curva de falla aleatoria casi perfecta).	39
Figura 25	Patrón de falla 6.....	40
Figura 26	Factores que influyen en los errores humanos.	43
Figura 27	Proceso de Extracción Ciclo Abierto.	44

Figura 28 Proceso termodinámico del proceso de extracción supercrítica con CO ₂	45
Figura 30 Diagrama de la casa de la calidad.	47
Figura 31 Pantalla Principal Software Haskel Gas Booster.....	50
Figura 32 Selección de Bomba Gas Booster.	51
Figura 33 Curvas de Operación de la Bomba.	52
Figura 34 Diagrama esquemático de bomba AG- 30.	52
Figura 35 Boquillas en el cilindro de extracción.	58
Figura 36 Altura del separador vertical según la GPSA.	61
Figura 37 Demister.....	63
Figura 38 Nuevo Proyecto Automation Studio P6.	65
Figura 39 Hoja en blanco Automation Studio P6.....	66
Figura 40 Control Eléctrico.....	66
Figura 41 Explorador de bibliotecas Automation Studio P6.	67
Figura 42 Control Neumático.	67
Figura 43 Circuitos de Control Eléctrico y Neumático.	68
Figura 44 Explorador de archivos Automation Studio P6.....	68
Figura 45 Circuito de Alta Presión.....	69
Figura 46 Cilindro de alta presión modelado.....	70
Figura 47 Tapa de alta presión modelado.....	70
Figura 48 Ensamble del sistema de alta presión.....	71
Figura 49 Vista del ensamble.....	71
Figura 50 Análisis estático con 1100 Psi.....	72
Figura 51 Análisis estático con 3000 Psi.....	72
Figura 52 Sistema P&ID de Extracción con fluido supercrítico.	75
Figura 53 Esquema del módulo de Extractor de esencias por Fluidos Supercríticos.	77
Figura 54 Curva de Operación de Bomba Gas Booster.....	103
Figura 55 Grafica del Proceso de Calentamiento en la extracción.....	104
Figura 56 Curva de Operación de Bomba Gas Booster Prueba 2.	105
Figura 57 Grafica del Proceso de Calentamiento en la extracción Prueba 2.	107
Figura 58 Curva de Operación de Bomba Gas Booster Prueba 3.	108

Figura 59 Grafica del Proceso de Calentamiento en la extracción	
Prueba 3.	109
Figura 60 Curva de Operación de Bomba Gas Booster Prueba 4.	110
Figura 61 Grafica del Proceso de Calentamiento en la extracción	
Prueba 4.	111
Figura 62 Curva de Operación de Bomba Gas Booster Molle Prueba 1... ..	113
Figura 63 Grafica del Proceso de Calentamiento en la extracción Molle	
Prueba 1.	114
Figura 64 Curva de Operación de Bomba Gas Booster Molle Prueba 2... ..	115
Figura 65 Grafica del Proceso de Calentamiento en la extracción Molle	
Prueba 2.	116
Figura 66 Curva de Operación de Bomba Gas Booster Molle Prueba 3... ..	117
Figura 67 Grafica del Proceso de Calentamiento en la extracción Molle	
Prueba 3.	119
Figura 68 Curva de Operación de Bomba Gas Booster Molle Prueba 4... ..	120
Figura 69 Grafica del Proceso de Calentamiento en la extracción Molle	
Prueba 4.	121

RESUMEN

Este proyecto se efectúa con el fin de apoyar al desarrollo de esencias aplicadas en las distintas áreas de la industria como perfumería, alimentos, medicina, entre otros. El método de extracción de esencias por fluidos supercríticos es un método que aporta con las mejoras establecidas como la reducción en el tiempo de extracción, aunque su aplicación es de mayor costo en comparación a los métodos convencionales. Se diseña el extractor y separador del proceso de extracción en Acero 304 por sus aplicaciones en la industria de alimentos, en base a ecuaciones para diseño de cilindros de alta presión (Norma ASME Sección VIII división I) y separadores bifásicos verticales. Se elabora un plan de mantenimiento y un manual de operación del prototipo de extractor de esencia, se realizarán pruebas de obtención con el prototipo, dichas pruebas se enfocarán en plantas primitivas de la región andina ecuatoriana como el molle y paico, el punto de extracción se determina mediante experimentación pues no existe ecuación para determinar dicho punto. Finalmente se establece conclusiones y recomendaciones.

PALABRAS CLAVE:

- **FLUIDO SUPERCRÍTICO**
- **EXTRACCIÓN DE ESENCIA**
- **SEPARADOR BIFÁSICO**
- **ESENCIA PLANTA AROMÁTICA**

ABSTRACT

This project is carried out to support to the development of essences applied in the different areas of the industry as perfumery, food, medicine, among others. The essences by supercritical fluid extraction method is a method that provides with improvements established as the reduction in the time of extraction, although its application is more expensive in comparison to conventional methods. Is designed the exhaust and separator of the process of extraction in steel 304 by its applications in the industry of food, based on equations for design of cylinders of high pressure (standard ASME section VIII division I) and separators two-phase vertical. Prepares a maintenance plan and operation of the prototype of essence extractor manual, obtained with the prototype tests will be, such tests will focus on primitive plants from the Ecuadorian as molle and paico Andean region, the extraction point is determined by experimentation because there is no equation to determine this point. Finally provides conclusions and recommendations.

KEY WORDS:

- **SUPERCRITICAL FLUID**
- **REMOVAL OF ESSENCE**
- **TWO-PHASE SEPARATOR**
- **ESSENCE AROMATIC PLANT**

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

Las tendencias por adquirir productos más saludables, con menor contenido de grasas o conteniendo aceites como ingredientes especiales, más seguros, así como la legislación medioambiental que limita progresivamente tanto la contaminación asociada como los desperdicios generados en los procesos industriales de producción, el paulatino incremento del costo asociado a los métodos convencionales de separación y la competencia comercial de aceites o esencias, estimulan a la industria a abrir camino en la investigación tecnológica y a viabilizar métodos de extracción que aporten nuevos usos y ventajas, hechos sobre los procesos y productos tradicionales, ya sea para su reducción como para su obtención.

La aplicación de la tecnología de extracción mediante fluidos supercríticos es una técnica de separación caracterizada principalmente, por su inocuidad, sensibilidad en la preservación de la calidad original de la fuente natural ya sean semillas, frutos secos, biomasa, u otras. Su aumento de pureza, así como logro de rendimientos absolutos y sostenibilidad medioambiental, pero habitualmente conlleva un costo superior referido a la materia prima tratada, debido sobre todo a su menor tiempo de existencia y por tanto menor difusión, similar al caso de la introducción de la telefonía móvil respecto de la fija, mucho más versátil, útil y sofisticada y con una evolución temporal insospechadamente meteórica que ha evolucionado a precios tan favorables que actualmente alcanza valores de erradicación casi definitiva de la competencia original, el concepto de costo ha de ser valorado respecto de la aplicación final, consiguiendo rentabilidades inigualables en materias primas seleccionadas.

1.2 Planteamiento del problema

La extracción de esencias por los métodos convencionales de extracción como son: por disolventes y por vaporización, se pierde gran porcentaje la pureza de la muestra y además toma mucho tiempo en el proceso de extracción. Un factor muy importante a corregir es el aprovechamiento total de la materia prima, muchos son los casos donde al finalizar la extracción de esencias por métodos convencionales, la materia procesada residual aun cuenta con propiedades que podrían extraerse por un método más eficiente.

Normalmente en el producto final obtenido por los métodos convencionales contienen residuos de los disolventes utilizados, por el cual la esencia no es netamente pura, por tales razones para un nivel de producción eficiente se obliga a buscar nuevos métodos de extracción viables.

1.3 Justificación e importancia

El método de extracción de esencias por fluidos supercríticos al comportarse como un líquido facilita la disolución de los solutos, a la vez que, su comportamiento como gas permite una fácil separación de la esencia, por lo que conlleva un proceso de extracción más rápido, eficiente y selectivo ante los otros métodos convencionales.

Las plantas a nivel industrial del método de extracción por fluidos supercríticos, tienen un costo de adquisición demasiado elevada para productores minoritarios con negocios propios o microempresas, es por tal razón que se ha optado por diseñar y construir un prototipo de una planta extractora de esencia por fluidos supercríticos, con el fin de facilitar la adquisición de este método a dichos productores, con todas las ventajas que este método conlleva.

1.4 Objetivo General

Diseño y construcción de un prototipo de extractor de esencias con fluidos supercríticos para mejorar el rendimiento de extracción de esencias.

a. Objetivos específicos

- Investigar el método de extracción de esencias por fluidos supercríticos
- Diseñar un prototipo de extractor de esencias por fluidos supercríticos.
- Construcción del prototipo de extractor de esencias por fluidos supercríticos.
- Realizar pruebas de obtención de muestras de esencias en el prototipo.
- Obtener una muestra de esencia.

b. Alcance

En el capítulo 2 se detalla los distintos métodos de extracción convencionales y el método de extracción con fluidos supercríticos, sus ventajas, así como los distintos sistemas aplicados con el método de extracción con sus respectivos elementos. Además de la norma ASME sección VIII.

En el capítulo 3 mediante la norma ASME sección VIII se detalla los parámetros relevantes para el diseño de los elementos de un sistema de extracción con fluidos supercríticos, tomando en cuenta un volumen de ½ litro para el prototipo.

En el capítulo 4 mediante el uso de herramientas tecnológicas se procede a simular el sistema de extracción, así como los subsistemas eléctrico y neumático. Además de verificar el factor de seguridad de los elementos de alta presión, con una simulación en software.

En el capítulo 5 se desarrolla un manual de operación para el sistema de extracción, así como un manual de manteniendo muy importante para salvaguardar la seguridad del operador.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

El presente capítulo explica los métodos de extracción de esencias entre ellos los convencionales y los modernos, la aplicación de esencias en las distintas áreas de la industria. Se explica con más profundidad del tema método por fluidos supercríticos ya que es el método a aplicar en el proyecto, además se exponen las características del CO₂ como fluidos supercríticos y la manera de utilizarlo en la extracción de esencias.

2.1 Descripción general de extracción de esencias

El estudio de (Silvia Torrico, 2014) encontró lo siguiente:

“Las esencias son productos odoríferos que se extraen de una gran cantidad de vegetales. Esta esencia es la sustancia sintetizada obtenida a partir de una infusión”. El cual quiere decir que básicamente las esencias son productos que despiden olor agradable y que son extraídas por infusión es decir la acción de sumergir una sustancia orgánica en un líquido a condiciones de temperaturas ideales para que se disuelvan sus partes solubles.

Dichas esencias se extraen de los tejidos de los órganos de diferentes partes de las plantas como hojas, tallo, flores y raíces mediante diversos procedimientos físicos y químicos, según la estabilidad y cantidad del compuesto final que se pretenda obtener.

2.2 Aplicaciones de las esencias en la industria

En la Industria Alimentaria

Los aceites más empleados por esta industria son naranjas, menta, limón, hinojo y se emplean para condimentar alimentos sólidos, así como también

bebidas alcohólicas y no alcohólicas, estas esencias también se aplican para producción de caramelos, chocolates, etc.

En la Industria Farmacéutica

Los aceites más empleados por esta industria son menta, naranja, hinojo, eucalipto los cuales se usan en cremas dentales, analgésicos e inhalantes para distintos síntomas.

En la Industria de Cosméticos

Los aceites más empleados son geranio, lavanda, rosas los cuales son aplicados para la producción de cosméticos, jabones, perfumes y maquillajes.

En la Industria de Desodorantes Industriales

Principalmente se usa las esencias para camuflar el olor desagradable de algunos productos industriales como el caucho, plásticos y pinturas. Además, en la industria papelera se emplea para impregnar fragancias en cuadernos, papel y toallas faciales. En textilería se usan como enmascaradores de olores en tratamientos antes y después del teñido.

En la industria tabacalera

A la amplia demanda de mentol para los cigarrillos mentolados.

En la industria de Biocidas

Principalmente se usan los aceites de tomillo, clavo, salvia, mentas, orégano, pino, lavanda, ruda, ajeno, entre otras por sus propiedades bactericidas. En parte estas esencias también son usadas en la Industria de tratamiento Veterinario.

2.3 Métodos de extracción

2.4.1. Destilación por arrastre de vapor de agua

La materia prima (planta) generalmente fresca y cortada en trozos pequeños, es encerrada en una probeta o cámara inerte en el cual ingresa una corriente de vapor de agua sobrecalentado, dicha corriente arrastra consigo la esencia al mezclarse con la planta muestra de este modo el vapor es posteriormente condensada, recolectada y separada de la fracción acuosa.

Este método es muy utilizado especialmente para esencias fluidas, especialmente las utilizadas para perfumería. Muchos comerciantes usan este método debido a que no utiliza tecnología avanzada para extraer la esencia.

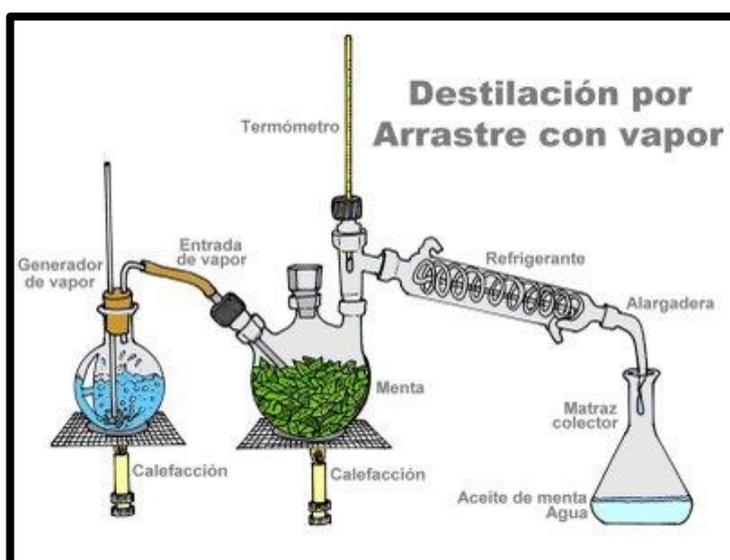


Figura 1 Destilación por arrastre de vapor.

Fuente: (Esperanza, 2012)

2.4.2. Extracción con solventes volátiles

Se obtiene a partir de una muestra seca y molida que se pone en contacto con varios solventes como alcohol, cloroformo, los cuales solubilizan a esencia de la muestra, pero al mismo tiempo solubilizan y extraen otras

sustancias tales como grasas y ceras, por lo cual se obtiene al final una esencia impura.

Este método no es utilizado a nivel industrial ya que los gastos por los solventes utilizados acumulan gran pérdida económica y además no es factible ya que se obtiene esencias impurificadas con otras sustancias. Eso sin asimilar el alto riesgo de explosión e incendio característicos de muchos solventes volátiles. Su uso es mas a nivel de laboratorio.

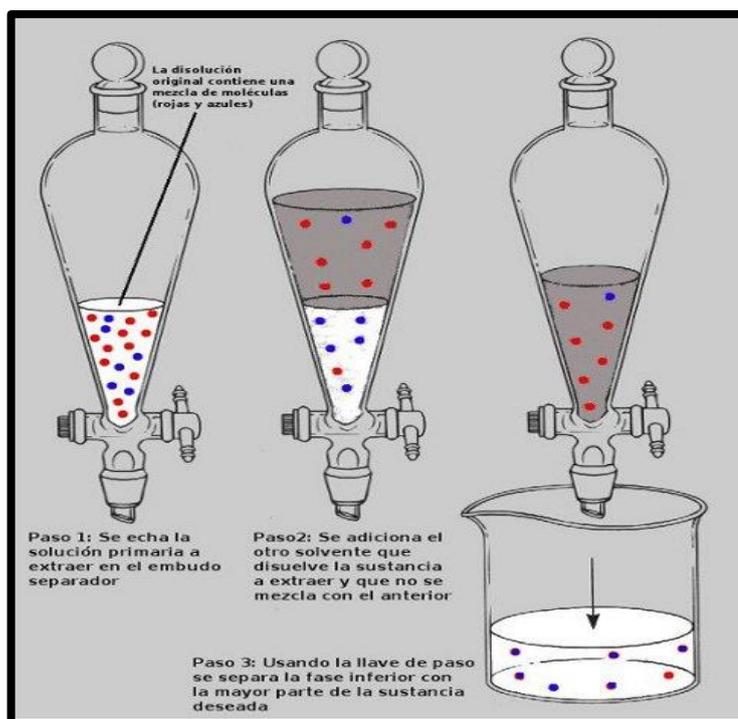


Figura 2 Extracción por solventes volátiles.

Fuente: (Bruzos, 2004)

2.4.3. Método de Enflorado

Resulta de mezclar aceite vegetal con la muestra que se desea extraer la esencia. La esencia es solubilizada en el aceite vegetal que actúa como vehículo extractor. Se obtiene una mezcla de aceite esencial y aceite vegetal en donde es necesario posteriormente ser separada por otros medios físico-químicos.

Este método es empleado para la obtención de esencias florales tales como rosa, jazmín, azahar, etc., pero debido a su bajo rendimiento y la difícil separación del aceite extractor la hacen costosa.

2.4.4. Extracción por fluidos supercríticos

Su experimentación es más reciente, la muestra cortada en trozos pequeños, licuado o molido, es suministrada a una cámara de acero inoxidable donde se hace circular a través de la muestra un líquido supercrítico, por ejemplo, dióxido de carbono líquido, de este modo el líquido supercrítico que actúa como solvente extractor solubiliza y arrastra las esencias hasta una descompresión progresiva y así alcanzar la presión y temperatura ambiente, y finalmente se obtiene una esencia pura.

Este método presenta varias ventajas como rendimiento alto, el solvente se elimina fácilmente e inclusive se puede reciclar, es ecológicamente compatible, y las bajas temperaturas utilizadas para la extracción no cambian químicamente los componentes de la esencia. El inconveniente es que requieren bombas de alta presión y sistemas de extracción también resistentes a las altas presiones.

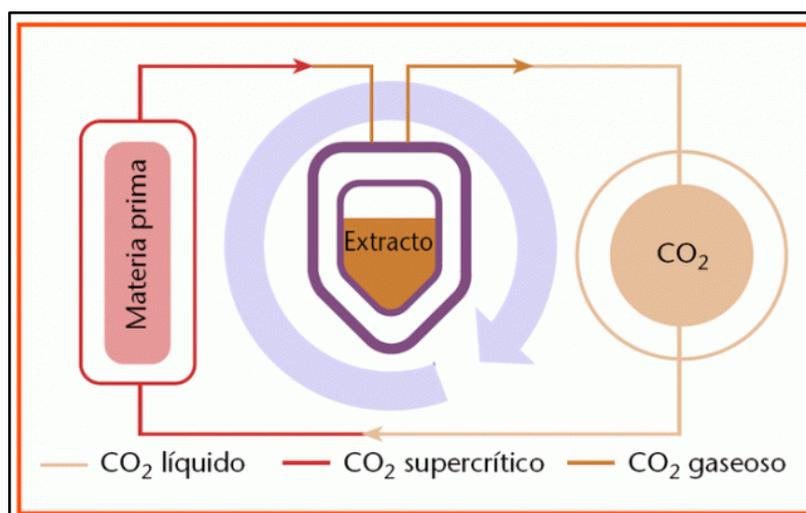


Figura 3 Extracción por fluidos supercríticos.

Fuente: (Castaños, 2015)

2.4 Extracción de fluidos supercríticos

La extracción con fluidos supercríticos (EFSC) es una técnica de separación de micropartículas disueltas o incluidas dentro de una esencia, este proceso se efectúa por encima del punto crítico del solvente, basándose en la capacidad que tienen determinados fluidos en estado supercrítico de modificar su poder de disolución.

Tabla 1

Ventajas y Desventajas de Extracción por Fluidos Supercríticos.

Ventajas	Desventajas
Se usan temperaturas moderadas, lo que evita el deterioro de los componentes térmicamente lábiles del producto natural.	El equilibrio de fase entre soluto y solvente puede ser complicado.
La alta volatilidad de estos fluidos facilita su eliminación y asegura niveles muy bajos de solvente residual en el producto final. Esto, sumado a que generalmente se utilizan como fluidos supercríticos solventes no nocivos, los hace atractivo para el desarrollo de procesos sustentables, contribuyendo a la denominada “química verde”.	Cuando se necesitan utilizar cosolventes para alterar la polaridad del fluido, éstos pueden quedar en el extracto, requiriendo una operación de separación posterior.
La extracción se realiza sin cambios de fase.	Las altas presiones dificultan la adición continua de sólidos al extracto.
Se mejoran las propiedades de transporte, lo que facilita el proceso de extracción.	Los costos de operación son elevados, se necesita de una inversión inicial alta.
Pueden extraerse en forma diferencial compuestos volátiles y no-volátiles, ajustando la densidad del fluido para variar su poder solvente. El agregado de un	Baja disponibilidad de equipos y reducido desarrollo de diseños.

CONTINÚA 

cosolvente también puede ayudar a mejorar la selectividad en la separación.

Fuente: (Parzanese)

2.5 Fluidos supercríticos

Tienen propiedades tanto de líquido como de gas. Supongamos que tenemos un recipiente cerrado con CO₂ líquido, y el espacio que queda por arriba se llena con CO₂ en estado gaseoso. Ahora aumentamos la temperatura y la presión del recipiente. El aumento de temperatura hace que el líquido se expanda y se haga menos denso. Mientras tanto, el gas se hace más denso al aumentar la presión. Si la presión y la temperatura se elevan en la forma adecuada, hasta un punto denominado Punto Crítico, la densidad de los estados líquido y gaseoso se iguala.

En ese punto, la distinción entre el gas y el líquido se desvanece, la interface entre los dos desaparece y solo queda una sola fase supercrítica. El punto crítico, donde el gas y el líquido son indiferenciables, tiene lugar a una temperatura específica denominada Temperatura Crítica, T_c , y a una presión específica llamada Presión Crítica, P_c . La fase supercrítica no es ni un gas ni un líquido, por lo que se denomina simplemente fluido.

Los Valores de T_c y P_c son característicos del compuesto, y algunos valores de sustancias que son útiles para la extracción de fluidos supercríticos se recogen en la Tabla 2. El fluido supercrítico que se usa normalmente es el CO₂ que es fundamentalmente un disolvente no polar. Cuando se tienen que extraer más moléculas polares se puede añadir un pequeño porcentaje de modificadores, como el metanol y el etanol, para hacer un fluido mixto. (Kenneth Rubinson, 2001, pág. 123)

Tabla 2

Temperaturas y Presiones críticas de fluidos útiles.

TEMPERATURAS CRÍTICAS Y PRESIONES CRÍTICAS DE FLUIDOS SUPERCRÍTICOS ÚTILES

Solvente	T _c (°C)	P _c (psi)	P _c (atm)	P _c (Mpa)	P _c (bar)
Dióxido de Carbono CO ₂	31.1	1072	72.9	7.38	73.8
Óxido Nitroso N ₂ O	36.5	1051	71.5	7.25	72.5
Propano C ₃ H ₈	97	616.4	41.9	4.25	42.5
Hexafluoruro de azufre SF ₆	45.5	545.2	37.1	3.76	37.6
Amoníaco NH ₃	132.5	1638.6	111.5	11.3	113
Acetileno C ₂ H ₂	36	906	61.65	6.24	62.4
Agua H ₂ O	374	3203	218	22.08	220.8
Metanol CH ₃ OH	239.4	1173	79.8	8.09	80.9
Etanol C ₂ H ₅ OH	240.4	890.5	60.6	6.14	61.4
Xenón Xe	16.6	858.24	58.4	5.91	59.17

Fuente: (Kenneth Rubinson, 2001, p123).

2.6 Aplicación de CO₂ como fluido supercrítico

El fluido que generalmente se utiliza a escala analítica es el Dióxido de Carbono (CO₂), el cual adquiere las condiciones de fluido supercrítico a una temperatura de 304.1 °K (31.1°C) y a la relativamente moderada presión de 7.39 MPa (1072 psi). Además, comparado con otros solventes, tiene las

ventajas de ser inerte y no ser tóxico, ni contaminante, ni inflamable ni corrosivo, admite modificadores para aumentar su polaridad y es relativamente barato.

Tabla 3

Aspectos Favorables y desfavorables de los fluidos supercríticos más usuales

	CO ₂	NH ₃	H ₂ O	N ₂ O	CFC	C ₃ H ₈	CH ₃ OH
Toxicidad	+	-	+		+	+	-
Inflamabilidad	+	-	+		+	-	-
Bajo Coste	+	-	+		+	-	-
Reactividad	+	-	-	-	+	+	-
Facilidad alcanzar condiciones críticas	+	-	-	+	+	+	-
Impacto ambiental	+		+		-		-
Gas en condiciones ambientales	+			+	+	+	
Polaridad	-	+	+	+	+	-	+

(+) Favorable, (-) Desfavorable. CFC = Clorofluorocarbonos. HC = Hidrocarburos.

Fuente: (Martínez, 2004, p. 261)

Las propiedades de los fluidos supercríticos están intermedias entre las propiedades de líquidos y gases. Por ejemplo, los gases se caracterizan por tener una densidad muy baja mientras que de los líquidos tienen una densidad alta, entonces los fluidos supercríticos tienen una densidad intermedia entre estos dos estados. Casos parecidos suceden con la viscosidad tal como se muestra en la tabla 4 donde se aprecia la magnitud de cada una de estas propiedades para estos tres estados.

Tabla 4**Comparación entre las propiedades del CO₂.**

Densidad	Gas	FSC	Líquido
[kg/m³]	1	500	900
[g/cm³]	0.001	0.5	0.9
Viscosidad	Gas	FSC	Líquido
[Centipoise]	0.01	0.02	1
[mPa*s]			
[g/cm*s]	0.0001	0.0002	0.01

Se puede observar que el FSC posee valores de densidad muy cercanos a los del estado líquido. Es un hecho muy importante al considerar que la capacidad de disolver de cada sustancia depende de su densidad, esto es debido a que el empaquetamiento de las moléculas del disolvente alrededor de la materia prima produce una función de las fuerzas intermoleculares.

Se puede observar en la tabla 4 donde que el FSC más bien posee valores de viscosidad más cercanos a la de los gases. De este modo, ambas propiedades tanto la densidad como la viscosidad influyen directamente en la velocidad y capacidad de transferencia de masa de los FSC. En resumen, los FSC poseen un gran poder disolvente debido a su densidad parecida a la de los líquidos, del mismo modo posee una buena transferencia de masa al tener su viscosidad similar al de los gases, lo cual lo convierte en el disolvente más eficaz.

En la figura 4 se muestra el diagrama de fases P-T para el dióxido de carbono en el que se señala la zona supercrítica. A temperatura superiores a la crítica no es posible generar una fase sólida por elevación de presión. El FSC pasa directamente a líquido si se reduce la temperatura en condiciones isobáricas, o de igual manera pasa directamente a gas si se disminuye de forma isoterma la presión.

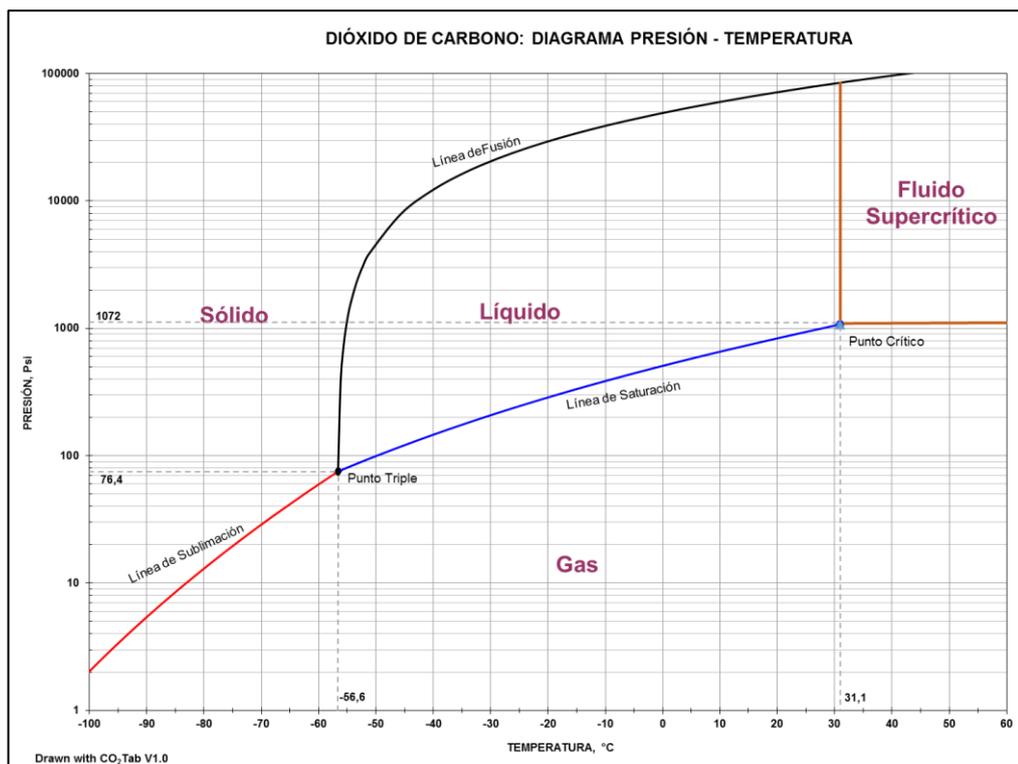


Figura 4 Diagrama P-T del Dióxido de Carbono

2.7 Definir el proceso de extracción con fluidos supercríticos

2.8.1. Tipos de sistemas

a. Sistema dinámico o de flujo

En la figura 5 se presenta específicamente una instalación básica de CO₂ supercrítico representativa de los sistemas de flujo, se suele operar de forma que el disolvente procedente de una botella, con ayuda de una bomba que incrementa su presión hasta las condiciones de operación, atraviesa la célula de solubilidad que se encuentra a presión y temperatura de trabajo, disolviendo parte del soluto.

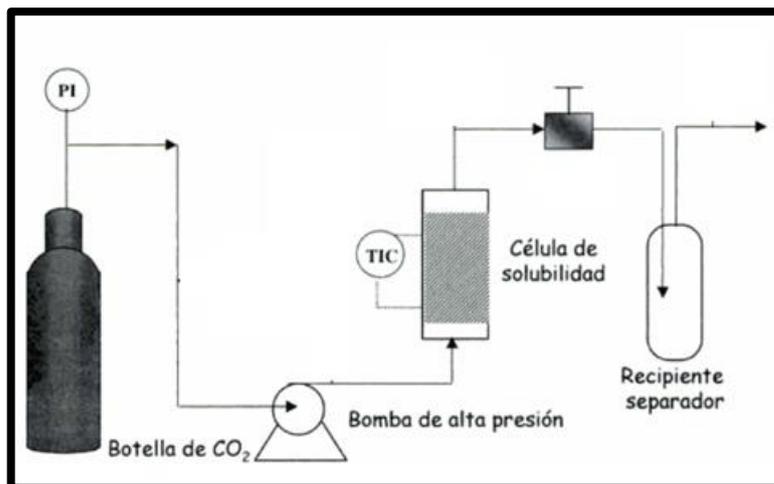


Figura 5 Esquema de un sistema dinámico o de flujo.

Fuente: (Luque de Castro, 1993)

Después, la mezcla soluto disolvente abandona la célula por la parte superior y se expande hasta la presión atmosférica al atravesar una válvula. La expansión produce la separación del disolvente, ahora en fase gas, del soluto recuperándose este último en un recipiente colector. El disolvente abandona el sistema y se cuantifica mediante un medidor de caudal. Entre las ventajas de este método de operación cabe destacar la simplicidad y rapidez en la obtención de los resultados. Sin embargo, presenta el inconveniente de posibles obstrucciones de la válvula y que solamente sirve para determinar la concentración del soluto en fase supercrítica.

2.8.1.2. Sistemas estáticos

Las determinaciones en condiciones estáticas pueden ser de dos tipos: sintéticas y analítica. Las sintéticas se realizan en una célula de equilibrio de volumen variable con una ventana que permita visualizar los cambios de fase. La determinación de solubilidades se lleva a cabo introduciendo el soluto en la celda y rellenado el sistema con disolvente.

Después se comprime la celda isotérmicamente hasta que todo el soluto se solubiliza y se vuelve a descomprimir, muy lentamente, hasta que aparece de nuevo dos fases. La solubilidad se determina en el punto medio del

intervalo de presiones comprendido entre ambas situaciones. Para detectar el cambio de fase con mayor precisión habitualmente la absorbancia.

Las ventajas de este método denominado sistemático es tan fácil visualizar y detectar los cambios de fase, en que no precisa toma de muestras y en que las cantidades de soluto y disolvente empleados son muy pequeñas. Las determinaciones analíticas se llevan a cabo en una celda de equilibrio en la que existe una fuerte agitación, con lo que el equilibrio se alcanza con gran rapidez.

Un experimento típico se lleva a cabo situando la sustancia de la que se desea conocer la solubilidad junto con el disolvente en celda de equilibrio ajustándose seguidamente la presión y temperatura en la misma para que la mezcla este en un estado heterogéneo.

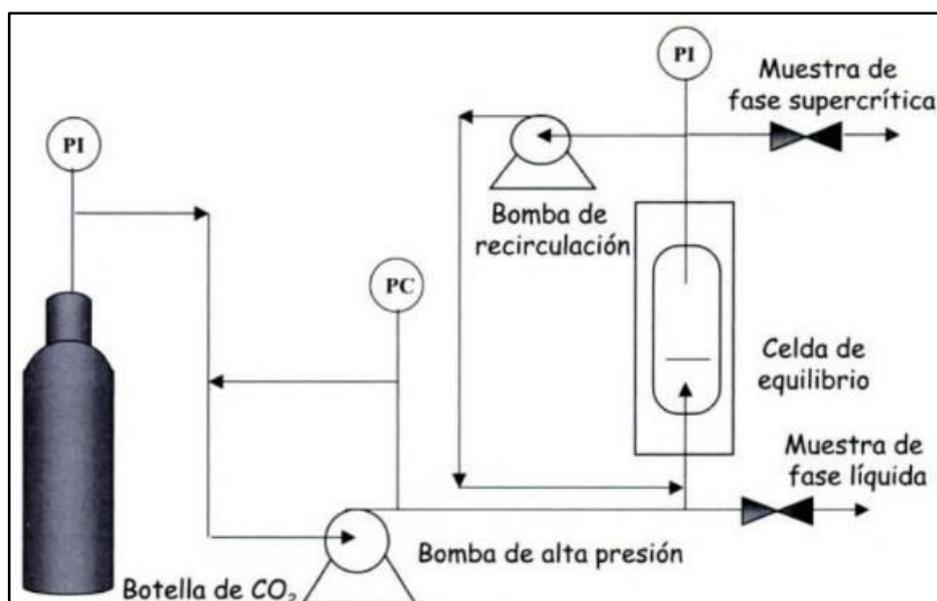


Figura 6 Esquema de un Sistema estático.

Fuente: (Luque de Castro, 1993)

2.9. Etapas de extracción

El proceso de extracción del sistema puede dividirse en cuatro etapas esenciales:

1. Presurización.

2. Ajuste de Temperatura.
3. Extracción.
4. Separación.

Presurización: Por medio de una bomba de alta presión o una bomba HPLC, se alcanza la presión necesaria del solvente designado hasta su punto crítico para la extracción.

Ajuste de Temperatura: Por medio de un intercambiador de calor se produce la remoción o adición de energía térmica, para que a través del mismo el fluido comprimido alcance la temperatura crítica requerida.

Extracción: El fluido Supercrítico entra en contacto con la matriz que será procesada (Plantas aromáticas), las cuales se encuentran dentro de un recipiente extractor a alta presión, de donde se arrastra el soluto de interés.

Separación: Se separa la esencia extraída desde el fluido supercrítico por medio de cambios de presión y temperatura.

Esquema del proceso de extracción con fluidos supercríticos.

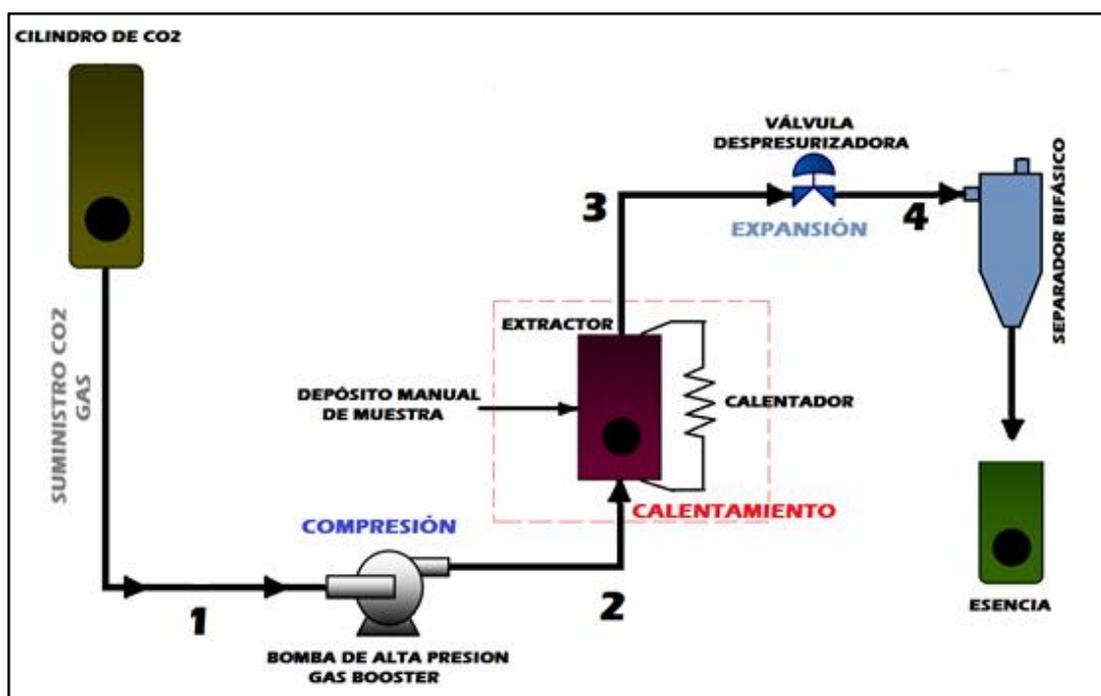


Figura 7 Proceso de Extracción.

SUMINISTRO DE CO₂. - Se suministra el fluido a utilizarse como solvente en condiciones de presión menores a 700 psi y a temperatura normales. Para este caso se utiliza CO₂ en estado gaseoso desde un cilindro el cual puede ser adquirido a nivel comercial.

BOMBA. - Se utiliza una Bomba de alta presión donde se comprime el gas hasta alcanzar una presión por encima de la presión crítica del CO₂.

CALENTADOR. - El solvente se calienta hasta alcanzar una temperatura por encima de la crítica, alcanzándose las condiciones necesarias para la extracción.

CÁMARA EXTRACTORA. - Se trata de un recipiente capaz de soportar altas presiones, en donde se encuentra la materia prima. El fluido supercrítico al mantenerse estático junto con la materia prima, lo disuelve y arrastra los componentes de interés.

VÁLVULA DE EXPANSIÓN. - Se libera presión sometiendo al fluido a condiciones por debajo de su presión crítica. El fluido al ser despresurizado pierde sus propiedades supercríticas y es posible separar el extracto del disolvente.

SEPARADOR BIFÁSICO. - Es capaz de separar el CO₂ en estado gaseoso a alta temperatura por la parte superior mientras que el extracto en estado líquido se extrae por la parte inferior. Cabe destacar que es esencial colocar medidores de presión, de temperatura y flujo del solvente a lo largo de todo el proceso, ya que su control depende de dichas propiedades.

2.10. Cilindros de CO₂

El CO₂ puede almacenarse en cilindros a alta presión a temperatura ambiente normal (20°C). En estos contenedores el CO₂ alcanza presiones de 838 psi para temperatura ambiente normal (20°C), disponen de tapón fusibles o válvulas de seguridad calibradas en un rango dependiendo del fabricante, y

los cilindros se ensayan a una presión de 3600 psi, la capacidad de estos cilindros está limitada a los 54 kg como máximo, aproximadamente.

Los cilindros de CO₂ son generalmente de acero al carbono. Este material sufre una corrosión peligrosa por el ácido carbónico (CO₂ disuelto en H₂O) con la pérdida de espesor en la pared del cilindro. Por lo tanto, los cilindros de CO₂ deben ser protegidos del agua o fluidos acuosos, es decir colocar válvulas antirretorno para evitar el reingreso de partículas de agua del ambiente.

Los sistemas de alta presión son diseñados generalmente para funcionar adecuadamente a temperaturas de almacenaje de 0 a 49°C. Mientras que los de baja presión funcionan normalmente a -18°C y no resultan afectados, a menos que la temperatura circundante baje de dicho nivel durante largo tiempo.

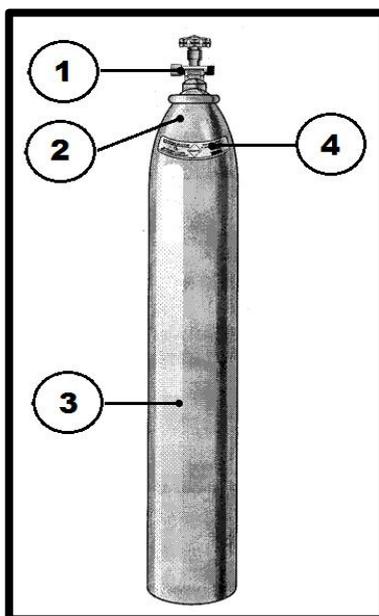


Figura 8 Partes de un Cilindro de CO₂.

1. Válvula. - Se encuentra la válvula de flujo de salida del tanque de Co₂, ésta válvula se identifica por presentarse con color Gris Oscuro y el cual además tiene un disco de seguridad que opera ante eventuales aumentos de presión, ya sea por temperatura o sobrecarga.

2. Casquete de mayor espesor. - Área donde deben ir inscritos o estampados los números de identificación del cilindro.
3. Cuerpo de pared delgada del cilindro. - Todo el cuerpo del cilindro debe presentarse de color Gris Oscuro, para identificar que se trate de un cilindro de CO₂
4. Etiqueta de identificación del Gas. - Debe indicar el nombre del gas, su símbolo químico y su clasificación (oxidante, inflamable, no inflamable, tóxico, no tóxico, etc.)

2.11. Recipientes de presión

Se entiende como recipiente de presión a cualquiera cilindro, esfera cerrada que sea capaz de almacenar un fluido o gas a presión manométrica, ya sea presión interna o externa. “Los recipientes de presión están presentes en todas las instalaciones industriales modernas, desde pequeños tanques hasta grandes depósitos”. (Gaudici, 2015, pág. 371)

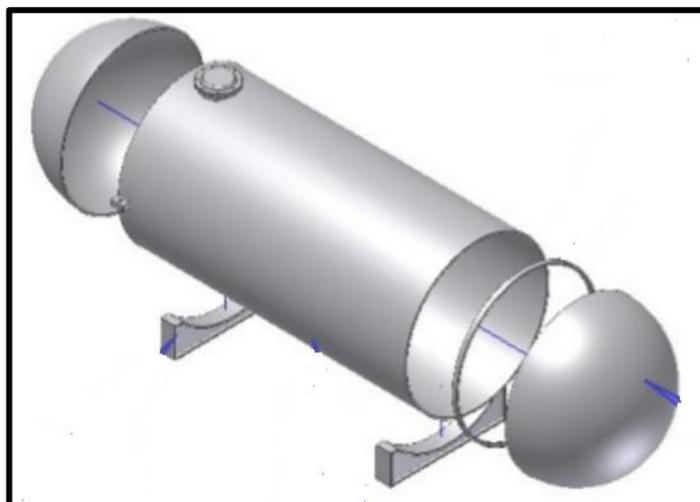


Figura 9 Recipiente a presión, vista de sus partes principales.

Fuente: (Azcapotzalco, 2013)

2.12. Norma ASME Sección VIII

En esta parte del código ASME se establecen los requerimientos mínimos para el diseño, fabricación e inspección de los recipientes sometidos a presión. Además, establece los procedimientos para obtener las certificaciones autorizadas de ASME. (Proyectos Piping, 2015)

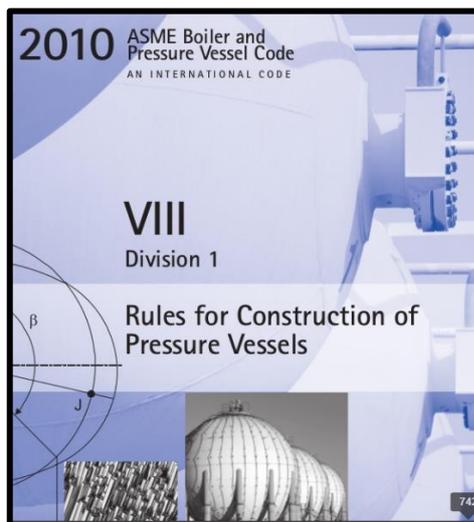


Figura 10 Norma ASME Sección VIII.

Fuente: (Fakhruddin, 2014)

Es un compendio de normas de diseño para las partes constitutivas de los recipientes sometidos a presión, las cuales están basadas en la teoría de la membrana. Las fórmulas mandatorias que determinan los espesores en todas las partes sujetas a presión, obedecen a los esfuerzos directos admisibles basados en 1/4 del esfuerzo último a la tensión.

Limitaciones de la división 1

- La presión deberá ser menor a 3000 psi
- Recipientes para menos de 454.3 litros de capacidad de agua, que utilizan aire como elemento original de presión
- Suministro de calor no mayor de 58 600 W
- Temperatura interna de 99 °C

- Recipientes sujetos a presión interna o externa de 15 psi
- Recipientes que no excedan de 15.2 cm (6 pulgadas) de diámetro.

2.13. Separador

2.13.1. Principios de Separación

Los principios fundamentales para realizar la separación física de vapor, líquidos o sólidos son: el momentum ó cantidad de movimiento, la fuerza de gravedad y coalescencia. Toda separación puede emplear uno o más de estos principios, pero siempre las fases de los fluidos deben ser inmiscibles y de diferentes densidades para que ocurra la separación. A continuación, se describen los principios de separación:

Momentum o cantidad de movimiento: si una corriente de fases, cambia de dirección bruscamente, las partículas de la fase liviana cambiarán de dirección o se moverán más rápido que las del fluido de mayor densidad o más pesado, este cambio en la cantidad de movimiento produce separación de las fases.

- Fuerza de gravedad: las gotas de líquido se separan de la fase gaseosa, cuando la fuerza de gravedad que actúa sobre las gotas de líquido es mayor que la fuerza de arrastre del gas sobre la gota de líquido. Estas fuerzas se expresan matemáticamente usando la “velocidad terminal de asentamiento V_t ” considerando las propiedades de los fluidos.
- Coalescencia: para las gotas más pequeñas de líquido que forman una especie de neblina o llovizna que son arrastradas por la fase gaseosa y no pueden ser separadas por gravedad, se utiliza un mecanismo coalescedor. Estos medios son los demister, eliminadores de niebla o mallas que hacen que las pequeñas gotas colisionen formando gotas más grandes que por su mayor tamaño y peso hacen que se precipiten por gravedad.

- Acumulación de líquido: los líquidos separados se acumulan en el fondo, esta sección permite que ciertas partículas de gas mezcladas con el líquido se separen debido a un tiempo de retención que debe permanecer el líquido acumulado.

2.13.2. Partes del separador

Todo separador, ya sea horizontal y vertical, bifásico o trifásico, para poder cumplir con los principios de separación, deben de dotarse de los mecanismos necesarios para cumplir con los principios de separación indicados anteriormente, para esto, se han establecido cuatro secciones principales (Figura 11) que se definen a continuación:

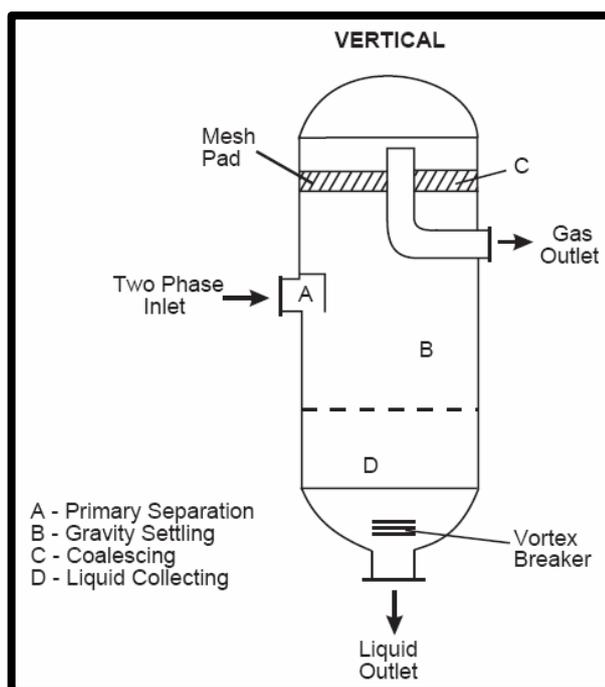


Figura 11 Partes de un separador.

Fuente: (Benito, 2010)

Primera sección de separación (sección A figura 11): comprende la entrada de fluidos al separador, permite absorber la cantidad de movimiento

de los fluidos en la alimentación y controla el cambio abrupto de la corriente, y produce una separación inicial.

Sección de fuerzas gravitacionales (sección B figura 11): en esta parte las fuerzas gravitacionales tienen influencia fundamental, ya que las gotas de líquidos que contiene el gas son separadas al máximo. Este proceso, se realiza mediante el principio de asentamiento por gravedad, la velocidad del gas se reduce apreciablemente y, en consecuencia, la corriente de gas sube a una velocidad reducida, provocando que las partículas dispersas de líquido se depositen en el fondo del recipiente.

Sección de extracción de neblina (sección C figura 11): aquí se separan las minúsculas partículas de líquido que contiene el gas después de haber pasado por las dos secciones anteriores. Los eliminadores de niebla son aditamentos para eliminar pequeñas gotas de líquido que no pueden ser separadas por la simple acción de la gravedad en separadores vapor-líquido.

Sección de acumulación de líquido (sección D figura 11): el líquido con cierta cantidad de gas se acumula en la parte inferior del separador. Esta sección debe diseñarse en función del tiempo necesario que permita que el gas atrapado en el líquido se separe; este tiempo, depende del líquido a separar y debe proveerse al separador del suficiente espacio de acumulación para cumplir o superar con el tiempo de retención específico. Según el artículo (Benito, 2010)

2.14. Métodos para amplificar la presión de un gas

2.14.1. Amplificadores

Los amplificadores de aire comprimido son multiplicadores de presión de ciclación automática que utilizan dos pistones en tandem; El pistón de mayor diámetro recibe la presión motriz y el pistón de menor sección que va unido a él puede generar una presión superior (El aire a baja presión aplicado sobre el pistón de mayor diámetro crea una alta presión en el pistón pequeño). La

ciclación se consigue por medio de dos válvulas de pilotaje de fin de carrera que pilotan y ventean alternativamente el extremo de mayor sección de una corredera de ciclación. El extremo de menor sección de la corredera utiliza un amortiguador de aire permanente. Esta corredera de ciclación no equilibrada asegura la ciclación del amplificador cuando se le comanda. Según (HASKEL, 2014)

La particular tecnología de las juntas permite que la sección de pilotaje de sus modelos pueda trabajar sin engrase en la línea de aire. Tampoco se utiliza engrase de ningún tipo en las secciones de alta presión en las que se utilicen casquillos no metálicos y juntas compensadores de desgaste.

La relación "ratio" de superficies entre los dos pistones conectados se llama relación de áreas y es el dígito mostrado detrás del guión (-) en todos los códigos de modelos. Este "ratio" y la fuente de presión de aire disponible determinan la máxima presión de salida del amplificador de aire.

Los amplificadores de presión de aire están alimentados y controlados por el mismo aire que amplifican, sin conexiones eléctricas. Su compacto tamaño hace que su instalación sea sencilla.

Características Principales

- Infinita capacidad variable de presión y de caudal de salida
- Ningún riesgo de calor, llama o chispas
- No necesita engrase en la línea de aire - sin vapor de aceite en el escape
- Larga duración de juntas con mantenimiento sencillo
- Amplia gama de modelos, controles y opciones
- Amplia gama de sistemas estándar y a medida

2.14.2. Gas booster

Los elevadores de presión de gas "Gas Booster" consisten en un pistón neumático oscilante de diámetro grande acoplado directamente por una pieza de enlace a un pistón más pequeño en la sección de gas. El pistón de gas trabaja dentro de un cilindro de gas de alta presión. Cada cabezal del cilindro lleva válvulas antiretorno de entrada y salida de alta presión. Según (Haskel, 2014)

La estanqueidad entre las cámaras de compresión de gas y la sección neumática se consigue por medio de 3 juegos de juntas dinámicas. La unión intermedia entre las dos cámaras (aire y gas) lleva una zona de venteo a la atmósfera. Este diseño impide que el aire de pilotaje pueda contaminar el flujo de gas.

La refrigeración se consigue reconduciendo el aire frío del escape de pilotaje a través de una camisa que rodea al cilindro de gas y también por medio de un inter-enfriador ("intercooler") en la línea inter-etapa (en modelos de doble etapa solamente).

Tipos básicos de Boosters:

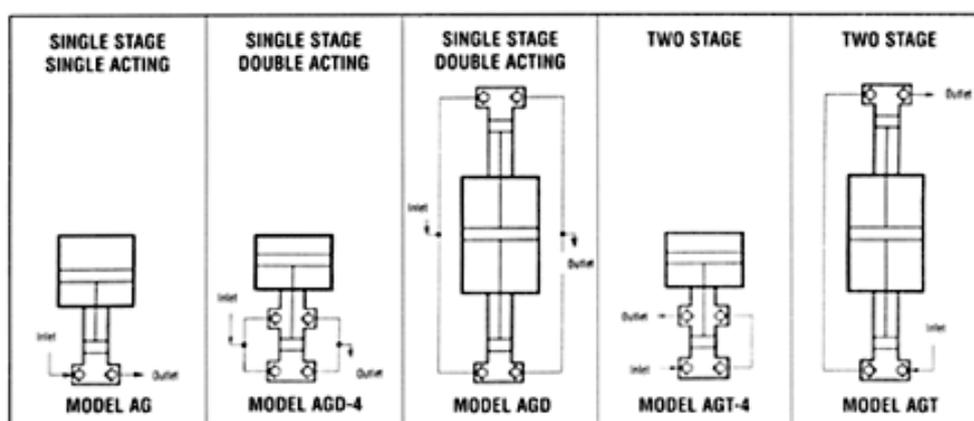


Figura 12 Tipos de Gas Booster.

Fuente: Catalogo Gas Booster Haskel

Características Principales

- Pilotados neumáticamente -no precisan electricidad
- No necesita engrase en la línea de aire
- Libre de hidrocarburos- separación entre las secciones de gas y aire
- Presiones hasta 39,000 psi (2690 bar)
- Amplia gama de modelos
- Refrigeración integrada en casi todos los modelos
- Sistemas estándar y a medida
- Apropiado para la mayoría de los gases

Sección de Pilotaje Neumático (Air Drive Section)

Lo único que normalmente debe considerarse son las condiciones del aire ambiente, ya que esto habitualmente determinará la temperatura de las juntas de la sección neumática y de gas y de otros componentes estáticos. Las partes estándar de pilotaje neumático funcionarán con fiabilidad en un margen de temperaturas entre 269° K a 338°K (-4°C a +65°C). Temperaturas más bajas provocarán fugas de aire/gas excesivas; temperaturas más altas reducirán la duración de las juntas. Es conveniente que el aire de pilotaje proveniente directamente del compresor esté templado al entrar en la sección de pilotaje del booster.

Transvase de Gas y Presurización

Los compresores de elevación de presión de gas, pilotados por aire o por gas, son apropiados para el trasvase y presurización de:

- 1) Nitrógeno (N₂)
- 2) Helio (He)
- 3) Aire Respirable (N₂O₂)
- 4) Óxido nitroso (N₂O)

- 5) Dióxido de Carbono (CO₂)
- 6) Neón (Ne)
- 7) Argón (Ar)
- 8) Hexafluoruro de Azufre (SF₆)
- 9) Oxígeno (O₂) - presión máxima de trabajo de seguridad 345 bar (5000 psi)
- 10) Monóxido de Carbono (CO)*
- 11) Hidrógeno (H₂)*
- 12) Metano (CH₄)*
- 13) Etileno (C₂H₄)*
- 14) Deuterio (D₂)*
- 15) Gas Natural (CH₄) - contiene a menudo una alta proporción de CO₂ & N₂ *

Para éstos gases (10 y 15), el booster trabajar en una zona segura y bien ventilada y el puerto/s de venteo conectados por tubo a una zona controlada. Los gases de tipo licuado (propano, CO₂, Óxido nítrico, etc.) pueden ser presurizados en estado líquido o gaseoso en aplicaciones controladas. Los boosters son notorios por su limpieza y pueden tratar gases puros como oxígeno sin riesgo de contaminación.

2.15. Métodos Calentamiento de acero

El tratamiento térmico, consiste en calentar el acero a una determinada temperatura, mantenerlo a esta temperatura durante un cierto tiempo hasta que se realice la operación deseada a velocidad conveniente. Los factores temperatura-tiempo deben ser muy bien estudiados dependiendo del material, tamaño y forma de la pieza.

2.15.1. CALENTAMIENTO POR RESISTENCIAS.

Los tratamientos térmicos por resistencias son aquellos en que la energía requerida para su calentamiento es de tipo eléctrico y procede de la resistencia óhmica directa de las piezas o de resistencias eléctricas

dispuestas en el horno que se calientan por efecto Joule y ceden calor a la carga por las diversas formas de transmisión de calor.



Figura 13 Horno de resistencias.

El calentamiento de piezas por resistencias eléctricas puede ser directo, cuando la corriente eléctrica pasa por las piezas, o indirecto, cuando las piezas se calientan por radiación, convección o una combinación de ambas, procedente de las resistencias propiamente dichas dispuestas en las proximidades de las piezas.

En la figura 13 se muestran dos tipos de equipos de calentamiento por resistencia directa. La pieza se somete a una corriente eléctrica de baja tensión, tomada del secundario de un transformador provisto de varias tomas para adaptarse a diferentes secciones y/o distintos materiales o aleaciones.

El de la izquierda es de funcionamiento intermitente, aplicándose sobre las piezas unas mordazas de contacto para paso de la corriente eléctrica a la pieza. El de la derecha es de funcionamiento continuo para calentamiento de varillas, alambres, etc., aplicándose sobre la pieza unas roldanas de cobre, normalmente refrigeradas por agua, que conducen la corriente eléctrica a la pieza e, incluso, pueden servir de elemento de arrastre continuo del material.

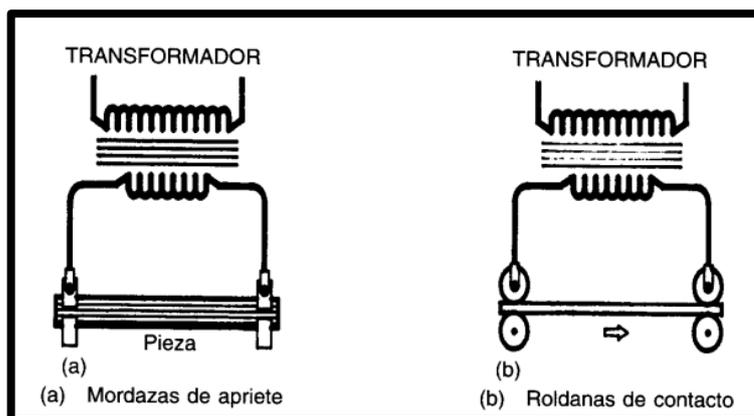


Figura 14 Equipos de calentamiento directo, intermitente y continuo.

2.16. CONTROL DE TEMPERATURA

2.16.1. Termocontrolador TCM-RR4

Como el nombre indica, un controlador de temperatura es un instrumento usado para la regulación de la temperatura. El controlador de temperatura tiene una entrada procedente de un sensor de temperatura y tiene una salida que está conectada a un elemento de control tal como un calentador o ventilador. Según (OMEGA, 2015)



Figura 15 Termocontrolador TCM - RR4.

Fuente: (Ibestchina, 2014)

2.16.2. Relé

El relé o relevador, es un dispositivo electromecánico, que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes. **Según** (Casali, 2014)

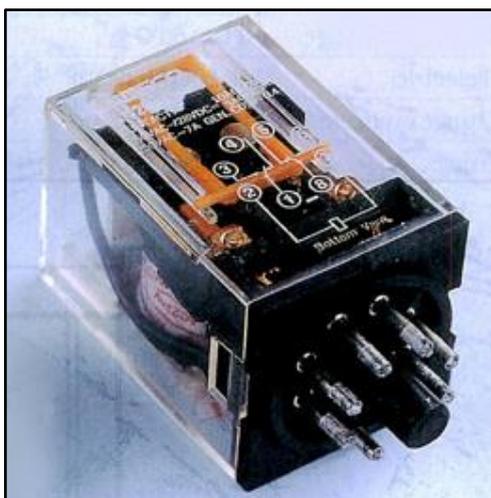


Figura 16 Relé MK2P-I.

Fuente: (Camsco, 2014)

2.16.3. Termocupla tipo J

Para uso continuo en atmósferas oxidantes, reductoras e inertes y en vacío hasta 760° C. Por encima de 540° C, el alambre de hierro se oxida rápidamente, requiriéndose entonces alambre de mayor diámetro para extender su vida en servicio. La ventaja fundamental de la termocupla Tipo J es su bajo costo.

No se deben usar en atmósferas sulfurosas por encima de 540° C. A causa de la oxidación y fragilidad potencial, no se las recomienda para temperaturas inferiores a 0 °C. No deben someterse a ciclos por encima de 760 °C, aún durante cortos períodos de tiempo, si en algún momento posterior llegaran a

necesitarse lecturas exactas por debajo de esa temperatura. **Según** (Serverdie, 2016)

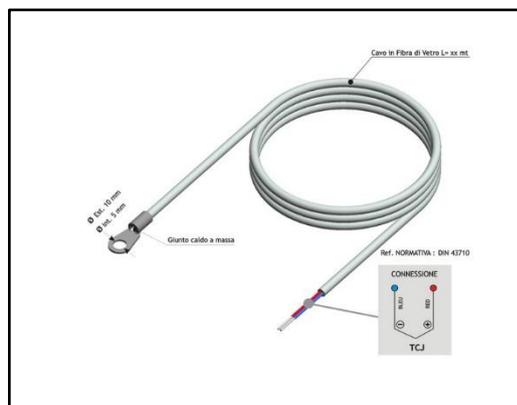


Figura 17 Termocupla tipo J.

Fuente: (Pixsys, 2016)

2.17. VÁLVULAS

Una válvula es un dispositivo mecánico destinado a controlar, retener, regular, dar paso a un fluido o gas. Básicamente la válvula es un ensamblaje compuesto de un cuerpo con conexión a una tubería, y de un obturador operado por un accionamiento, que impide el paso del fluido cuando está en posición de cierre en contacto con los sellos.

2.17.1. TIPOS DE VÁLVULAS.

a. Válvula de aguja.

La válvula de aguja es llamada así por el vástago cónico que hace de obturador sobre un orificio de pequeño diámetro en relación el diámetro nominal de la válvula.

El desplazamiento del vástago, si es de rosca fina, es lento y el hecho de que hasta que no se gira un buen número de vueltas la sección de paso del fluido es mínima, convierte esta válvula en una buena reguladora de caudal,

por su estabilidad, precisión y el diseño del obturador que facilita un buen sellado metálico, con poco desgaste que evita la cavitación a grandes presiones diferenciales. Es posible encontrar diseños con la disposición de los puertos de entrada y salida de la válvula de forma angular, recta (90°) o lineal (0°).

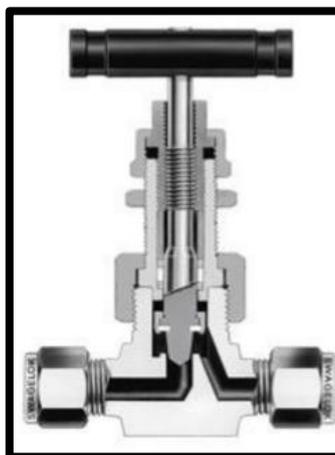


Figura 18 Válvula de aguja.

b. Válvula de bola.

En la válvula de bola un macho esférico agujereado controla la circulación del líquido. El sellado en válvulas de bola es excelente, la bola contacta de forma circunferencial y uniforme el asiento, el cual suele ser de materiales blandos.

Las aplicaciones más frecuentes de la válvula de bola son de obertura/cierre. No son recomendables usarlas en servicios de parcialmente abiertas por un largo tiempo bajo condiciones de alta caída de presión a través de la válvula, ya que los asientos blandos pueden tener tendencia a salir de su sitio y obstruir el movimiento de la bola.

Dependiendo del tipo de cuerpo la válvula, su mantenimiento puede ser fácil. La pérdida de presión en relación al tamaño del orificio de la bola es pequeña. El uso de la válvula está limitado por la resistencia a temperatura y presión del material del asiento, metálico o plástico. Se emplean en vapor,

agua, aceite, gas, aire, fluidos corrosivos, pastas aguadas y materiales pulverizados secos. Según que abrasivos o fluidos fibrosos pueden dañar la superficie de la bola y asiento.



Figura 19 Válvula de bola.

2.18. Casa de Calidad.

Se trata de una representación gráfica para la Calidad que busca enfocarse en el diseño de los productos y servicios en la figura 29 y cómo éstos se alinean con las necesidades de los clientes. Esta herramienta permite entre otras cosas entender mejor las prioridades de los clientes y buscar cómo responder de forma innovadora a dichas necesidades.

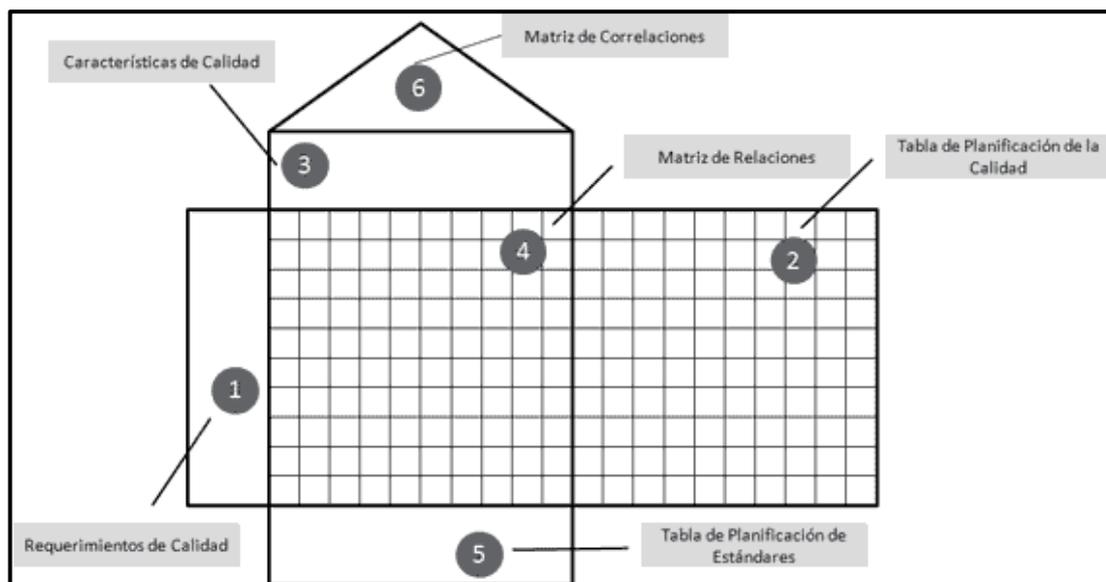


Figura 20 Casa de la Calidad

Fuente: (Aiteco, 2013)

- **Requerimientos de Calidad:** Es generalmente la primera parte de la matriz a completar debido a que es la más importante. Se considera la lista de los requerimientos del cliente sobre el producto o servicio en sus propias palabras. Y así se identifica cómo percibe el cliente la importancia relativa de cada uno.
- **Tabla de evaluación de la Calidad:** Se genera una comparación competitiva (benchmark) frente a los competidores relevantes en los atributos considerados más importantes por los clientes en la calidad del producto.
- **Características de Calidad:** Se enfoca a las características técnicas o de ingeniería del producto o servicio que la empresa ha detectado que contribuyen de alguna forma en satisfacer las necesidades de los clientes.
- **Matriz de Relaciones:** Esta sección relaciona cuantitativamente las necesidades de los clientes con las características de la calidad. Se utilizan notaciones gráficas que muestran relaciones "Fuertes", "Medias" o "Bajas". Es importante identificar qué características técnicas contribuyen a satisfacer una determinada necesidad y en qué magnitud sucede esto.

- Tabla de planificación de Estándares: Matriz donde se muestra los valores metas a alcanzar en cada característica técnica.
- Matriz de Correlaciones: Se identifican las correlaciones existentes entre las características técnicas.

2.18.1 La voz del Usuario.

Determina el criterio y la necesidad de lo que requiere el cliente para satisfacer sus necesidades al instante de construir el módulo didáctico, el cual está detallado a continuación:

- Seguridad al momento del proceso.
- Fácil accesibilidad al módulo y fácil mantenimiento.
- Manipulación lógica y operación secuencial en la extracción.
- Prototipo con estructuras rígidas y elegante presentación.
- Cantidad de Esencia extraída.
- Tiempo de extracción.

2.18.2 La voz del Ingeniero.

Una vez analizadas las necesidades del usuario, se procede a determinar los requerimientos técnicos con las que se puede cumplir con las demandas de la voz del usuario:

- Factor de seguridad apropiado.
- Factor de diseño.
- Diseño estructural.
- Dimensionamiento de Cilindros de Alta presión.
- Tipo de material utilizado para la construcción.
- Protección Eléctrica.
- Fuentes de Operación.
- Presiones de Operación.

2.19. DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN

Uno de los métodos o técnicas para efectuar un mantenimiento de calidad es el:

MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD

2.19.1. Definición de RCM

RCM o Reliability Centred Maintenance, (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) es una técnica para elaborar un plan de mantenimiento en una instalación industrial y presenta algunas ventajas importantes sobre otras técnicas, es un método que identifica las funciones de un sistema, la forma en que esas funciones pueden fallar y que establece las tareas de mantenimiento preventivo aplicables y efectivas basada en consideraciones relacionadas con la seguridad y la economía del sistema.

2.19.2. Beneficios del RCM

- Detectar los fallos tempranamente, para que así puedan ser subsanados rápidamente y con las mínimas interrupciones al funcionamiento del sistema.
- Eliminar las causas de algunos fallos antes de que tengan lugar
- Eliminar las causas de fallos antes de que tengan lugar mediante cambios en el diseño
- Identificar aquellos fallos que puedan producirse sin generar mermas en la seguridad del sistema

2.19.3. Patrones de falla

El patrón de falla A

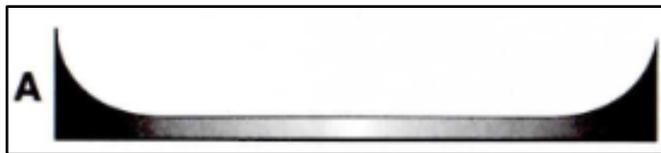


Figura 21 Patrón de falla A (Curva de bañera).

Posee 3 segmentos, un período de mortalidad infantil, un período de fallas causadas por eventos al azar o externos, y un período de desgaste acelerado.

La mortalidad infantil está relacionada con errores durante la instalación, reparación u operación que pueden ser causados por materiales inadecuados, errores en procedimientos para efectuar las tareas, reparaciones, así como errores durante la ejecución del procedimiento que puedan relacionarse con la competencia de las personas, así como la tasa "normal" de error que puede esperarse del tipo de operación.

El momento de las fallas al azar no se puede predecir, haciendo que las tareas de mantenimiento basadas en el tiempo sean inefectivas. El desgaste acelerado está relacionado con fallas que tienen una relación estadística sólida con la edad del componente.

El patrón de falla B

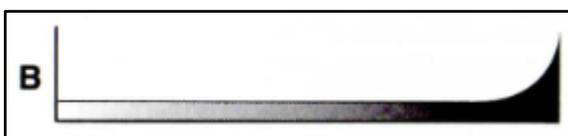


Figura 22 Patrón de falla B. (Curva de desgaste acelerado al final de la vida útil)

Posee 2 segmentos, un período de fallas causadas por eventos al azar o externos y un período de desgaste acelerado. En el patrón de fallas B, la probabilidad de mortalidad infantil es mínima, basada en la complejidad del

componente y la instalación (muy simple) y/o la posibilidad de llevar a cabo inspecciones completas y ensayos para asegurar la calidad previos al arranque.

El patrón de falla C



Figura 23 Patrón de falla C. (Curva de desgaste).

Tiene una baja probabilidad inicial de falla que aumenta lentamente con el tiempo. No hay mortalidad infantil ni desgaste acelerado.

El patrón de falla D

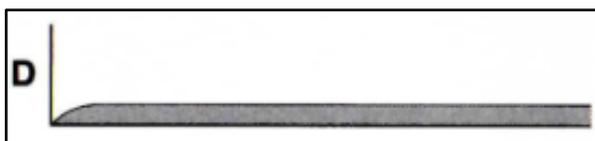


Figura 24 Patrón de falla D. (Curva de falla aleatoria).

Posee un patrón de falla al azar, con un pequeño menor número de fallas en el período inicial. Los componentes poseen un patrón de falla al azar. Ya que los componentes son simples y/o pueden ser completamente inspeccionados o ensayados.

El patrón de falla E

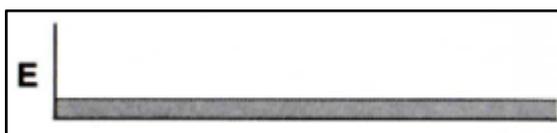


Figura 25 Patrón de falla E. (Curva de falla aleatoria casi perfecta).

Posee un patrón de falla al azar "casi perfecto", constante en todo el período de análisis sin fallas iniciales ni desgaste acelerado. Todos los componentes tienen la probabilidad de "falla al azar", causada por factores que no están relacionados con la edad del componente.

El patrón de falla F

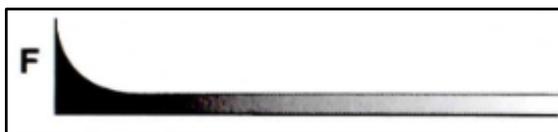


Figura 26 Patrón de falla 6.

Posee 2 segmentos, el período de mortalidad infantil y un período de fallas causadas por eventos al azar o externos. Debe notarse que este patrón de fallas es aplicable a la mayoría de los componentes electrónicos.

2.19.4. Funciones

Todas las funciones del activo deben ser descritas de manera clara y correcta. Los puntos a tenerse en cuenta son los siguientes:

- Cada una de las funciones incluidas deben definir sólo una función, a pesar que pueda incorporar más de un estándar de funcionamiento. Como regla, cada una de las funciones incluidas debe contener sólo un verbo (a menos que sea un dispositivo de protección)
- Los estándares de funcionamiento deben estar cuantificados, y deben indicar qué es lo que debe ser capaz de hacer el activo en su contexto operacional actual, y no su capacidad de diseño (qué puede hacer).
- Deben ser listados todos los dispositivos de protección y sus funciones deben estar descritas correctamente.
- Se deben listar las funciones de todos los elementos de medición e indicadores, junto con los niveles de precisión deseada.

2.19.5. Fallas funcionales

Deben ser listadas todas las fallas funcionales asociadas con cada función usualmente la pérdida total de la función más la negativa de cada uno de los estándares de funcionamiento enunciados en la función.

2.19.6. Modos de falla

Asegurarse que no se haya omitido ningún modo de falla que haya ocurrido en el pasado o que tengan posibilidad cierta de ocurrir. La descripción de los modos de falla debe ser específica. En particular:

- Deben incluir un verbo y no solamente especificar un componente
- El verbo debiera ser otro distinto a "falla" o "mal funcionamiento" a menos que estos sean apropiados para tratar la falla de un subsistema como un modo de falla simple.
- Cuando se habla de la falla de una válvula o un interruptor, debe indicarse si falló en posición abierta o cerrada.

Los modos de falla deben estar relacionados directamente a la falla funcional que se está considerando, y no deben ser transpuestos los modos y los efectos de falla.

2.19.7. Efectos de la falla

La descripción de los efectos de la falla permite decidir:

- Si la falla será evidente para los operadores del equipo y cómo será evidente.
- Si la falla afecta la seguridad y cómo la afecta.
- Qué efectos tiene la falla si existiera alguno sobre la producción o las operaciones volúmenes de producción, calidad de producto, servicio al cliente.

Los efectos de la falla deben indicar el tiempo total de parada probable más que el tiempo de reparación, y debe indicar qué debiera ser hecho para rectificar la falla (reemplazar, reparar, restaurar, entre otros).

2.19.8. Tareas proactivas

Tareas a condición

Las tareas a condición son consideradas primero en el proceso de selección de tareas, por las siguientes razones:

- Casi siempre pueden ser realizadas sin desplazar el activo físico de su ubicación y generalmente mientras continúa en servicio, con lo que es raro que interfieran con el proceso de producción. También son fáciles de organizar.
- Identifican condiciones específicas de falla potencial, de modo que se puede definir claramente la acción correctiva antes de que comience el trabajo. Esto reduce la cantidad de trabajos de reparación, y hace posible realizarlos más rápidamente.
- Identificar el punto de falla potencial en los equipos, les permite cumplir con casi toda su vida útil (como se ilustra en el ejemplo de las cubiertas).

2.19.9. Tareas de reacondicionamiento y de sustitución cíclica

Si no puede encontrarse una tarea a condición apropiada para un modo de falla en particular, la opción siguiente es una tarea de reacondicionamiento o de sustitución cíclica. Estas dos categorías de tareas tienen desventajas significativas:

- Solamente puede realizarse con la máquina detenida y (generalmente) requieren envío al taller, por lo que estas tareas casi siempre afectan de alguna manera a la producción.
- El límite de edad se aplica a todos los elementos, entonces muchos elementos o componentes que podrían haber sobrevivido más tiempo serán removidos.

- Las tareas de reacondicionamiento involucran trabajos de taller, por lo que generan una carga de trabajo mucho mayor que las tareas a condición.

Estas desventajas indican que cuando ambas categorías son técnicamente factibles, las tareas a condición son casi siempre más costo-eficaz que el reacondicionamiento programado o la sustitución cíclica, con lo cual se consideran primero las tareas a condición.

2.19.10. Error humano.

Casi todo "error humano" que lleva a una falla o problema, se debe por lo menos una de las siguientes cuatro áreas.

- Factores antropométricos
- Factores sensoriales
- Factores fisiológicos
- Factores psicológicos

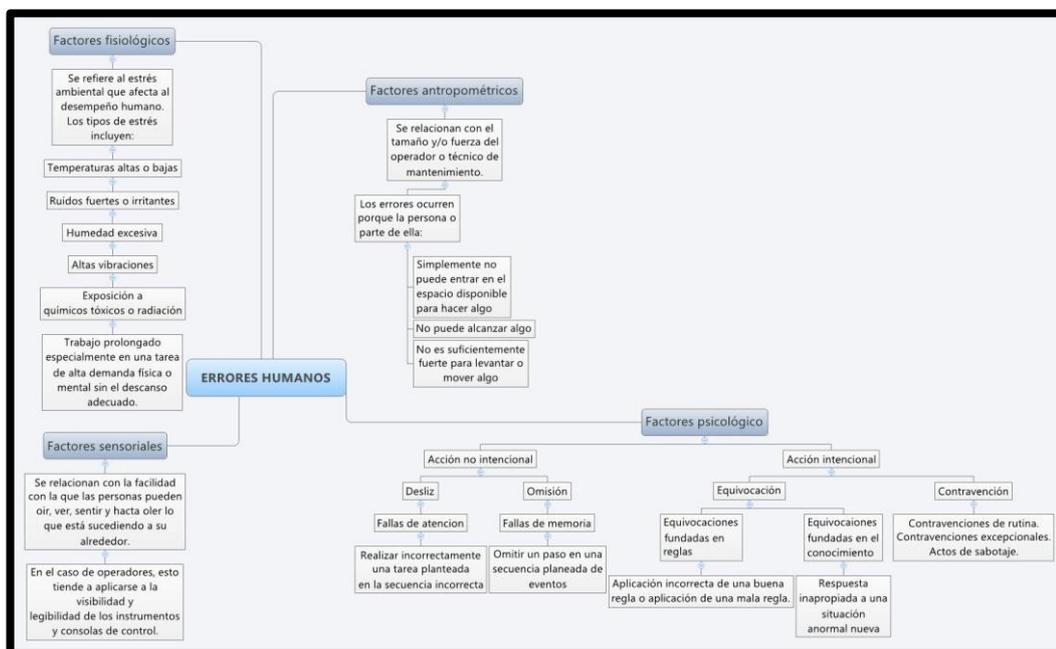


Figura 27 Factores que influyen en los errores humanos.

CAPÍTULO III

DISEÑO Y SELECCIÓN

En el presente capítulo se realizará el cálculo y selección de los elementos necesarios para para el prototipo de extracción con fluidos supercríticos, con su respectiva descripción de las partes principales de la planta piloto y las funciones que desempeñan cada uno.

3.1 Condiciones termodinámicas del proceso de extracción.

Para seleccionar los equipos adecuados de la figura 27 para la extracción con CO₂ supercrítico es necesario conocer los estados termodinámicos con los que trabaja el equipo en sus diferentes procesos basándose en las condiciones recomendables para la extracción eficiente de las hojas de molle, menta y paico, para esto evaluaremos la mejor opción técnico económica.

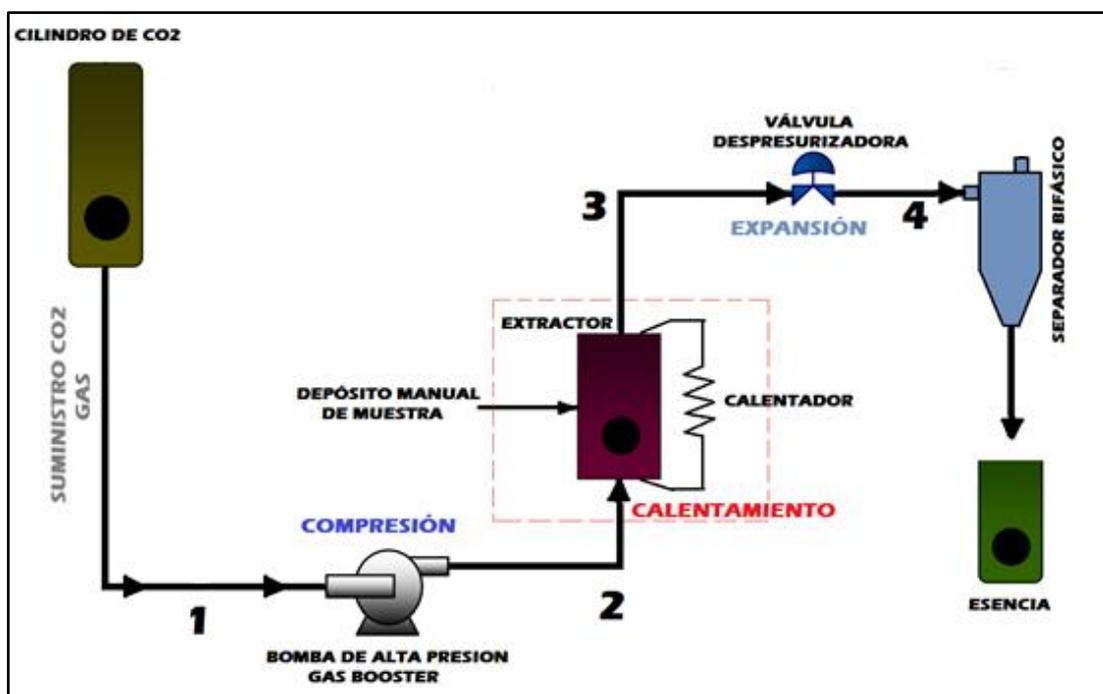


Figura 28 Proceso de Extracción Ciclo Abierto.

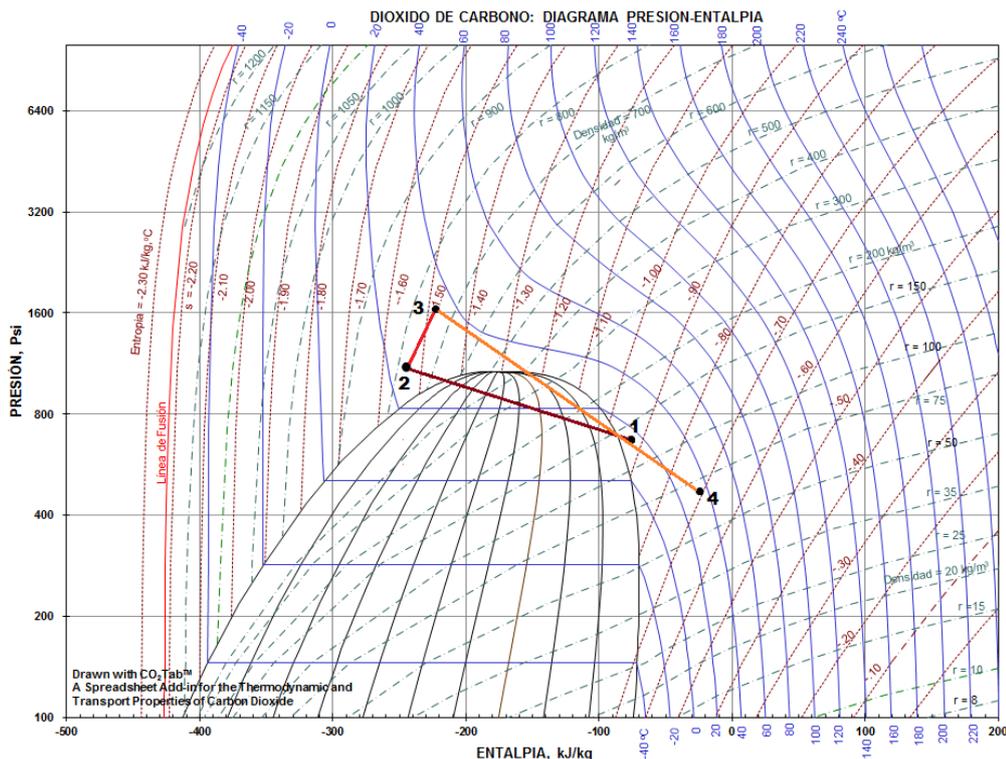


Figura 29 Proceso termodinámico del proceso de extracción supercrítica con CO₂.

En la figura 28 se presenta el diagrama Presión vs Entalpia del CO₂ en el cual se ubica los estados del proceso de extracción con CO₂ supercrítico del prototipo, se describe las condiciones termodinámicas de cada estado.

Estado 1.

El CO₂ se presencia en forma gaseosa a una temperatura ($T_{amb} = 15\text{ °C}$), el CO₂ es suministrado mediante un tanque de dióxido de carbono comprimido el cual se lo adquiere comercialmente a nivel nacional, el estado de la sustancia en esta etapa se encuentra definido por los siguientes parámetros $P_1 = 700\text{ psi}$, $T_1 = 15\text{ °C}$, gaseoso.

Estado 2.

En este estado el CO₂ en estado gaseoso es aumentada la presión para que posteriormente el fluido ingrese a la cámara extractora. Si aumentamos la presión a partir del estado uno mediante una bomba de compresión de gas a alta presión, la temperatura también irá aumentando.

El proceso 1-2 es una compresión isoentropica, debido a que el CO₂ se encuentra con los siguientes parámetros: P₂= 1100 psi, T₂= 23 °C

Estado 3.

En este estado al fluido previamente presurizado y depositado en el extractor se le calienta hasta una temperatura mayor a la T_c= 31.1°C para que así el CO₂ pueda alcanzar su estado supercrítico y de esta manera se pueda realizar la extracción de la esencia de la muestra. El recipiente extractor es completamente hermético por el cual podemos calentar al CO₂ que se encuentra en el interior, El Volumen del fluido se mantendrá constante y en conclusión se experimentará un aumento de presión.

P₃=1674 psi, T₃= 35°C

El proceso 2-3 se destaca un aumento de temperatura isocórico debido a que en esta etapa el estado de la sustancia se encuentra definido por los siguientes parámetros.

P₃=1674 psi, T₃= 35°C

Estado 4.

En este estado el proceso se basa en despresurizar el CO₂ de tal modo que abandone el estado supercrítico para su posterior separación de la esencia de la muestra. Según (Calle, 2013) se sabe que para presiones menores a 72.5 psi el CO₂ pasa a estado de tal manera que forma una mezcla de gas sólido lo que dificultaría el proceso de separación. De tal manera que debemos despresurizarlo hasta una presión que mantenga en estado gaseoso al CO₂ y poder disolverlos de la esencia.

El Proceso 3-4 será una expansión isoentálpica de tal manera que el estado de la sustancia en esta etapa se define por:

P4=500 psi, T4= 31.3°C, vapor sobrecalentado.

3.2 Diagrama de la casa de Calidad del Prototipo Extractor de Esencia.

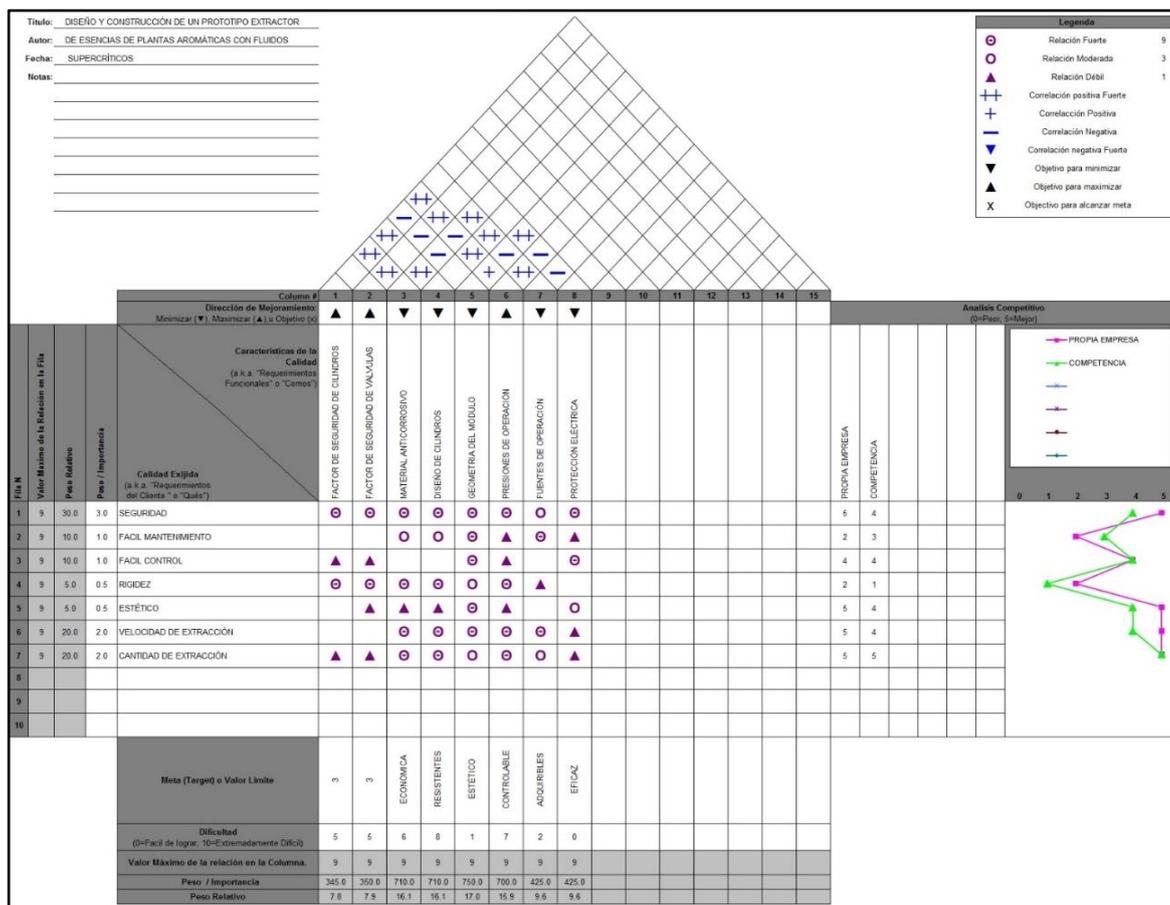


Figura 30 Diagrama de la casa de la calidad.

3.2.1. Conclusiones de la casa de la calidad del Prototipo Extractor de Esencia.

En la figura se puede apreciar el diagrama que determina la casa de la calidad del módulo de extracción de esencias por fluidos supercríticos, este determina las características técnicas. A continuación, se detalla los requerimientos más importantes:

- Seguridad operacional.

- Diseño estructural.
- Selección de equipos.
- Tipo de material.
- Fácil manipulación.
- Confiabilidad y fiabilidad del proceso.

3.2.2 Descripción del módulo didáctico

Con los datos adquiridos en el diagrama de la casa de calidad se establece las especificaciones técnicas, las mismas que están detalladas en la siguiente tabla:

Tabla 5

Descripción del Módulo Didáctico

No.	Concepto	Propone	R/D	Descripción
1	Función	C	R	Que el sistema tenga un buen desempeño mecánico y eléctrico.
		C	R	Integrar los componentes del sistema adecuadamente.
		C	R	Obtener la cantidad de esencia determinada en un tiempo determinado.
		C	R	Las protecciones eléctricas se seleccionarán de acuerdo a la corriente máxima del sistema.
2	Dimensiones	D	R	Las dimensiones del módulo didáctico permitirán un acople perfecto con los componentes del sistema.

CONTINÚA 

3	Materiales	D	R	El material apto para la construcción de los recipientes de alta presión son Acero Inoxidable 304
4	Construcción	F	R	La construcción del módulo didáctico se debe hacer, de tal forma que cumpla con los requerimientos propuestos por el cliente.
4	Mantenimiento	C	R	Se debe realizar distintas tareas a condición mensualmente.
5	Seguridad	C	R	El módulo en su totalidad está construido con fines didácticos, por lo que cumplirá con las protecciones necesarias para evitar lesiones a los estudiantes.
6	Costo	C	R	El módulo tendrá un costo aproximado de \$4000.

Propone: M=Márquetin, C=Cliente, D=Diseño, P=Producción, F=fabricación.

R/D: R=Requerimientos, D=Deseo, MR=Modificación de Requerimientos.

3.3 Diseño y selección de bomba.

De acuerdo a lo visto en la sección 2.2, es necesario realizar la compresión del CO₂ antes de que este ingrese al recipiente de extracción, la bomba debería tener los siguientes parámetros: $P_{in} = 700 \text{ Psi}$, $T_{in} = 15^\circ\text{C}$, $P_{sal} = 1100 \text{ Psi}$.

Existen bombas de gas y amplificadores de gas que pueden ayudar a comprimir el CO₂, para el proyecto de investigación utilizaremos una bomba de gas GAS BOOSTER. Para diseñar y seleccionar un modelo de bomba que

ayude a comprimir a 2000 Psi que se requieren, se deben tomar en cuenta los siguientes parámetros establecidos por HASKEL.

Tabla 6

Parámetros de Selección de Bomba Gas Booster.

Parámetros Requeridos para Selección de Gas Booster

Máxima presión requerida:	2000 Psi.
Máxima presión de aire:	75 Psi.
Presión de ingreso:	700 Psi.
Caudal de Aire (scfm):	10 Scfm.
Relación de flujo:	40:1
Gas a ser comprimido:	CO2
Detalles de Aplicación:	Aumento de presión para propiedades supercríticas.

En el software de Gas Booster se tienen distintas aplicaciones predeterminadas dentro de las cuales se selecciona la adecuada para el propósito del proyecto.

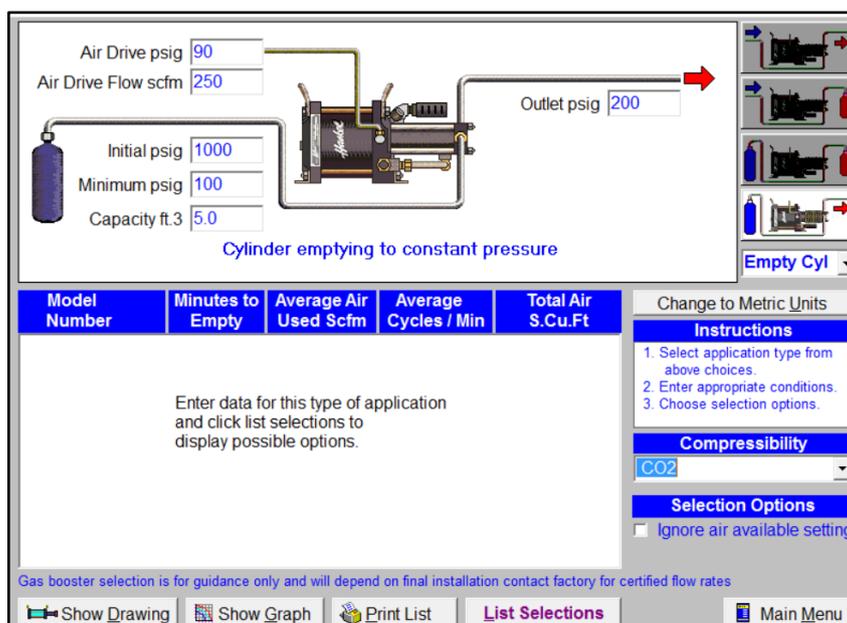


Figura 31 Pantalla Principal Software Haskell Gas Booster.

En la aplicación tenemos cuatro opciones predeterminadas por el software, de las cuales seleccionaremos EMPTY CYLER, puesto que el CO₂ al que comprimiremos es procedente de un cilindro a presión, dichos cilindros vienen regulados a una presión estándar de la norma ASME sección VIII. Para el proyecto de investigación optaremos por condiciones críticas, y usaremos un cilindro a media carga.

En la opción Compressibility, podemos seleccionar el tipo de gas que vamos a comprimir, en este caso el CO₂. Una vez seleccionado la aplicación y el tipo de gas a comprimir podemos ingresar los parámetros establecidos previamente en la tabla 6.

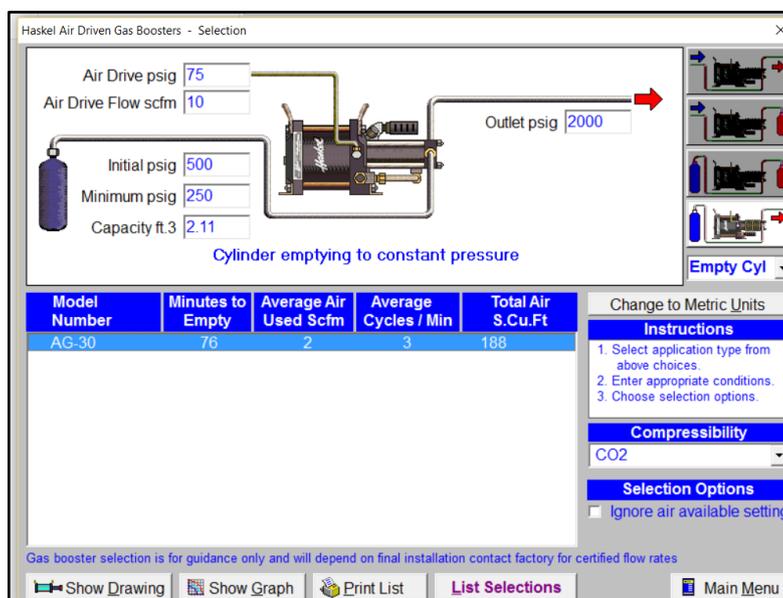


Figura 32 Selección de Bomba Gas Booster.

En la Selección de la bomba, en base a los parámetros ingresados se obtiene el modelo de bomba que se utilizará en el proyecto de investigación, El modelo es Gas Booster AG-30, bomba de simple pistón. Esta bomba comprime el CO₂ a 2000 Psi con 2 scfm en la línea neumática, la línea de aire en los laboratorios de la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe extensión Latacunga tenemos 10scfm.

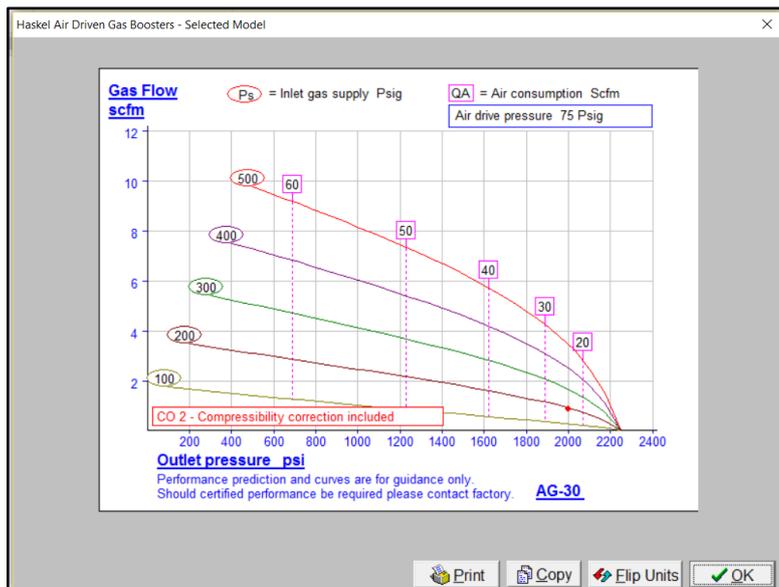


Figura 33 Curvas de Operación de la Bomba.

En las curvas de operación Scfm vs Presión, podemos observar que la presión de salida de la bomba depende de la presión del Gas de entrada y el caudal de aire suministrado a la bomba. Además, podemos observar el diagrama esquemático de la bomba en la que podemos observar las dimensiones para los acoples del gas y línea de aire.

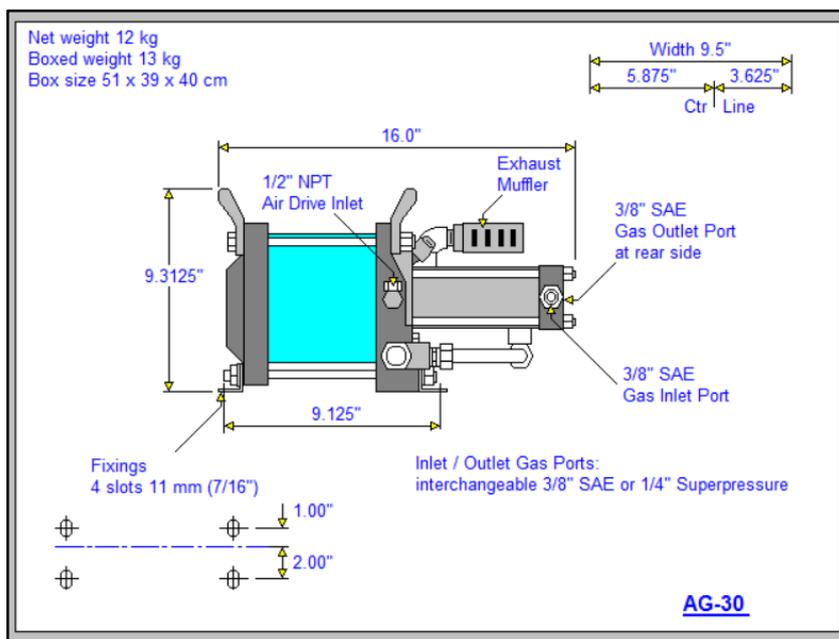


Figura 34 Diagrama esquemático de bomba AG- 30.

El Datasheet de la bomba Gas booster adquirida se encuentra en el Anexo A.

3.4 Diseño y selección del Extractor de Esencias.

De acuerdo con los alcances del proyecto de investigación tendrá una capacidad de 1/2 litro, con este parámetro se procede a calcular las medidas del recipiente de extracción. El diámetro mínimo requerido por la norma ASME.

$$L = \frac{4*V}{\pi*D} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde

L= longitud del recipiente

V= volumen del recipiente

D= diámetro optimo

$$L = \frac{4 * (0.005 \text{ m}^3)}{\pi * (0,003175\text{m})}$$

$$L = 0.2\text{m}$$

El recipiente de 0.2 m de longitud soportará como única carga la presión interna, por lo que estará sometido a 2 tipos de esfuerzos principales.

3.4.1. Esfuerzo circunferencial

$$t = \frac{P*R}{S*E-0.6*P} \quad \text{Ec. 2}$$

$$P = \frac{S*E*t}{R+0.6*t} \quad \text{Ec.3}$$

Donde:

P= presión interna del cilindro.

R= radio interior del cilindro.

S= tensión máxima admisible del material.

E= eficiencia de la junta en las soldaduras.

t= espesor del cuerpo cilíndrico.

3.4.2. Esfuerzo longitudinal

$$t = \frac{PR}{2*S*E+0.4*P} \quad \text{Ec. 4}$$

$$P = \frac{2*S*E*t}{R-0.4*t} \quad \text{Ec. 5}$$

3.4.3. Presión de diseño

El recipiente de extracción por seguridad se debe diseñar con un 10% a la presión de extracción.

$$P_{diseño} = 1,1P_{extraccion} \quad \text{Ec. 6}$$

$$P_{diseño} = 1,1(2000 \text{ Psi})$$

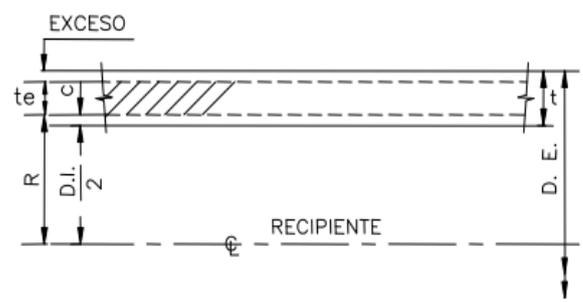
$$P_{diseño} = 2200 \text{ Psi}$$

3.4.4. Espesor mínimo para el cuerpo del cilindro

Para el cálculo del espesor del cilindro de extracción se recomienda realizar cálculos con distintos valores en la eficiencia de la junta de soldadura (E), en este caso se realizan los cálculos con los valores de 0.70, 0.85 y 1 con el objetivo de comparar los resultados.

Tabla 7

Dimensionamiento del espesor del cilindro

CASCO CILINDRICO FORMULAS EXPRESADAS EN FUNCION DE LAS DIMENSIONES			
PROCEDIMIENTOS SECCION DE DISEÑO DE RECIPIENTES			
			CON E= 0,7 ESFUERZO LONG. $t = 0,1124$ ESFUERZO CIRC. $t = 0,2585$
MATERIAL DEL CUERPO	S.A 304		CON E= 0,85
PRESION DE OPERACIÓN	2000	Psi	ESFUERZO LONG.
PRESION DE DISEÑO (P)	2200	Psi	
TEMPERATURA DE OPERACIÓN	350	°F	$t = 0,0931$
TEMPERATURA DE DISEÑO	350	°F	
ESFUERZO DE TRABAJO (S)	18600	Psi	ESFUERZO CIRC.
EFICIENCIA (E)	0,7		
DIAMETRO EXTERIOR (D.E)	2,7500	Plg	$t = 0,2088$
CORROSION PERMISIBLE (C)	0	Plg	
ESPESOR REQUERIDO (t)	0,375	Plg	CON E= 1
ESFUERZO LONGITUDINAL $t = \frac{PR}{2SE + 0,4P}$ $t = 0,1124$			ESFUERZO LONG. $t = 0,0794$
ESFUERZO CIRCUNFERENCIAL $t = \frac{PR}{SE - 0,6P}$ $t = 0,2585$			ESFUERZO CIRC. $t = 0,1751$
AL ESPESOR SE LE SUMA LA CORROSION SACANDO LA MEDIDA COMERCIAL $t_{min} = 0,258547$ $t = 0,3750$ Pulg			PRESION MAXIMA PERM. DE TRABAJO CON: $t = 0,375$ $P = \frac{S * E * t}{R - 0,4t}$
CALCULO DE LA MAXIMA PRESION HIDROSTATICA CORRIGIDA POR TEMPERATURA (P.H.C) P.H.C= $1,3 * \frac{S_{ATM}}{S} * P$ P.H.C= 2860 Psi			$P = 3985,7143$

3.4.5. Espesor mínimo para el cuerpo del cilindro

En el cálculo de los espesores requeridos para los cuerpos y los cabezales, el radio interno o externo se toma excluyendo el sobre espesor por corrosión. De ese modo se puede garantizar que el recipiente cumplirá los requisitos aun en la etapa final de la vida útil cuando este corroído.

3.4.6. Cabezales

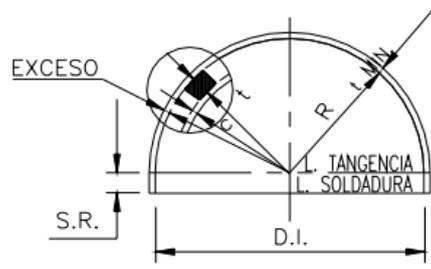
Los cabezales contemplados por la norma ASME Sección VIII con las siguientes:

- Elipsoidales
- Toriesféricos
- Hemisféricos
- Cónicos
- Toriconicos
- Planos
- Conformados

El cabezal a utilizar en el proyecto de investigación es el TORIESFERICO, pues es el más recomendable en términos de fabricación ya que se puede crear en el mismo eje del cuerpo cilíndrico, si se utiliza otro tipo de cabezal se tendrá un maquinado extra, es decir consumirá más material en la fabricación y uno de los objetivos es el rendimiento en fabricación.

Tabla 8

Dimensionamiento de los cabezales del cilindro

CABEZA TORIESFERICO FORMULAS EXPRESADAS EN FUNCION DE LAS DIMENSIONES			
PROCEDIMIENTOS SECCION DE DISEÑO DE RECIPIENTES			
			CON E= 0,7 $t = \frac{PD}{2SE - 0,2P}$ t= 0,2498
MATERIAL DEL CUERPO	S.A 304		CON E= 0,85
TEMPERATURA DE DISEÑO	350	°F	$t = \frac{PD}{2SE - 0,2P}$ t= 0,2052
ESFUERZO DE TRABAJO (S)	18600,0000	Psi	
PRESION INTERNA DE DISEÑO (P)	2000	Psi	
RADIO INTERIOR (L)	2,75	Plg	
EFICIENCIA MENOR DE CABEZA (E)	0,85		
CORROSION PERMISIBLE (C)	0,0000	Plg	
ESPESOR MINIMO REQUERIDO (t)		Plga	
ESPESOR MINIMO ESPECIFICADO (tmin)	0,312	Plg	
$t = \frac{PLM}{2SE - 0,2P}$ t= 0,2052 Plg + C= 0,0000 Plg tmin= 0,2500 Plg EXCESO= tmin-(t+C)= 0,0448 Plg <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> CALCULO DE LA MAXIMA PRESION HIDROSTATICA CORREGIDA POR TEMPERATURA </div> P.H.C.= $1,5 * \frac{S \text{ ATM}}{S} * P$ P.H.C= 3000 Psi			CON E= 1 $t = \frac{PD}{2SE - 0,2P}$ t= 0,1741 PRESION MAXIMA PERM. DE TRABAJO CON: $P = \frac{2 * S * E * t}{LM + 0,2t}$ P= 3021,5280

3.4.7. Boquillas en recipiente a presión

Según la norma ASME sección VIII división 1, recomienda que todos los recipientes a presión deban estar provistos de conexiones de entrada y salida del producto, válvulas de seguridad, entradas macho, etc. Todas las placas de 12 pulgadas de diámetro a menores, deberán usar una boquilla de $\frac{1}{4}$ pulgada de diámetro con cuerda NPT.

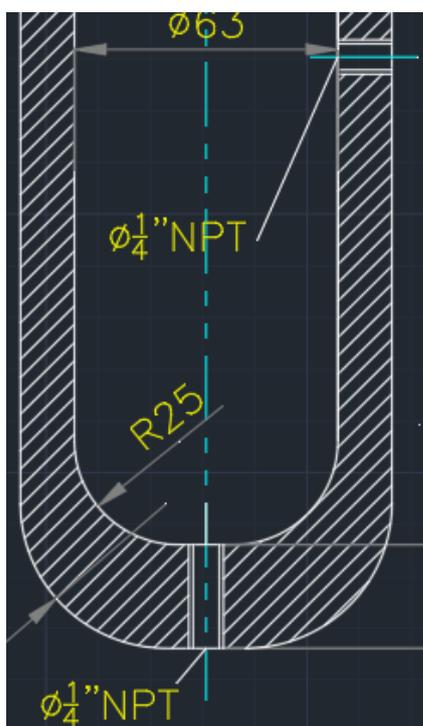


Figura 35 Boquillas en el cilindro de extracción.

Los resultados obtenidos con la norma ASME sección VIII división I se entregan a la empresa local Induacero para su fabricación, el plano del cilindro de alta presión se encuentra en el Anexo B3, se realiza una simulación previa por parte de la empresa para la fabricación en el software CODEWARE, y se anexarán los resultados, además de una prueba hidrostática del elemento fabricado en el Anexo B1 y Anexo B2. Dichos resultados muestran que el cilindro de alta presión soporta 3600 Psi antes de presentar fatiga o demarcación.

3.5 Diseño y selección del separador de esencias

Para el proyecto de investigación se optará por el diseño de un separador vertical, mediante el obtendremos diámetro interno y longitud para lograr la separación.

Velocidad terminal

$$V_t = K * \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_g}{\rho_g}} \quad \text{Ec. 7}$$

Donde

V_t = velocidad terminal (ft/s).

ρ_L = densidad de liquido (lbm/ft³)

ρ_g = densidad de gas (lbm/ft³)

K = constante de Souders Brown

$$V_t = 0.29 * \sqrt{\frac{56.16 - 31.21}{31.21}}$$

$$V_t = 0.25 \text{ ft/s}$$

3.5.1. Diámetro del separador

El diámetro influye en las fuerzas gravitacionales, pues un diámetro pequeño aumenta la velocidad dentro del elemento. El diámetro se determinará en función del caudal del gas. Primero se calcula el caudal de gas de diseño, tomando en cuenta un factor de seguridad según la siguiente ecuación.

$$Q_g(\text{diseño}) = 1.2 * Q_g \quad \text{Ec. 8}$$

$$Q_g(\text{diseño}) = 1.2 * Q_g = 1.2 * 0.032 = 0.0384 \text{ ft}^3/\text{s}$$

El área necesaria para el gas

$$A_g = \frac{Q_g}{vt} \quad \text{Ec. 9}$$

$$A_g = \frac{0.0384}{0.25}$$

$$A_g = 0.0025 \text{ ft}^2$$

El diámetro encontrado es

$$D_g = \sqrt{\frac{4 * A_g}{\pi}} \quad \text{Ec. 10}$$

$$D_g = \sqrt{\frac{4 * 0.0025}{\pi}}$$

$$D_g = 0.056 \text{ ft} = 6.7 \text{ cm}$$

3.5.2. Altura del separador.

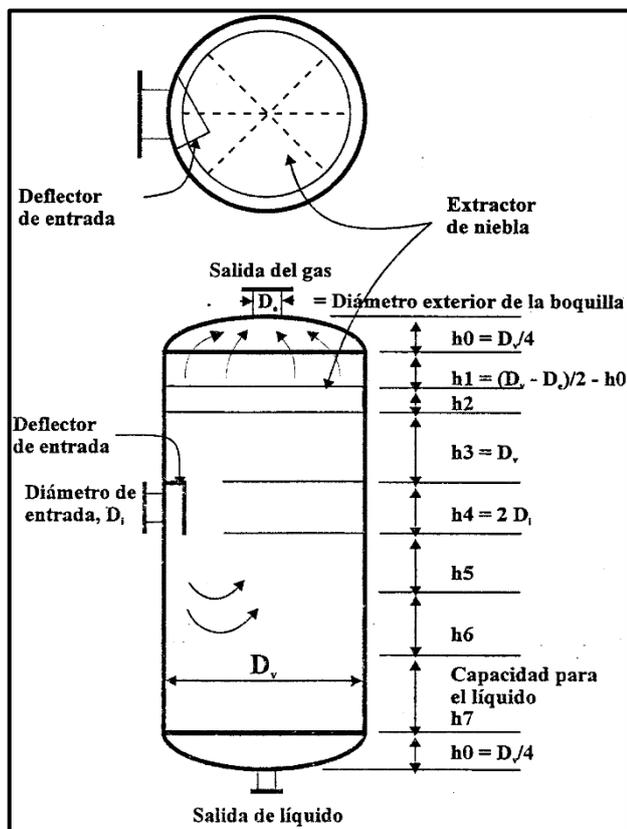


Figura 36 Altura del separador vertical según la GPSA.

Por ser un cilindro que soporta 500 psi, está dentro del rango de la norma Asme Sección VIII división I, para cilindros de presión, según la Universidad Autónoma de Barcelona recomienda colocar boquillas de $\frac{1}{4}$ de pulgada de diámetro. El área del recipiente está en función del diámetro del separador ya calculado:

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} \quad \text{Ec. 11}$$

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{\pi * 0.44^2}{4} = 0.1520 \text{ft}$$

El volumen de retención es de 0.0046 ft³.

$$hl = \frac{vr}{A} \quad \text{Ec. 12}$$

$$hl = \frac{vr}{A} = 0.0305 \text{ ft}^2$$

Altura del nivel de líquido (H2) se recomienda de 0.5 ft.

Altura desde el nivel de liquida hasta la boquilla (H3), se recomienda dos veces el diámetro de la boquilla, que en este caso es 0.0208 ft.

$$H3=2*0.0208= 0.0416 \text{ ft.}$$

Altura desde la boquilla hasta el eliminador de la neblina se recomienda el diámetro del recipiente.

$$H4=0.0208 \text{ ft.}$$

Altura del eliminador de neblina, recomendado por (Benito, 2010).

$$H5= (0.5 \text{ ft}).$$

Altura del demister a utilizar para la separación de las partículas de esencias.

$$Ho=0.16 \text{ ft. } =2 \text{ plg.}$$

La altura total, al obtener las medidas de las distintas secciones que componen el separador bifásico es:

$$Ht= H1+H2+H3+H4+H5+2*Ho=1.4 \text{ ft } =57 \text{ cm.}$$

El diseño y planos del separador bifásico se encuentran en el anexo C.

3.5.3. Dimensionamiento Demister

Estos dispositivos sirven para separar de la forma más eficaz las finísimas gotas arrastradas por un gas o vapor, sea en una fase de ebullición, evaporización al vacío o borboteo de un líquido. De hecho, intervienen dos fenómenos uno mecánico y otro físico, pero en ningún caso una filtración ya que el tamaño de las gotas retenidas no guarda ninguna relación con el tamaño infinitamente mayor del poro o espacio abierto. La pérdida de carga o

resistencia al paso del gas es prácticamente imperceptible, sin embargo, la desnebulización puede alcanzar una eficacia del 99%.



Figura 37 Demister.

Tabla 9

Parámetros para el dimensionamiento del Demister

DATOS PARA EL DISEÑO DEL DEMISTER

Temperatura (°F)	104
Presión (Psi)	500
Densidad del gas (kg/m ³)	500
Densidad del líquido (kg/m ³)	900
Caudal (cfs)	0.032
Tamaño Partículas (um)	10-50
Cantidad a obtener (gr)	20

La empresa local Induacero fabrica el demister con parámetros específicos proporcionados en la tabla 9, se selecciona un demister de las siguientes características. Se Anexan los resultados en el anexo D.

3.6 Dimensionamiento y selección de manguera.

Las tuberías a utilizar serán de acero inoxidable AISI 304 o AISI 316, esto debido a que en el proceso se van a utilizar productos vegetales que se pueden aplicar en el área de Alimentos que están destinados para el consumo

humano, por lo que cualquier rastro de corrosión lo haría no apto para el consumo.

En el diseño del recipiente de extracción, se establece en la salida del recipiente un diámetro de 6,44 mm ($\frac{1}{4}$ de pulgada). Por lo que el dimensionamiento de las mangueras se tomará dicha medida. Por cuestiones de costo las mangueras seleccionadas son de Goma sintética, se toma en cuenta la temperatura que debe soportar es 31°C, e incluso se debe tomar en cuenta un aumento de temperatura en la realización de pruebas de la planta extractora.

Además de la presión de 15 Mpa (2175 Psi) en la sección desde la bomba hasta el recipiente extractor. La manguera seleccionada es la siguiente: SAE J517, que será proporcionada por la empresa Repuestos Alta Presión Ambato. En el Anexo E1 encontramos las características técnicas de las mangueras de alta presión.

3.7 Selección de instrumentos de medida de presión y temperatura.

Para la selección de instrumentos de presión, tomamos en cuenta las presiones que se manejarán en cada una de los estados del proceso de extracción, en el estado 3 tendremos una presión de 1674 Psi y tomando en cuenta que dicho estado ocurre en el cilindro de alta presión se selecciona un manómetro de acero 304 de 3000 Psi, en el estado 4 tendremos una presión de 500 Psi de Gas despresurizado por lo que se selecciona un manómetro de 1000 Psi para gas. Las características de los instrumentos seleccionados se encuentran en el Anexo F1 y Anexo G3.

3.8 Modelación del proceso.

3.8.1. Simulación

AUTOMATION STUDIO PRFESSIONAL 6.

Pantalla de Inicio General.

Se selecciona ANSI A Imperial.pj para así poder trabajar en las Unidades establecidas en la Tesis.

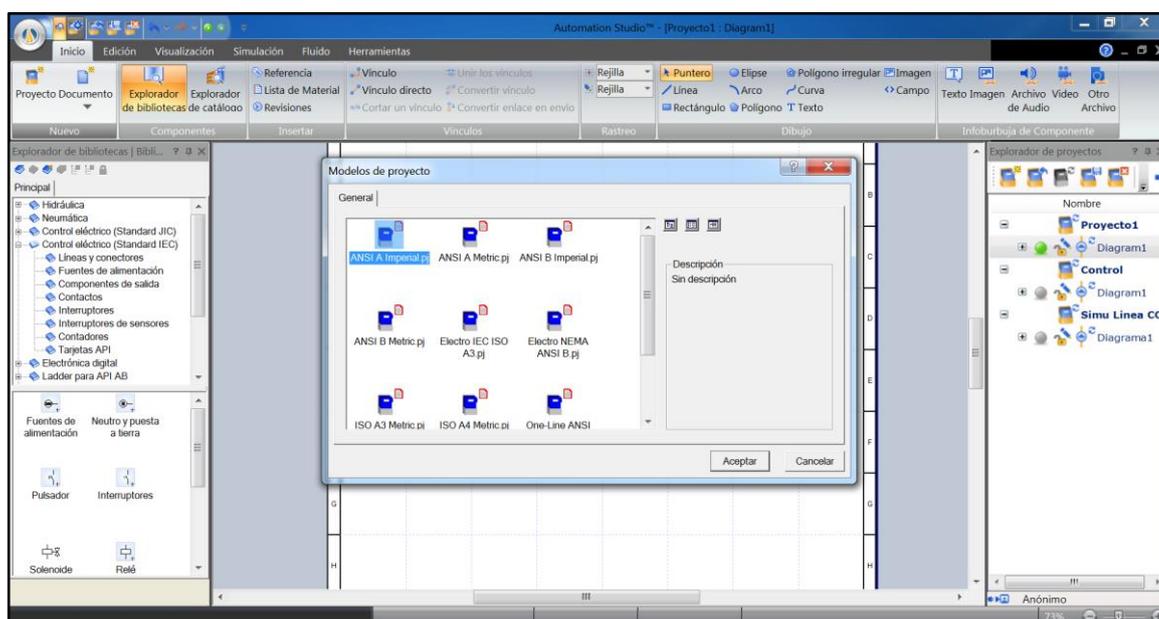


Figura 38 Nuevo Proyecto Automation Studio P6.

CIRCUITO DE CONTROL ELECTRICO.

Se selecciona en el EXPLORADOR DE ARCHIVOS el control que se necesita hacer, en este caso empezamos con el control eléctrico y se selecciona CONTROL ELECTRICO (STANDARD IEC)

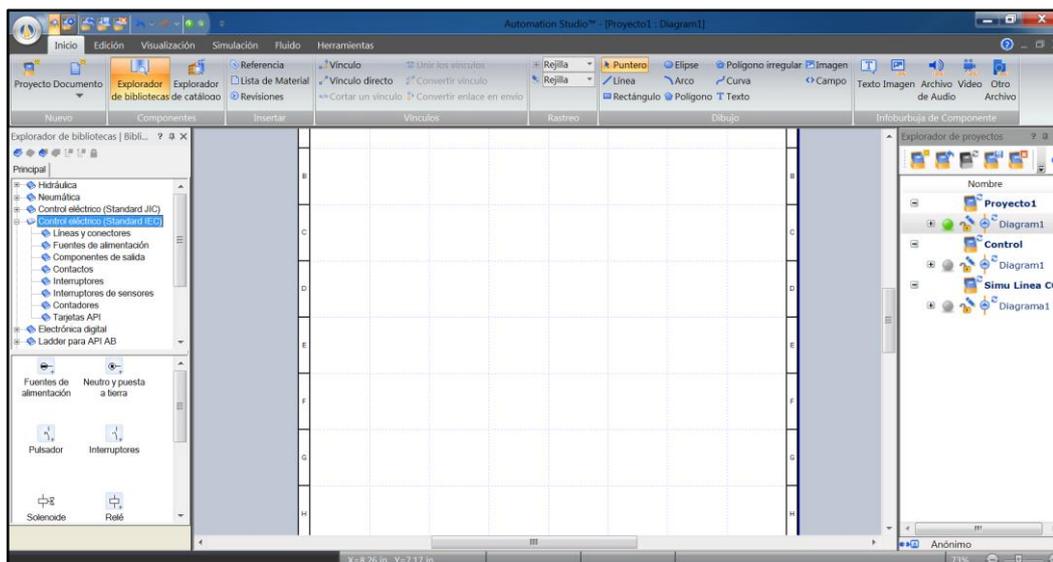


Figura 39 Hoja en blanco Automation Studio P6.

Todos los elementos que se utilizara en el circuito e interconexión entre sí, según el esquema planteado en el Anexo I.

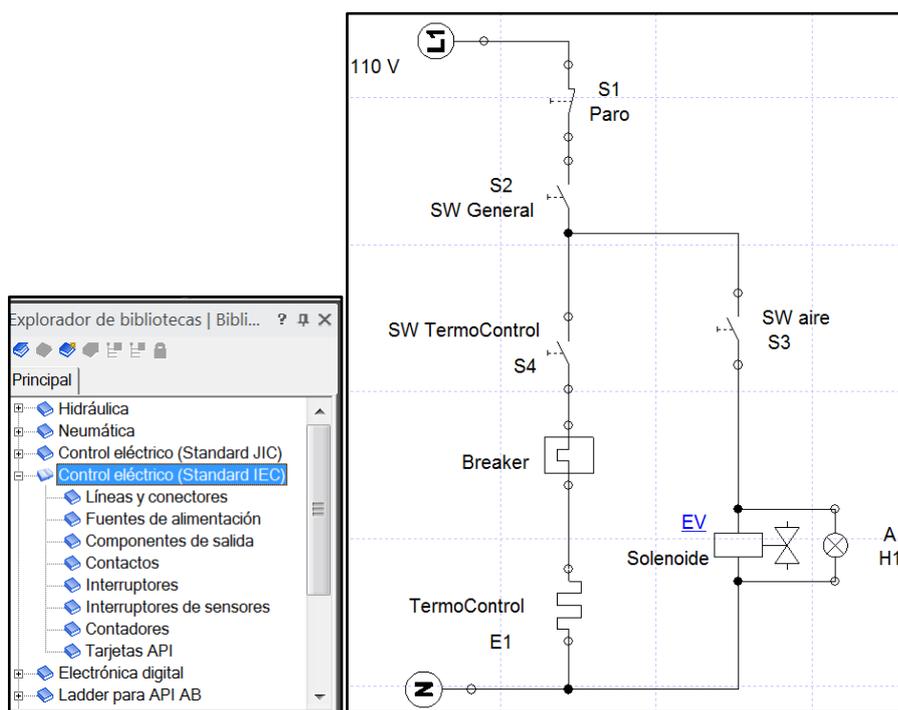


Figura 40 Control Eléctrico.

CIRCUITO NEUMÁTICO (BAJA PRESION)

Se selecciona en el EXPLORADOR DE ARCHIVOS el control que se debe realizar, en este caso el control neumático de baja presión (NEUMÁTICA).

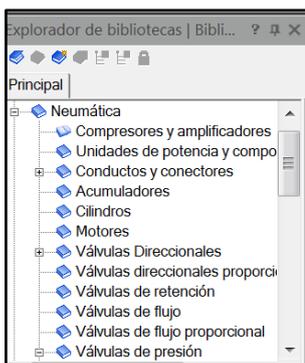


Figura 41 Explorador de bibliotecas Automation Studio P6.

Todos los elementos que se necesita en el circuito e interconexión entre sí, según el esquema planteado en el Anexo I.

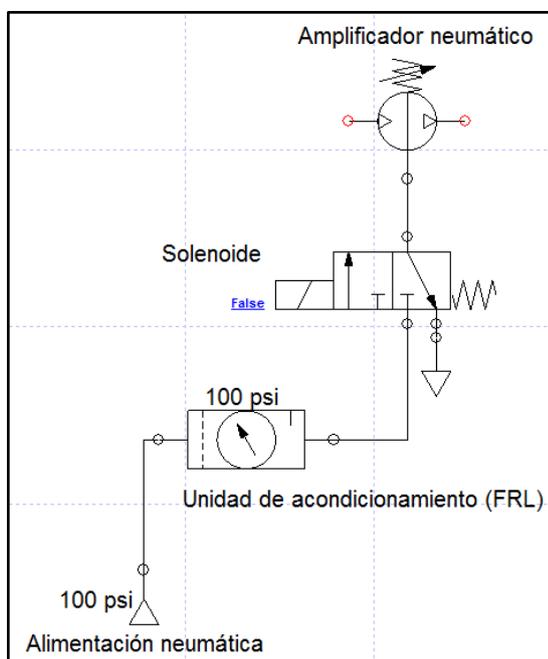


Figura 42 Control Neumático.

De tal manera el circuito de control eléctrico y neumático se representa en una plataforma, al cual se simulará el accionamiento y paro de la bomba y del calentamiento eléctrico (resistencias eléctricas).

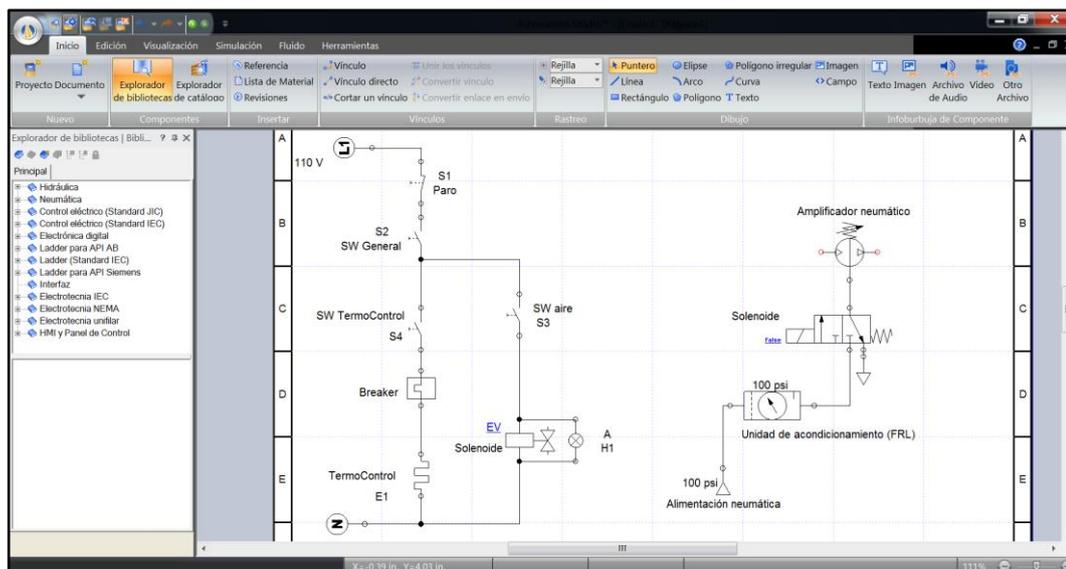


Figura 43 Circuitos de Control Eléctrico y Neumático.

CIRCUITO NEUMÁTICO (ALTA PRESION)

En el EXPLORADOR DE ARCHIVOS el control que se simula, en este caso el control neumático de baja presión (NEUMÁTICA).

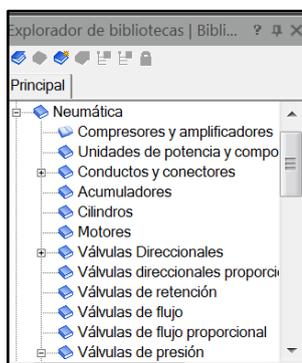


Figura 44 Explorador de archivos Automation Studio P6.

Todos los elementos que son necesarios en el circuito e interconexión entre sí, según el esquema del Anexo I.

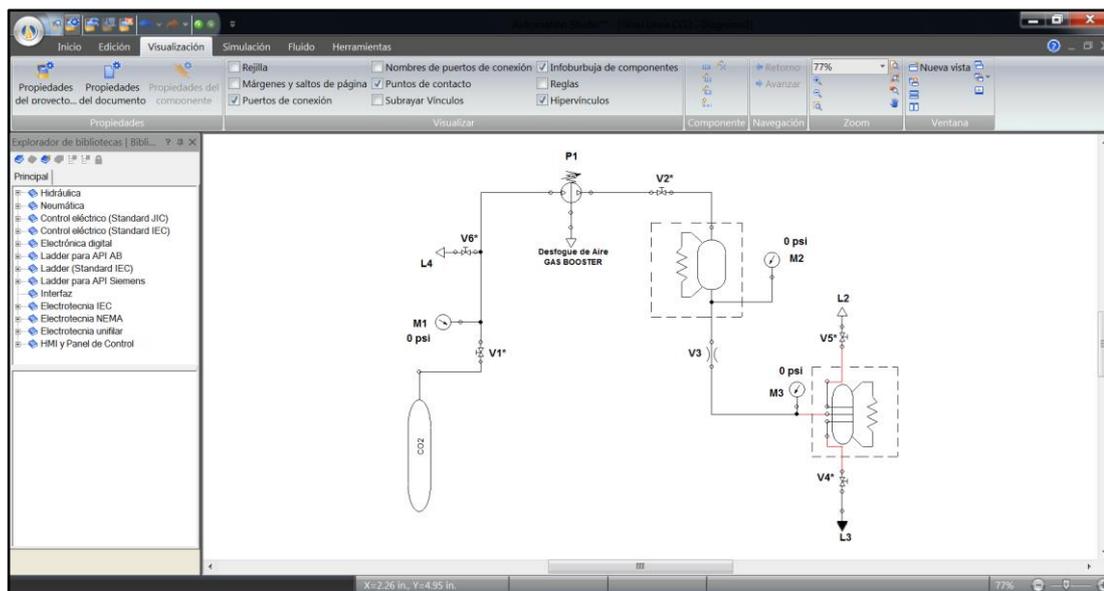


Figura 45 Circuito de Alta Presión.

Se establece las presiones de acuerdo al Sistema tangible que se ha desarrollado, involucrando el cilindro de CO₂, La bomba neumática GAS BOOSTER, Cilindros de alta presión y manómetros.

3.9.2. Análisis estático en Inventor

Para conocer el factor de seguridad de los elementos que estarán sometidos a alta presión, utilizaremos el software Autodesk Inventor. Se podrá aplicar distintos valores de presión a la que estará sometido el elemento para verificar las áreas que se deformarán en primera instancia y son propensas a fisurarse.

Al modelar las dos piezas que conforman el cilindro de alta presión, tendremos una vista isométrica como se observa en las figuras 3.18 y 3.19. El factor de seguridad de mayor relevancia es el del cilindro de alta presión en el cual se realiza la extracción de esencias con punto Crítico.

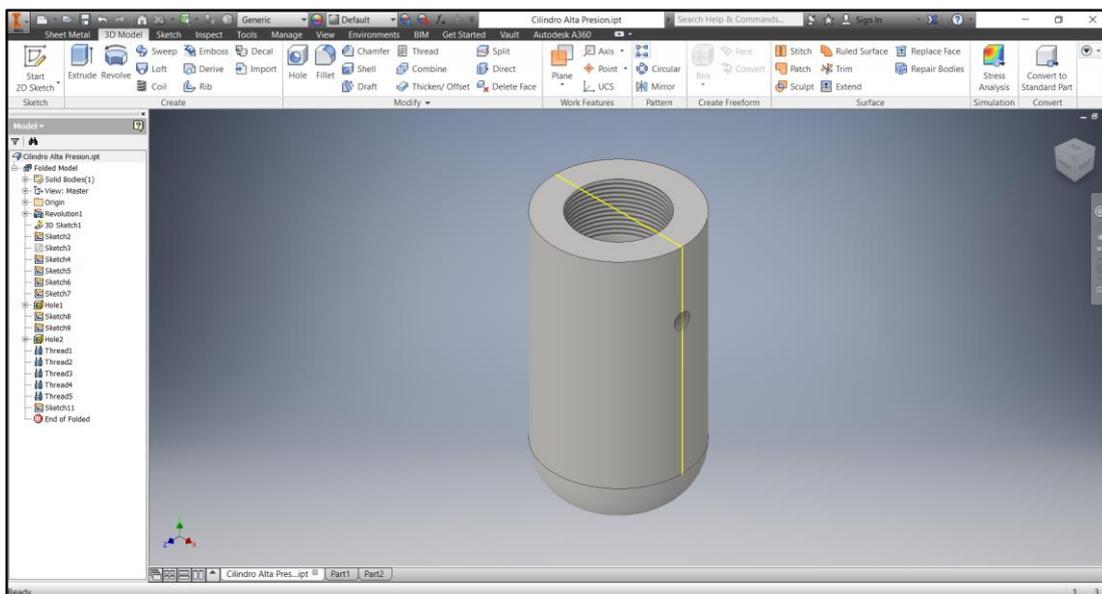


Figura 46 Cilindro de alta presión modelado.

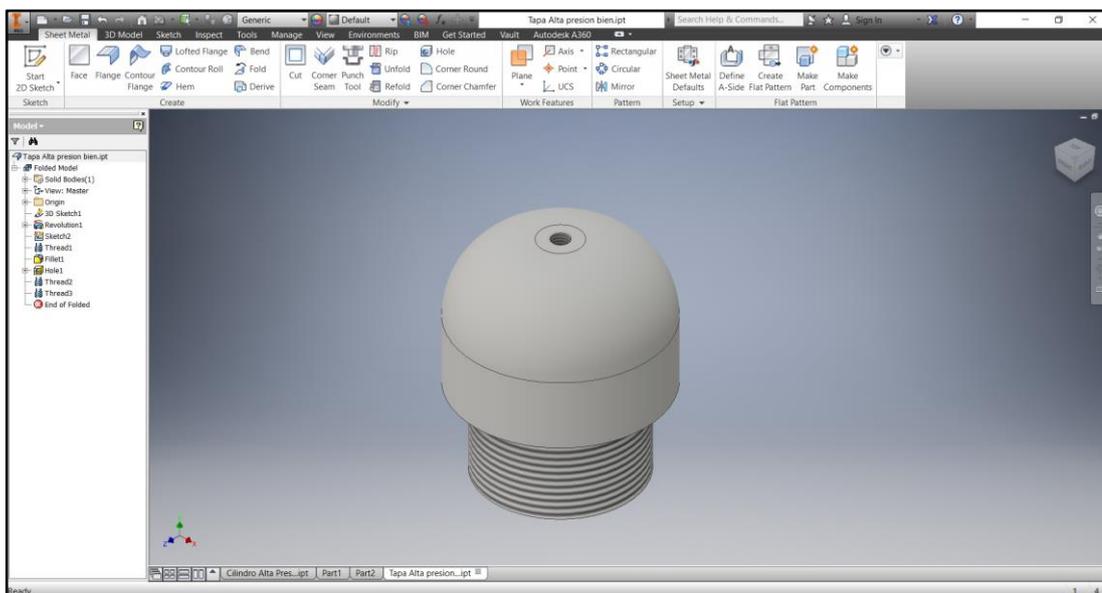


Figura 47 Tapa de alta presión modelado.

Una vez modelado las piezas que conforman el cilindro de alta presión procedemos a realizar su ensamble, en la opción New- Standart (mm).



Figura 48 Ensamble del sistema de alta presión.

Al tener el ensamble terminado se procede a la opción Stress Analysis, para poder obtener el factor de seguridad de dicho ensamble, en este caso el cilindro de alta presión. Se aplicará 2 valores en la presión aplicada que es 1100 psi y 3000 psi.

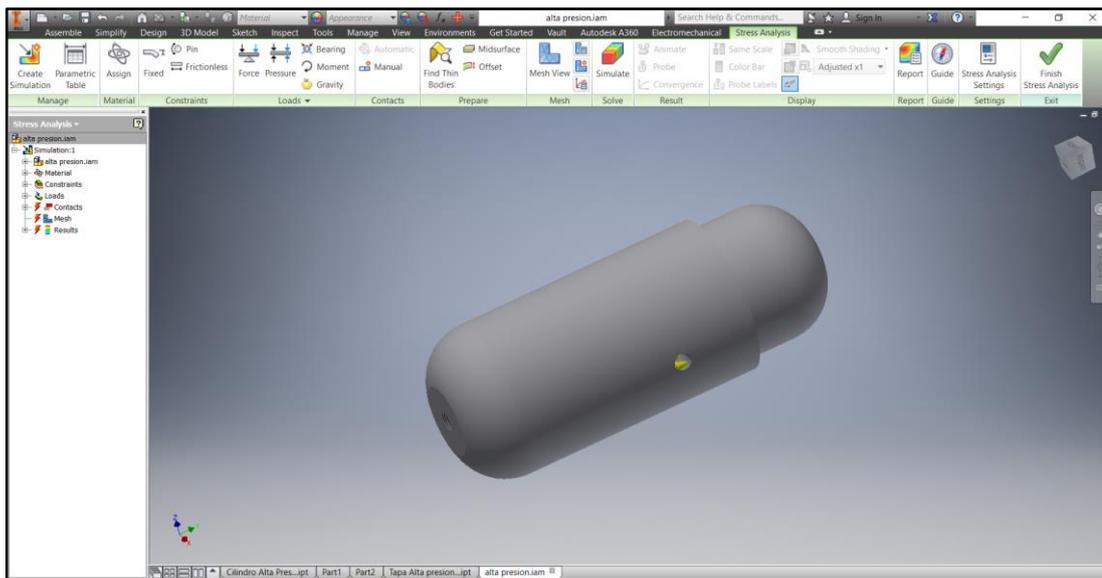


Figura 49 Vista del ensamble.

Al colocar dichos valores en la opción Load – Pressure. Ahora le asignamos el material en nuestro caso seleccionamos Steel. Una vez seleccionado el material se procede al mallado del cilindro de alta presión con la opción Mesh view. Podemos realizar el análisis estático en la opción Simulate. Que mostrará una ventana de opciones en la cual seleccionaremos Run.

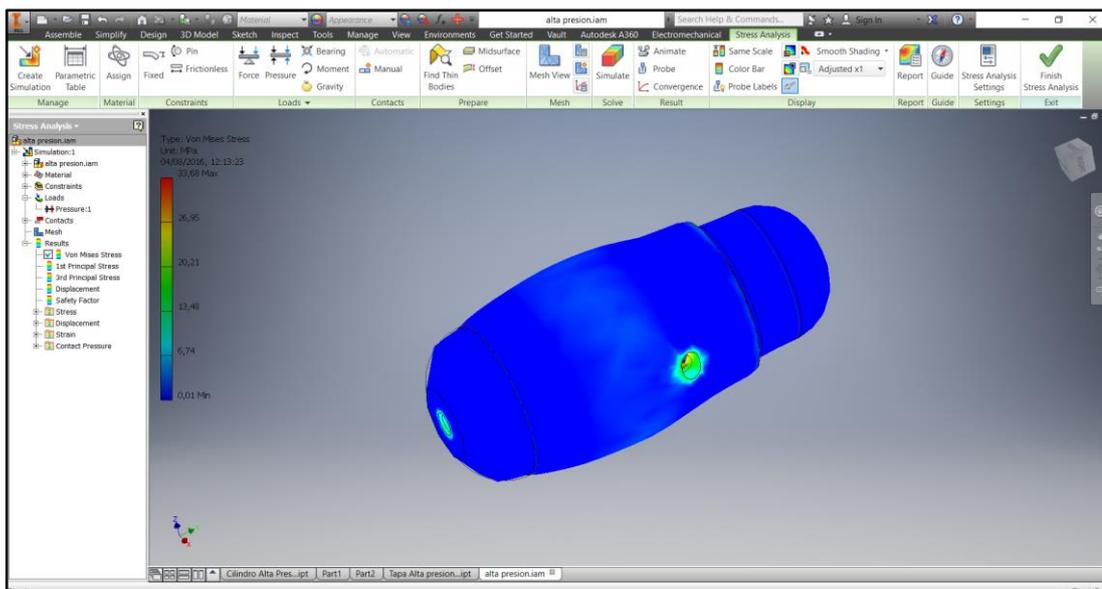


Figura 50 Análisis estático con 1100 Psi.

La prueba con una presión interna de 1100 Psi, muestra que el factor de seguridad es de 15 en la parte exterior del cilindro y 10 en las roscas, lo que indica que las roscas de $\frac{1}{4}$ son las primeras en ceder antes un aumento de presión. Ahora procedemos a realizar la prueba con una presión interna de 3000 psi.

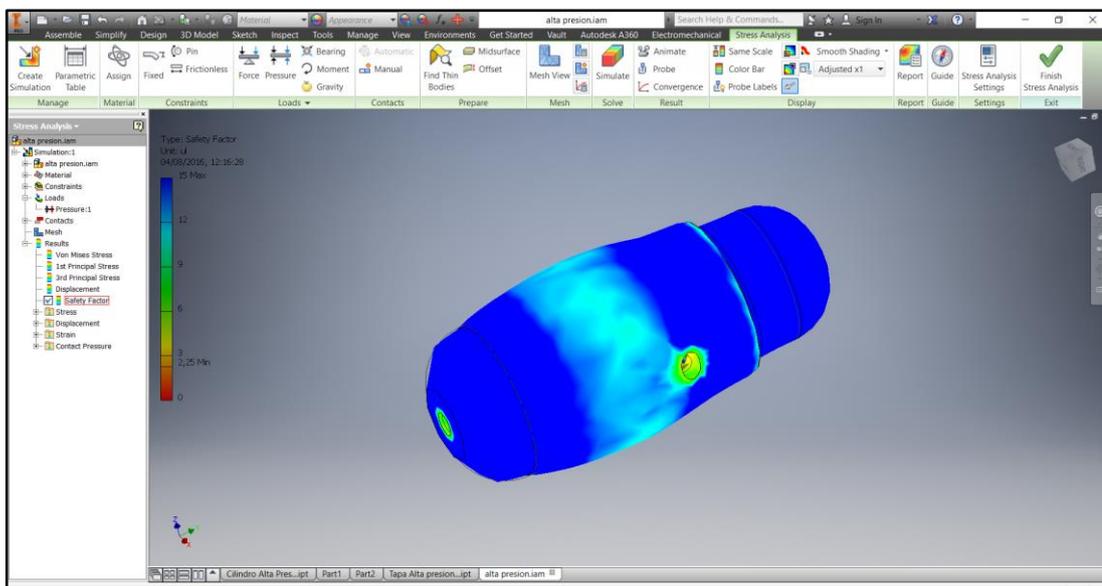


Figura 51 Análisis estático con 3000 Psi.

Se puede observar que el factor de seguridad se reduce considerablemente en la zona intermedia del cilindro a un valor de 10 y en las roscas se reduce a un valor de 3, lo que indica que no debemos trabajar con rango de presión muy elevado por motivos de seguridad, pues el factor de seguridad se reduce notablemente.

Von Mises

Cilindro de alta presión:

Resistencia a la fluencia (S_Y): 205.14 MPa

Esfuerzo de Von Mises (σ'): 25,79 MPa

$$n = \frac{S_Y}{\sigma'}$$
$$n = \frac{205.14 \text{ MPa}}{25,79 \text{ MPa}}$$
$$n = 7.95$$

CAPÍTULO IV

PLANOS DE LA ESTRUCTURA

4.1 Elaborar planos de la estructura

Los cilindros de alta presión se fabrican en acero 304 por su aleación de cromo que es aplicada en el área de alimentos, indica que es la mejor opción para la extracción de esencias. Los planos de fabricación del cilindro de alta presión y el cilindro separador bifásico están en el anexo B.

En el anexo B, se encuentra los documentos en los que Induacero certifican la presión que soporta el cilindro después de haber sido sometidos a una prueba hidrostática. Además, en el anexo B2 encontramos la simulación de dichos elementos en el software Codeware relacionado con la norma ASME sección VIII y utilizado para diseñar cilindros de alta presión, se anexa los esfuerzos calculados por el software.

Las estructuras del módulo de extracción se encuentran en el Anexo H, se muestran la estructura interna, los soportes para los elementos dentro del módulo. Los planos son elaborados en el software Inventor.

En el anexo C1, se encuentra los documentos que certifica la presión que soporta el separador bifásico vertical, los resultados de una simulación de Codeware se ubica en el anexo C2.

4.2 Elaborar planos P&ID del Prototipo

En la figura 52 se muestra el diagrama P&ID del prototipo, se identifica cada uno de los elementos que conforman el diagrama.

Elementos

- 1.- Cilindro De CO₂
- V1.- Válvula de paso tipo Bola.
- M1.- Medidor indicador de Presión.
- V6.- Válvula de paso tipo aguja.

- 2.- Bomba Neumática Gas Booster.
- V2.- Válvula de paso tipo bola.
- 3.- Cámara Extractora (Cilindro de Alta Presión).
- 4.- Regulador de Temperatura.
- M2.- Medidor indicador de Presión.
- V3.- Válvula de paso tipo aguja.
- M3.- Medidor Indicador de Presión.
- 5.- Cámara Separadora (Cilindro de baja Presión).
- V4.- Válvula de paso tipo bola.
- 6.- Salida de Co2.
- V5.- Válvula de paso tipo bola.
- 7.- Recolección de extracto.

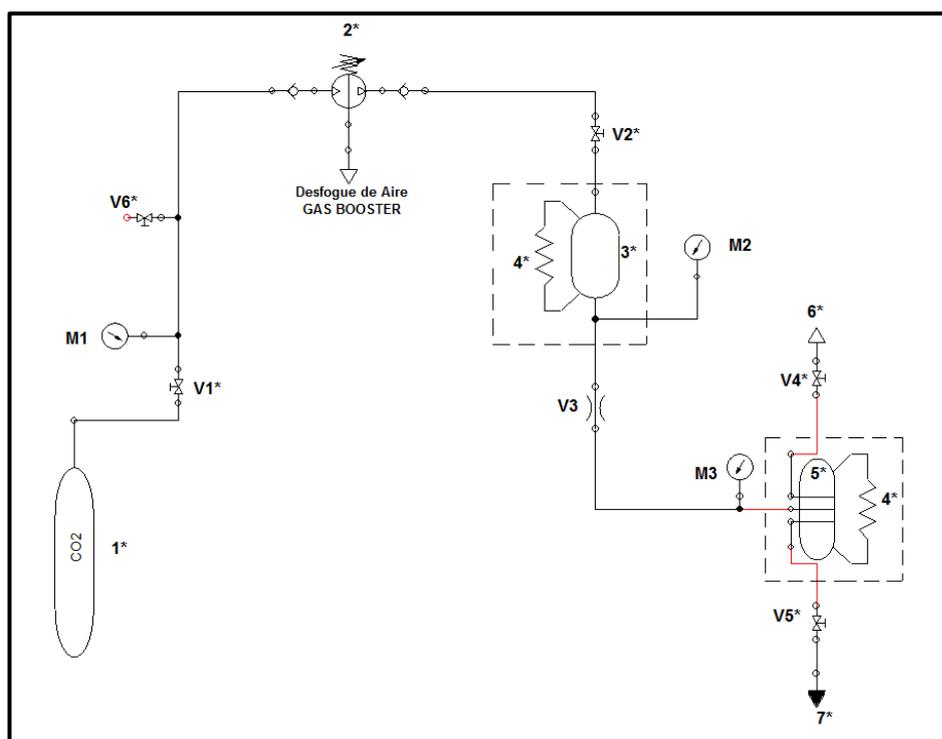


Figura 52 Sistema P&ID de Extracción con fluido supercrítico.

En el Anexo I, se encuentra los planos de control neumático y eléctrico para la respectiva conexión en el módulo de extracción con Fluido supercrítico CO₂.

4.3 Ensamble del prototipo de la planta.

En el anexo K, se observa el ensamble del prototipo de planta de extracción con fluido supercrítico CO₂, dicho ensamble se guía en los planos de la estructura, los diagramas de control eléctrico y neumático ubicados en los Anexos B y Anexo I

CAPÍTULO V

OPERACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo se realiza un manual de operación del prototipo de extractor de esencias con fluido supercrítico, se presentan las pruebas de obtención y un análisis de costos de la fabricación del prototipo.

5.1 Manual de operación del Prototipo

MODULO EXTRACTOR DE ESENCIAS POR FLUIDOS SUPERCRTICOS.

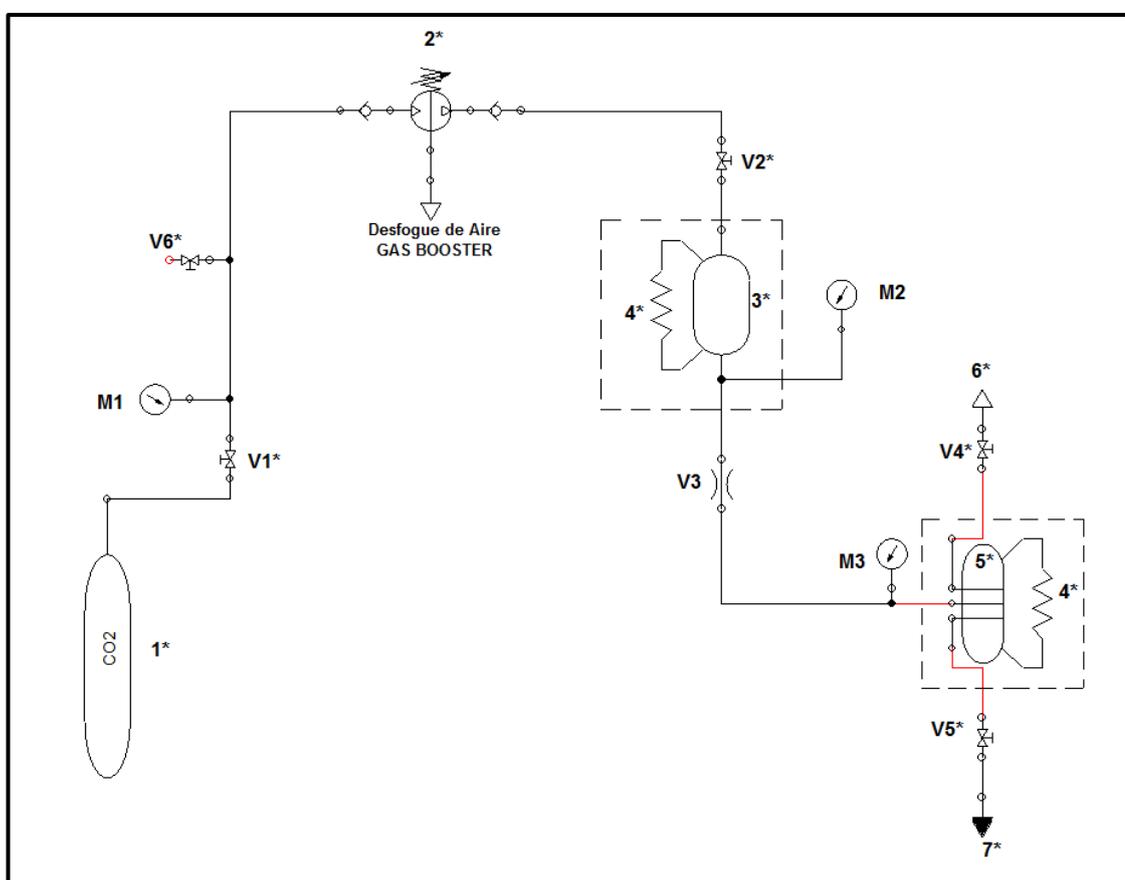


Figura 53 Esquema del módulo de Extractor de esencias por Fluidos Supercríticos.

Elementos del módulo de pruebas:

- 1.- Cilindro De CO2
- V1.- Válvula de paso tipo Bola.

- M1.- Medidor indicador de Presión.
- V6.- Válvula de paso tipo aguja.
- 2.- Bomba Neumática Gas Booster.
- V2.- Válvula de paso tipo bola.
- 3.- Cámara Extractora (Cilindro de Alta Presión).
- 4.- Regulador de Temperatura.
- M2.- Medidor indicador de Presión.
- V3.- Válvula de paso tipo aguja.
- M3.- Medidor Indicador de Presión.
- 5.- Cámara Separadora (Cilindro de baja Presión).
- V4.- Válvula de paso tipo bola.
- 6.- Salida de Co₂.
- V5.- Válvula de paso tipo bola.
- 7.- Recolección de extracto.

PROCEDIMIENTO.

1. Abrir y cerrar las válvulas manuales para disponer del sistema de extracción de esencias tal y como se muestra en el esquema del circuito. En esta etapa, puede guiarse en el diagrama grafico que se presenta en la figura como ayuda.

2. CONEXIÓN.

- Conectar el cilindro de CO₂ a la entrada de Co₂ de 1/4" del módulo de extracción.
- Conectar la línea de aire del compresor a la entrada de aire de 1/4" del módulo de extracción.
- Conectar el modulo extractor a la fuente de alimentación 110 V.
- Verificar que esté presente un recipiente a la salida de la recolección del extracto.

- Coloque la materia prima de la esencia que desea obtener en el cilindro de alta presión de la cámara extractora. Se deberá cerrar totalmente el cilindro con un empaque para impedir filtraciones del CO₂.

4. ESTADO INICIAL.

Tabla 10

Registro del Estado inicial de las Válvulas.

VÁLVULAS ABIERTAS							
V2.		V3.		V4.		V5.	

VÁLVULAS CERRADAS			
V1.		V6.	

- Abrir lentamente la Válvula V1.

Permitir el paso de Co₂ comprimido por el Cilindro de Alta Presión e inmediatamente cierre totalmente la Válvula V3.

Así se elimina la presencia de oxígeno e impurezas de la cámara de extracción.

- Abrir totalmente la válvula V1.

- Regular la presión del aire comprimido de entrada a 100 psi.

- Accionar el interruptor de la línea de aire comprimido.

Permite el ingreso de aire comprimido a la Bomba Neumática Gas Booster y empezar el ciclo de compresión del Gas.

- Registrar un valor de 1200 psi en el manómetro de la cámara de extracción M2.

La bomba neumática Gas Booster lentamente comprime el gas hasta una presión deseada y es acumulada en el cilindro de alta presión.

10. Accionar el interruptor de Paro de la línea de aire.

Desconecta la electroválvula que permite el paso y cierre de la línea de aire a la Gas Booster.

11. Cerrar las Válvulas:

V1. V2. V4. V5.

12. Setear el termocontrolador hasta una temperatura de 50 °C.

13. Accionar el Interruptor a estado ON del control de temperatura.

14. ESTADO ESTÁTICO.

Dejar que internamente el CO₂ se convierta en fluido supercrítico y extraiga las partículas de esencia de la materia prima. Tiempo de estado: 15 min.

15. Accionar el interruptor a estado OFF del control de temperatura.

16. Abrir la válvula V3 lentamente para permitir la apertura de la válvula hasta ajustar una presión de 500 psi en el manómetro de la Cámara Separadora M3.

17. Cerrar totalmente la Válvula V3.

18. Después de 1 min encerrado el gas en el Cilindro de baja presión.

Abrir un 10% la Válvula V4 y deje salir todo el CO₂ presente en la cámara separadora.

19. Abrir la Válvula V5 y recoja las partículas de esencia.

20. Cerrar las Válvulas:

V4. V5.

21. Repetir el Proceso desde el punto 16.

Repetir hasta que sea vaciado totalmente el fluido supercrítico de la cámara extractora.

22. Si es necesario, vuelva a repetir el proceso desde el punto 4.

Repetir hasta haber obtenido la cantidad de esencia deseada.

23. LIBERACIÓN DE PRESIÓN.

Abrir las Válvulas:

V2. V3. V4. V6.

Así liberamos presión de las mangueras conductoras del CO₂.

24. Abrir el Cilindro de alta presión de la Cámara extractora y sacar toda presencia de materia prima.

25. ESTADO FINAL.

Tabla 11

Registro del Estado final de las válvulas.

VÁLVULAS ABIERTAS							
V2.		V3.		V4.		V5.	

VÁLVULAS CERRADAS			
V1.		V6.	

5.2 Manual de mantenimiento

Para realizar las tareas de mantenimiento adecuadas en el módulo extractor de esencias por fluidos supercríticos, se ha decidido realizar las hojas de información en subsistemas para tener una mejor apreciación de los patrones de fallas que se pueden llegar a presentar. Es muy importante esta sección ya que el proyecto de investigación trabaja con presiones sumamente altas y peligrosas para el operador.

Los subsistemas son:

- **Air Driven Gas Booster Shineeast STA 40**

El Sistema de amplificación de presión de la bomba Gas booster se compone de la bomba, válvulas, unidad de mantenimiento, una red de conductos de aire para su accionamiento neumático.

- **Cilindro de Alta Presión**

El Sistema de retención de alta presión se compone por un cilindro de alta presión, válvulas, instrumentos de medida, que estarán sometidos a una presión entre 1100 psi mínimo hasta 2000 Psi máximo.

- **Cilindro Separador**

El Sistema de separación se compone de un cilindro separador bifásico, un demister para la separación de partículas, válvulas e instrumentos de medida. Dicho sistema separa partículas de 10 a 50 um de esencias.

Se realiza las hojas de información de cada subsistema planteado en la tabla 12, en base a las mismas se realiza las hojas de decisión en la tabla 13 tomando en cuenta el diagrama de decisión del anexo L.

Tabla 12

Hoja de información RCM.

 ESPE UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA		HOJA DE INFORMACION RCM				
		ELEMENTO: Air Driven Gas Booster Shineeast STA 40	N°	Realizado por: John Yugcha	Fecha: 29-06-2016	
		COMPONENTE: Aire	Ref	Revisado por: Ing. Washington Freire	Fecha: 29-06-2016	de 6
FUNCION		FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA (Causa de la falla)		EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	
1	Accionar el piston que se encuentran en fricción dentro de la Gas Booster.	A No Accionar el pistón que se encuentra en fricción dentro de la Gas Booster.	1	Falta de Flujo de Aire	La falta de flujo de aire evita que la Gas booster opere a condiciones normales, pues influye en el flujo de presión de salida es decir aumenta el numero de ciclos operables del pistón acortando la vida útil del mismo. Se puede evidenciar al no obtener la presión deseada por el operador. Tiempo para Revisar el abastecimiento de aire 30 min.	
			2	Falta de presión de Aire	La falta de presión de aire en la Gas Booster es una de las principales causas del no funcionamiento del pistón en el sistema de compresión. La falta de Presión de Aire se puede evidenciar al no tener la presión deseada en la salida de la Gas Booster. Tiempo para revisar el abastecimiento de aire 30 minutos.	

CONTINÚA



 ESPE UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA		HOJA DE INFORMACION RCM				
		ELEMENTO: Air Driven Gas Booster Shineeast STA 40	N°	Realizado por: John Yugcha	Fecha: 29-06-2016	
FUNCION		FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)		
2	Amplificar gas de 1000 a 1500 Psi en un tiempo max de 120 seg	A No Amplificar nada de gas.	1	Falta de accionamiento neumático debido a una falla en la válvula de encendido.	El aire absorbido por la bomba en el lado de alimentación neumática, proviene de la válvula de encendido si dicha válvula presenta fallas por atasco o corrosión dejándola en posición cerrada evitara que la bomba Gas Booster empiece a comprimir. Tiempo para cambiar la válvula es de 1 semana.	
			2	Pistón en posición de absorción debido a la falta de gas debido a una falla en la válvula de abastecimiento de gas.	LA falta de gas que abastece al pistón para el ciclo de absorción hace que dicho pistón se quede en una posición fija sin retorno, evitando que la bomba cumpla con el ciclo de compresión. La válvula puede presentar fallas por atasco o corrosión. Tiempo para cambiar la válvula de abastecimiento de gas es de 1 semana.	
			3	Pistón con contrapresión debido a una falla en la válvula de servicio.	El gas comprimido de alta presión retorna a la cámara de compresión resulta en una contrapresión al pistón evitando que bomba continúe comprimiendo, la única forma para que esto ocurra es cuando al la válvula de servicio no este abierta apropiadamente. Tiempo para cambiar la válvula de retención 1 semana.	
	B	Incapaz de Amplificar gas de 1000 a 1500 Psi en un tiempo Max de 120 seg.	1	Presión de gas CO2 por debajo de los 1000 psi.	la falta de presión de gas CO2 aumenta el numero de ciclos de compresión que se debe realizar para llegar a los 1500 Psi, reduciendo la vida útil de la Gas Booster. Tiempo para cambiar el abastecimiento de CO2 es de 1 h.	
			2	Fugas en las conexiones, mangueras o equipo neumático.	A medida que la vida útil aumenta del compresor las manqueras tienden a sufrir fatiga y desgaste. Las mangueras en el lado de alta presión presentara fisuras o fugas por las cuales escapa el aire comprimido. Tiempo para cambiar la tubería es de 1 día.	
	3	Tener aspecto aceptable	A No tiene aspecto aceptable	1	Pintura deteriorada	El ambiente húmedo generado por el cambio climático en la ciudad causa corrosión en la carcasa de la Gas Booster. Tiempo para repintar la carcasa del compresor es de 6 horas.
2				Superficie externa sucia	Por causa del uso del modulo de extracción, se genera polvo el cual por falta de limpieza se acumula en la cámara del modulo de extracción. Esto genera la pérdida de la pintura de la carcasa. Tiempo para limpiar el modulo de pruebas es de 3 h.	

CONTINÚA



 ESPE UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA		HOJA DE INFORMACION RCM				
		ELEMENTO: Air Driven Gas Booster Shineeast STA 40	N°	Realizado por: John Yugcha	Fecha: 09-02-2015	
FUNCION		FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)		
4	Prevenir que partículas mayores a 150 um lleguen a la cámara de compresión.	A No previene el ingreso de partículas mayores a 150 um a la cámara de compresión.	1 Falta filtro de ingreso.	La falta del filtro en el lado de abastecimiento neumático permite el ingreso de partículas externas a la cámara de compresión, la acumulación de dichas partículas generan atasco del pistón. Tiempo para colocar el filtro es de 2 días.		
			2 Filtro roto	Mientras la vida útil aumenta la malla del filtro tiende a desgastarse, además la corrosión es uno de los factores que disminuye la resistencia a esfuerzos, consecuencia de estos factores el filtro se rompe permitiendo el paso de partículas externas a la cámara de compresión, su acumulación genera atascos en el pistón de compresión. Tiempo para cambiar el filtro es de 2 días.		

 ESPE UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA		HOJA DE INFORMACION RCM				
		ELEMENTO: Air Driven Gas Booster Shineeast STA 40	N°	Realizado por: John Yugcha	Fecha: 29-06-2016	
FUNCION		FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)		
5	Encender o apagar la Gas Booster.	A No encender la Gas Booster.	1 Perilla atascada en modo cerrado por corrosión o sobreesfuerzo.	Debido a corrosión o sobreesfuerzo la llave accionamiento no se puede abrir y por ende no se suministrar aire comprimido a la cámara de compresión. Toma 1 semana conseguir el repuesto y cambiarlo.		
		B No apagar la Gas Booster.	1 Perilla atascada en modo abierto por corrosión o sobreesfuerzo.	La llave no suspende el flujo de aire al sistema neumático. La única forma para que esto suceda es debido a un sobreesfuerzo o por escoria debido a corrosión. Toma 1 semana conseguir el repuesto y cambiarlo.		

CONTINÚA 

		HOJA DE INFORMACION RCM				
		ELEMENTO: Air Driven Gas Booster Shineeast STA 40	N°	Realizado por: John Yugcha	Fecha: 29-06-2016	
FUNCION		FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)		
6	Indicar la presión del tanque con un error de hasta un 20% de la presión real.	A Indica una presión en el tanque con un error mayor al 20% de la presión real.	1 Manómetro des calibrado.	Brinda lecturas erróneas de la presión de aire en el accionamiento, al generar lecturas erróneas el operario puede asumir que el problema es de la Gas Booster y hacerlo tomar una decisión errónea. Tiempo para cambiar el manómetro es de 1 día.		
		B No mide nada de presión.	1 Manómetro dañado por sobrepresión.	No registra ninguna lectura de la presión en el suministro de aire para el accionamiento neumático. Tiempo para cambiar el manómetro es de 1 día.		

		HOJA DE INFORMACION RCM				
		ELEMENTO: Air Driven Gas Booster Shineeast STA 40	N°	Realizado por: John Yugcha	Fecha: 29-06-2016	
FUNCION		FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)		
7	Permite la regulación de flujo de gas comprimido al sistema de extracción.	A No permite el flujo de Gas	1 Perilla atascada en modo cerrado por corrosión o sobreesfuerzo.	Debido a corrosión o sobreesfuerzo la llave de servicio no se puede abrir y por ende no se puede suministrar el gas comprimido al sistema de extracción. Toma 1 semana conseguir el repuesto y cambiarlo.		
		B No cierra el flujo de Gas.	1 Perilla atascada en modo abierto por corrosión o sobreesfuerzo.	No es posible cerrar la llave y suspender el flujo de gas comprimido al sistema de extracción. La única forma para que esto suceda es debido a un sobreesfuerzo o por escoria debido a corrosión. Toma 1 semana conseguir el repuesto y cambiarlo.		

CONTINÚA 

ESPE		HOJA DE INFORMACION RCM					
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA		ELEMENTO: Cilindro Alta Presión	N°	Realizado por: John Yugcha	Fecha: 29-06-2016		Hoja 1
		COMPONENTE: Cilindro de Retención	Ref	Revisado por: Ing. Washington Freire	Fecha: 29-06-2016		de 4
FUNCION		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA (Causa de la falla)		EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	
1	Retener CO2 de 1100 a 1500 Psi.	A	No retener CO2 de 1100 a 1500 Psi..	1	Fugas en las conexiones de instrumentos y válvulas.	Las conexiones presentan fugas de CO2 notables de manera visible y audio, debido al desgaste de las roscas internas del cuerpo de retención de alta presión destinadas a instrumentos. Tiempo para Fabricar un nuevo cilindro de presión es de 1 mes.	
				2	Buje con presencia de desgaste en el cierre.	La perdida de presión en el cilindro de presión puede deberse al desgaste del buje o tapa de alta presión, es el elemento que mas propenso a desgaste de la rosca por estar abriendo y cerrando en cada practica de extracción de esencias. Tiempo para fabricar un buje es de 1 mes.	
				3	Cuerpo de retención con grietas.	EL cuerpo de retención al estar sometido a alta presión hace que su tiempo de vida útil vaya reduciéndose en cada practica, lo que puede generar q empiece a agrietarse visiblemente. Tiempo para fabricar un cilindro de retención es de 1 mes.	

ESPE		HOJA DE INFORMACION RCM					
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA		ELEMENTO: Cilindro Alta Presión	N°	Realizado por: John Yugcha	Fecha: 29-06-2016		Hoja 2
		COMPONENTE: Válvula Entrada	Ref	Revisado por: Ing. Washington Freire	Fecha: 29-06-2016		de 4
FUNCION		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA (Causa de la falla)		EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	
2	Ingreso y retención del CO2 alta presión.	A	No permite el ingreso del CO2 alta presión	1	Perilla atascada en modo cerrado por corrosión o sobreesfuerzo.	Debido a corrosión o sobrepresión la llave no se puede abrir y por ende no permite el ingreso de CO2 a alta presión a la cámara del cilindro de alta presión. Toma 1 semana conseguir el repuesto y cambiarlo.	
		B	No retienen el CO2 a alta presión.	1	Perilla atascada en modo abierto por corrosión o sobreesfuerzo.	La llave no suspende el flujo de CO2 de alta presión, la única forma para que esto suceda es debido a un sobreesfuerzo o por escoria debido a corrosión. Toma 1 semana conseguir el repuesto y cambiarlo.	

CONTINÚA 

 ESPE UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA		HOJA DE INFORMACION RCM				
		ELEMENTO: Cilindro Alta Presión	N°	Realizado por: John Yugcha	Fecha: 29-06-2016	
FUNCION		FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)		
3	Indicar la presión del tanque con un error de hasta un 20% de la presión real.	A	Indica una presión en el tanque con un error mayor al 20% de la presión real.	1	Manómetro des calibrado.	Brinda lecturas erróneas de la presión del Gas CO2 a alta presión, al generar lecturas erróneas el operario puede asumir que el problema es por fugas o la Gas booster tiene daños y hacerlo tomar una decisión errónea. Tiempo para cambiar el manómetro es de 1 día.
		B	No mide nada de presión.	1	Manómetro dañado por sobrepresión.	No registra ninguna lectura de la presión en el cilindro de retención. Tiempo para cambiar el manómetro es de 1 día.

 ESPE UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA		HOJA DE INFORMACION RCM				
		ELEMENTO: Cilindro Alta Presión	N°	Realizado por: John Yugcha	Fecha: 29-06-2016	
FUNCION		FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)		
4	Permite la regulación de flujo de CO2 supercrítico al sistema de separación.	A	No permite el flujo de CO2 supercrítico	1	Perilla atascada en modo cerrado por corrosión o sobrepresión .	Debido a corrosión o sobrepresión la llave de salida del CO2 supercrítico no se puede abrir y por ende no se puede continuar a la etapa de separación. Toma 1 semana conseguir el repuesto y cambiarlo.
		B	No cierra el flujo de CO2 supercrítico	1	Perilla atascada en modo abierto por corrosión o sobrepresión .	No es posible cerrar la llave y suspender el flujo de CO2 supercrítico al sistema de separación. La única forma para que esto suceda es debido a un sobreesfuerzo o por escoria debido a corrosión. Toma 1 semana conseguir el repuesto y cambiarlo.

CONTINÚA 

 ESPE UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA		HOJA DE INFORMACION RCM				
ELEMENTO: Separador		N°	Realizado por: John Yugcha	Fecha: 29-06-2016	Hoja 1	
COMPONENTE: Cilindro Separador		Ref	Revisado por: Ing. Washington Freire	Fecha: 29-06-2016	de 6	
FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA (Causa de la falla)		EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)		
1 Separara el CO2 de las partículas de 10 a 50 um de esencias.	A No separar el CO2 de las partículas de 10 a 50um de esencias.	1	Separador presenta grietas en el cuerpo cilíndrico	la presencia de grietas en el cuerpo cilíndrico puede deberse a corrosión o una sobrepresión. Esta falla reducirá la eficiencia de separación de las partículas de esencias. Tiempo para Fabricar un separador es de 2 semanas.		
		2	Placa de despresurización rota	Placa de despresurización ubicada en el ingreso de CO2 supercrítico al estar rota disminuye la eficiencia de separación por golpe y minimiza la separación de las partículas de esencias. Tiempo para revisar el abastecimiento de aire 30 minutos.		

 ESPE UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA		HOJA DE INFORMACION RCM				
ELEMENTO: Separador		N°	Realizado por: John Yugcha	Fecha: 09-02-2015	Hoja 2	
COMPONENTE: Demister		Ref	Revisado por: Ing. Washington Freire	Fecha: 26-02-2015	de 6	
FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA (Causa de la falla)		EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)		
2 Separar partículas desde 10 a 150 um en la etapa de separación.	A No separa partículas desde 10 a 50 um en la etapa de separación.	1	Falta Demister en el separador.	La falta del Demister en el ciclo de separación que permite la separación de partículas de 10 a 150um, la acumulación de dichas partículas es la esencia extraída. Tiempo para cambiar el Demister es de 1 días.		
		2	Demister roto	Mientras la vida útil aumenta la malla del Demister tiende a desgastarse, además la corrosión es uno de los factores que disminuye la resistencia a esfuerzos, consecuencia de estos factores el Demister se rompe impidiendo la separación de partículas de esencias. Tiempo para cambiar el Demister es de 1 semana.		

CONTINÚA



ESPE		HOJA DE INFORMACION RCM				INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA	
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA		ELEMENTO: Separador	N°	Realizado por: John Yugcha	Fecha: 29-06-2016		Hoja 3
		COMPONENTE: Manómetro.	Ref	Revisado por: Ing. Washington Freire	Fecha: 29-06-2016		de 6
FUNCION		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA (Causa de la falla)		EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	
3	Indicar la presión del tanque con un error de hasta un 20% de la presión real.	A	Indica una presión en el tanque con un error mayor al 20% de la presión real.	1	Manómetro des calibrado.	Brinda lecturas erróneas de la presión de separación, al generar lecturas erróneas el operario puede asumir que el problema es de fugas y detener las pruebas. Tiempo para cambiar el manómetro es de 1 día.	
		B	No mide nada de presión.	1	Manómetro dañado por sobrepresión.	No registra ninguna lectura de la presión de separación. Tiempo para cambiar el manómetro es de 1 día.	

ESPE		HOJA DE INFORMACION RCM				INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA	
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA		ELEMENTO: Separador	N°	Realizado por: John Yugcha	Fecha: 29-06-2016		Hoja 4
		COMPONENTE: Válvula Ingreso de CO2 supercrítico	Ref	Revisado por: Ing. Washington Freire	Fecha: 29-06-2016		de 6
FUNCION		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA (Causa de la falla)		EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	
4	Regular el ingreso de CO2 supercrítico al Separador.	A	No permite el ingreso de CO2 supercrítico	1	Perilla atascada en modo cerrado por corrosión o sobreesfuerzo.	Debido a corrosión o sobreesfuerzo la llave accionamiento no se puede abrir y no se puede suministrar CO2 supercrítico al cilindro separador. Toma 1 semana conseguir el repuesto y cambiarlo.	
		B	No regula el flujo de CO2 supercrítico.	1	Perilla atascada en modo abierto por corrosión o sobreesfuerzo.	La llave no regula el flujo de CO2 supercrítico al sistema de separación. La única forma para que esto suceda es debido a un sobreesfuerzo o por escoria debido a corrosión. Toma 1 semana conseguir el repuesto y cambiarlo.	

ESPE		HOJA DE INFORMACION RCM				INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA	
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA		ELEMENTO: Separador	N°	Realizado por: John Yugcha	Fecha: 29-06-2016		Hoja 5
		COMPONENTE: Válvula de salida de CO2 gas	Ref	Revisado por: Ing. Washington Freire	Fecha: 29-06-2016		de 6
FUNCION		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA (Causa de la falla)		EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)	
5	Permitir la salida de CO2 despresurizado.	A	No permite la salida de CO2 despresurizado.	1	Perilla atascada en modo cerrado por corrosión o sobreesfuerzo.	Debido a corrosión o sobreesfuerzo la válvula de salida de CO2 despresurizado no se puede abrir, provocando sobrepresión en el separador generando grietas. Toma 1 semana conseguir el repuesto y cambiarlo.	

CONTINÚA 

		HOJA DE INFORMACION RCM				
		ELEMENTO: Separador	N°	Realizado por: John Yugcha	Fecha: 29-06-2016	
FUNCION		FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (Que sucede cuando falla)		
6	Permite obtener la escencia del sistema de extracción.	A No permite el flujo de liquido de escencias.	1 Perilla atascada en modo cerrado por corrosión o sobreesfuerzo.	Debido a corrosión o sobreesfuerzo la llave de obtencion de escencias no se puede abrir y por ende no se puede obtener la escencia acumulada en el separador. Toma 1 semana conseguir el repuesto y cambiarlo.		
		B No retiene el liquido de escencia en el separador.	1 Perilla atascada en modo abierto por corrosión o sobreesfuerzo.	No es posible cerrar la llave y suspender el flujo de liquido de escencia del sistema de extracción. La única forma para que esto suceda es debido a un sobreesfuerzo o por escoria debido a corrosión. Toma 1 semana conseguir el repuesto y cambiarlo.		

Tabla 13 Hoja de decisión RCM.

 ESPE UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA										HOJA DE DECISION RCM										
										ELEMENTO: Air Driven Gas Booster Shieneeast ST40					N°		Realizado por: Ronquillo Alex, Yugcha John			
COMPONENTE: Aire					Ref.		Revisado por: Ing. Washington Freire			Fecha: 29-06-2016		de 6								
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 01 N1	H2 S2 02 N2	H3 S3 03 N3	Tareas "a falta de "			Tareas Propuestas	Frecuencia inicial	A realizar por					
F	FF	FM	H	S	E	O			H4	H5	S4									
1	A	1	S	N	N	S	S						Realizar una tarea a condición chequeando el flujo de aire.	1 mes	Operador					
1	A	2	S	N	N	S	s						Realizar una tarea a condición chequeando la presión de salida del Gas CO2.	1mes	Operador					

 ESPE UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA										HOJA DE DECISION RCM										
										ELEMENTO: Air Driven Gas Booster Shieneeast ST40					N°		Realizado por: Ronquillo Alex, Yugcha John			
COMPONENTE: Sistema de Amplificación de Presión					Ref.		Revisado por: Ing. Washington Freire			Fecha: 29-06-2016		de 6								
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 01 N1	H2 S2 02 N2	H3 S3 03 N3	Tareas "a falta de "			Tareas Propuestas	Frecuencia inicial	A realizar por					
F	FF	FM	H	S	E	O			H4	H5	S4									
2	A	1	N				S						Realizar una tarea a condición chequeando el estado de la válvula neumática.	6 meses	Operador					
2	A	2	N				S						Realizar una tarea a condición chequeando la presión de entrada del CO2 a la gas Booster.	4 meses	Operador					
2	A	3	N				N	N	N	S			Realizar una tarea de búsqueda de fallas que consiste en comprobar que la salida de CO2 no este cerrada u obstruida.	1 mes	Operador					
2	B	1	N				S						Realizar una tarea a condición que consiste en revisar el suministro de CO2 del tanque.	2 meses	Operador					
2	B	2	N				N	N	N	S			Realizar una búsqueda de fallas del equipo probando si las conexiones de las mangueras o instrumentos de medida.	3 meses año	Operador					
3	A	1	S	N	N	N	S						Realizar una tarea a condición que consista en realizar una inspección visual del estado de la pintura	1 año	Operador					
3	A	2	S	N	N	N	S						Realizar una tarea a condición que consista en realizar una inspección visual del polvo acumulado en el activo.	1 año	Operador					

 ESPE UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA										HOJA DE DECISION RCM								
										ELEMENTO: Air Driven Gas Booster Shieneeast ST40			N°	Realizado por: Ronquillo Alex, Yugcha Jonh		Fecha: 29-06-2016	Hoja 3	
COMPONENTE: Unidad de mantenimiento			Ref.	Revisado por: Ing. Washington Freire		Fecha: 29-06-2016	de 6											
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1 01	S1 N1	H2 02	S2 N2	H3 03	S3 N3	Tareas "a falta de "			Tareas Propuestas	Frecuencia inicial	A realizar por
F	FF	FM	H	S	E	O							H4	H5	S4			
4	A	1	S	N	N	S	S								Realizar una tarea a condición que consista en chequear si esta colocado la unidad de mantenimiento en lado de abastecimiento de aire en caso de no estarlo colocarlo.	6 meses	Operador	
4	A	2	N				S								Realizar una tarea a condición que consista en chequear el estado de la malla del filtro en caso de estar oxidada o rota cambiar el filtro .	6 meses	Operador	

 ESPE UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA										HOJA DE DECISION RCM								
										ELEMENTO: Air Driven Gas Booster Shieneeast ST40			N°	Realizado por: Ronquillo Alex, Yugcha John		Fecha: 29-06-2016	Hoja 4	
COMPONENTE: Válvula de encendido			Ref.	Revisado por: Ing. Washington Freire		Fecha: 29-06-2016	de 6											
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1 01	S1 N1	H2 02	S2 N2	H3 03	S3 N3	Tareas "a falta de "			Tareas Propuestas	Frecuencia inicial	A realizar por
F	FF	FM	H	S	E	O							H4	H5	S4			
5	A	1	N				N	N	N	S					Tarea de búsqueda de fallas, comprobar el estado de la llave abriéndola y cerrándola cíclicamente.	6 meses	Operador	
5	B	1	S	N	N	S	S								Realizar una tarea a condición que consista en chequear el estado de la válvula verificando que este cerrada correctamente y libre de oxidación.	6 meses	Operador	

 ESPE UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA										HOJA DE DECISION RCM								
										ELEMENTO: Air Driven Gas Booster Shieneeast ST40			N°	Realizado por: Ronquillo Alex, Yugcha John		Fecha: 29-06-2016	Hoja 5	
COMPONENTE: Manómetro			Ref.	Revisado por: Ing. Washington Freire		Fecha: 29-06-2016	de 6											
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1 01	S1 N1	H2 02	S2 N2	H3 03	S3 N3	Tareas "a falta de "			Tareas Propuestas	Frecuencia inicial	A realizar por
F	FF	FM	H	S	E	O							H4	H5	S4			
6	A	1	N				N	N	N	S					Realizar una tarea de búsqueda de fallas, comparando las lecturas que de el manómetro usado con uno que se encuentre en buenas condiciones si las lecturas son muy diferentes cambiar el manómetro por uno nuevo.	1 año	Técnico	
6	B	1	S	N	N	S	N	N	N						Ningún mantenimiento preventivo	

CONTINÚA



 ESPE UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA								HOJA DE DECISION RCM									
								ELEMENTO: Air Driven Gas Booster Shieneeast ST40				N°	Realizado por: Ronquillo Alex, Yugcha John			Fecha: 29-06-2016	Hoja 6
Referencia de información								Evaluación de las consecuencias				Tareas "a falta de "			Tareas Propuestas	Frecuencia inicial	A realizar por
F	FF	FM	H	S	E	O	H1 01	S1 N1	H2 02 N2	H3 03 N3	H4	H5	S4				
7	A	1	N				N	N	N	S				Tarea de búsqueda de fallas, comprobar el estado de la llave abriéndola y cerrándola cíclicamente.	6 meses	Operador	
7	B	1	S	N	N	S	S							Realizar una tarea a condición que consista en chequear el estado de la llave de servicio verificando que este abierta correctamente y libre de oxidación.	6 meses	Operador	

 ESPE UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA								HOJA DE DECISION RCM									
								ELEMENTO: Cilindro de Alta presión				N°	Realizado por: Ronquillo Alex, Yugcha John			Fecha: 29-06-2016	Hoja 1
Referencia de información								Evaluación de las consecuencias				Tareas "a falta de "			Tareas Propuestas	Frecuencia inicial	A realizar por
F	FF	FM	H	S	E	O	H1 01	S1 N1	H2 02 N2	H3 03 N3	H4	H5	S4				
1	A	1	S	N	N	S	S							Tarea a condición: Realizar un monitoreo de las conexiones de mangueras e instrumentos de medida para detectar las fugas.	1 mes	Operador	
1	A	2	N				N	N	N	S				Tarea de búsqueda de fallas, comprobar el estado del buje abriéndolo y cerrándolo cíclicamente.	6 meses	Operador	
1	A	3	S	N	N	S	S							Realizar una tarea condición que cosiste en inyectar aire a presión al cilindro de retención con la ayuda de un compresor y comprobar que no se pierda presión en un intervalo de tiempo.	6 meses	Operador	

CONTINÚA



 ESPE UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA										HOJA DE DECISION RCM								
										ELEMENTO: Cilindro de Alta presión			N°	Realizado por: Ronquillo Alex, Yugcha John		Fecha: 29-06-2016	Hoja 4	
COMPONENTE: Válvula de entrada			Ref.	Revisado por: Ing. Washington Freire		Fecha: 29-06-2016	de 6											
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				Tareas "a falta de "			Tareas Propuestas		Frecuencia inicial	A realizar por					
F	FF	FM	H	S	E	O	H1 01	S1 N1	H2 02 N2	S2 N2	H3 03 N3	S3 N3	H4	H5	S4			
2	A	1	N				N	N	N			S				Tarea de búsqueda de fallas, comprobar el estado de la llave abriéndola y cerrándola cíclicamente.	6 meses	Operador
5	B	1	S	N	N	S	S									Realizar una tarea a condición que consista en chequear el estado de la válvula verificando que este cerrada correctamente y libre de oxidación.	6 meses	Operador

 ESPE UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA										HOJA DE DECISION RCM								
										ELEMENTO: Cilindro de Alta presión			N°	Realizado por: Ronquillo Alex, Yugcha John		Fecha: 29-06-2016	Hoja 5	
COMPONENTE: Manómetro			Ref.	Revisado por: Ing. Washington Freire		Fecha: 29-06-2016	de 6											
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				Tareas "a falta de "			Tareas Propuestas		Frecuencia inicial	A realizar por					
F	FF	FM	H	S	E	O	H1 01	S1 N1	H2 02 N2	S2 N2	H3 03 N3	S3 N3	H4	H5	S4			
3	A	1	N				N	N	N			S				Realizar una tarea de búsqueda de fallas, comparando las lecturas que de el manómetro usado con uno que se encuentre en buenas condiciones si las lecturas son muy diferentes cambiar el manómetro por uno nuevo.	1 año	Técnico
3	B	1	S	N	N	S	N	N	N							Ningún mantenimiento preventivo

 ESPE UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA										HOJA DE DECISION RCM								
										ELEMENTO: Cilindro de Alta presión			N°	Realizado por: Ronquillo Alex, Yugcha John		Fecha: 29-06-2016	Hoja 6	
COMPONENTE: Válvula salida			Ref.	Revisado por: Ing. Washington Freire		Fecha: 29-06-2016	de 6											
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				Tareas "a falta de "			Tareas Propuestas		Frecuencia inicial	A realizar por					
F	FF	FM	H	S	E	O	H1 01	S1 N1	H2 02 N2	S2 N2	H3 03 N3	S3 N3	H4	H5	S4			
4	A	1	N				N	N	N			S				Tarea de búsqueda de fallas, comprobar el estado de la llave abriéndola y cerrándola cíclicamente.	6 meses	Operador
4	B	1	S	N	N	S	S									Realizar una tarea a condición que consista en chequear el estado de la válvula verificando que este abierta correctamente y libre de oxidación por medio de aplicación de aire a presión.	6 meses	Operador

 ESPE UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA										HOJA DE DECISION RCM							
										ELEMENTO: Separador				N°		Realizado por: Ronquillo Alex, Yugcha John	
COMPONENTE: Cilindro Separador				Ref.		Revisado por: Ing. Washington Freire		Fecha: 29-06-2016	de 6								
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1 01	S1 N1	H2 02 N2	H3 03 N3	Tareas "a falta de "			Tareas Propuestas	Frecuencia inicial	A realizar por	
F	FF	FM	H	S	E	O			H4	H5	S4						
1	A	1	N				N	N	N	S			Realizar una búsqueda de fallas que consiste en inyectar aire a presión en el cilindro separador con la ayuda de un compresor y comprobar que no existan fugas por grietas y pérdidas de presión.	1 año	Operador		
1	A	2	S	N	N	S	S						Realizar una tarea condición que consiste en desarmar el separador y verificar físicamente que la placa de despresurización este en buen estado.	6 meses	Operador		

 ESPE UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA										HOJA DE DECISION RCM							
										ELEMENTO: Separador				N°		Realizado por: Ronquillo Alex, Yugcha John	
COMPONENTE: Demister				Ref.		Revisado por: Ing. Washington Freire		Fecha: 29-06-2016	de 6								
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1 01	S1 N1	H2 02 N2	H3 03 N3	Tareas "a falta de "			Tareas Propuestas	Frecuencia inicial	A realizar por	
F	FF	FM	H	S	E	O			H4	H5	S4						
2	A	1	S	N	N	S	S						Realizar una tarea a condición que consista en verificar la cantidad de esencia obtenida.	6 meses	Operador		
2	A	2	N				N	N	N	S			Tarea de búsqueda de fallas, comprobar el estado del Demister abriéndola el separador y volviendo a cerrarlo cíclicamente.	6 meses	Operador		

CONTINÚA 

 ESPE UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA										HOJA DE DECISION RCM					
										ELEMENTO: Air Driven Gas Booster Shieneeast ST40			N°	Realizado por: Ronquillo Alex, Yugcha John	
COMPONENTE: Válvula de ingreso de CO2			Ref.	Revisado por: Ing. Washington Freire		Fecha: 29-06-2016	de 6								
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 01 N1	H2 S2 02 N2	H3 S3 03 N3	Tareas "a falta de "			Tareas Propuestas	Frecuencia inicial	A realizar por
F	FF	FM	H	S	E	O			H4	H5	S4				
4	A	1	N				N	N	N	S			Tarea de búsqueda de fallas, comprobar el estado de la llave abriéndola y cerrándola cíclicamente.	6 meses	Operador
4	A	2	S	N	N	S	S						Realizar una tarea a condición que consista en chequear el estado de la llave de servicio verificando que este abierta correctamente y libre de oxidación.	6 meses	Operador

 ESPE UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA										HOJA DE DECISION RCM					
										ELEMENTO: Air Driven Gas Booster Shieneeast ST40			N°	Realizado por: Ronquillo Alex, Yugcha John	
COMPONENTE: Válvula salida CO2			Ref.	Revisado por: Ing. Washington Freire		Fecha: 29-06-2016	de 6								
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 01 N1	H2 S2 02 N2	H3 S3 03 N3	Tareas "a falta de "			Tareas Propuestas	Frecuencia inicial	A realizar por
F	FF	FM	H	S	E	O			H4	H5	S4				
5	A	1	N				N	N	N	S			Tarea de búsqueda de fallas, comprobar el estado de la llave abriéndola y cerrándola cíclicamente.	6 meses	Operador
5	B	1	S	N	N	S	S						Realizar una tarea a condición que consista en chequear el estado de la válvula verificando que este cerrada correctamente y libre de oxidación.	6 meses	Operador

 ESPE UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA										HOJA DE DECISION RCM					
										ELEMENTO: Air Driven Gas Booster Shieneeast ST40			N°	Realizado por: Ronquillo Alex, Yugcha Jonh	
COMPONENTE: Manómetro			Ref.	Revisado por: Ing. Washington Freire		Fecha: 29-06-2016	de 6								
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 01 N1	H2 S2 02 N2	H3 S3 03 N3	Tareas "a falta de "			Tareas Propuestas	Frecuencia inicial	A realizar por
F	FF	FM	H	S	E	O			H4	H5	S4				
3	A	1	N				N	N	N	S			Realizar una tarea de búsqueda de fallas, comparando las lecturas que de el manómetro usado con uno que se encuentre en buenas condiciones si las lecturas son muy diferentes cambiar el manómetro por uno nuevo.	1 año	Técnico
3	B	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento preventivo

5.3. Análisis de resultados

5.3.1 Costo

PLANTA PILOTO DE EXTRACCIÓN CON FLUIDO SUPERCRÍTICO CO₂

ELEMENTOS	CANTIDAD	COSTO	TOTAL
Bomba Ga Booster	1	2000	2000
Cilindro Extractor	1	450	450
Cilindro Separador	1	250	250
Resistencia de 5000Vatios	3	60	180
Control de temperatura	1	60	60
Válvulas tipo Bola	5	10	50
Válvula tipo aguja	2	35	70
Válvula check de aire	1	10	10
Manguera de Alta Presión	10m	20	200
Manómetros	3	50	150
Electro válvula	1	40	40
Unidad de mantenimiento	1	80	80
Estructura de Planta Piloto	1	500	500
Cilindro CO₂	1	120	120
Total			4160

La construcción de la planta piloto de extracción con fluido supercrítico con CO₂, para capacidad de extracción de ½ litro tiene un costo alrededor de los 4160 dólares americanos. En comparación a una planta de extracción fabricada en Estados Unidos o la Unión europea que llega a tener un costo de

12000 a 100000 dólares americanos dependiendo de la capacidad de extracción del cilindro separador. Existe una relación de 1:3 en costos de la planta de extracción fabricada localmente ante una fabricada en el exterior lo que demuestra la factibilidad del prototipo.

Los elementos de alta presión de la planta de extracción son manufacturados en la empresa local Induacero, demostrando que la industria del país es capaz de construir plantas piloto alternativas a los métodos convencionales. En el país existen compañías importadoras de esencias para perfumería y alimentos como Italgima S.A y Aromas Latincompany S.A, la construcción de plantas de extracción a nivel industrial permitiría al país ser exportadores.

5.3.2 Pruebas para determinar el punto de extracción

El punto de extracción de una planta o semillas no puede ser calcula mediante una ecuación, el punto óptimo de extracción se puede obtener mediante pruebas experimentales en la que se asigna tres variables que son:

Presión Crítica.

Temperatura Crítica.

Tiempo de extracción.

Tomando en cuenta dichas variables, se procede a realizar pruebas con distintos valores en las mismas. Inicialmente se establece el punto crítico del CO₂ (1100 Psi y 31.1 °C) en un periodo de 10 minutos y se aumenta en un intervalo de 5 minutos hasta los 35 minutos. Después se incrementa la presión y temperatura a un valor de (1200 Psi y 50 °C) en el mismo periodo de tiempo ya mencionado, se observa que el tiempo para extracción es de 15 a 20 minutos, pues al someter a la materia prima a mayor tiempo en condiciones supercríticas se puede destruir la esencia. En un tercer ciclo consecutivo no se llega a obtener esencia, inmediatamente se abre el separador y se observa que la materia prima (planta) presenta un aspecto descolorido y de secado. Lo que permite concluir que 2 ciclos de extracción consecutivos son

suficientes para realizar una extracción. Las pruebas se realizan con mentha y paico (*Chenopodium ambrosioides*) que tienen contextura similar.

Para determinar el punto de extracción de la planta de molle con las condiciones establecidas anterior mente la eficiencia es baja, se decide aumentar las condiciones de presión y temperatura hasta 1400 Psi por seguridad se establece no exceder los 1500 Psi, para no someter al cilindro separador a un esfuerzo en el que pueda empezar a presentar fugas, en el análisis estático se puede observar que las roscas de ¼ plg son los primeros elementos en ceder ante el esfuerzo de una presión elevada. A pesar de que la eficiencia en la extracción de molle es muy baja en estas condiciones se obtiene esencia que es el objetivo del proyecto de investigación.

5.2.3 Obtención de esencia

a. PAICO

PRUEBA 1

Para la extracción de esencia se ingresa 20 gr de planta a la cual se establece realizar 2 ciclos con la materia prima (Paico o *Chenopodium ambrosioides*), para luego retirar la usada y colocar nueva materia prima en el extractor. En el primer ciclo de extracción se registra el tiempo que la Gas Booster tarda en dar la condición de presión crítica de 1100 Psi en la tabla 15, con los datos obtenidos se grafica una curva de operación de la Gas Booster en la figura 54 se puede comparar con las curvas de operación proporcionadas por el software Haskel o por el fabricante de la bomba, se observa un patrón similar comprobando su operación.

Tabla 15

Registro Gas Booster para Presión Crítica

TIEMPO DE COMPRESIÓN BOOSTER

TIEMPO [minutos]	FUENTE	EXTRACTOR	
	CO2	PRESIÓN	TEMPERATURA
	[PSI]	[PSI]	[°c]

CONTINÚA 

0	725	725	23,6
1	725	825	23,6
2	725	875	23,6
3	725	925	23,6
4	725	975	23,6
5	725	1010	23,6
6	725	1060	23,6
7	725	1100	23,6

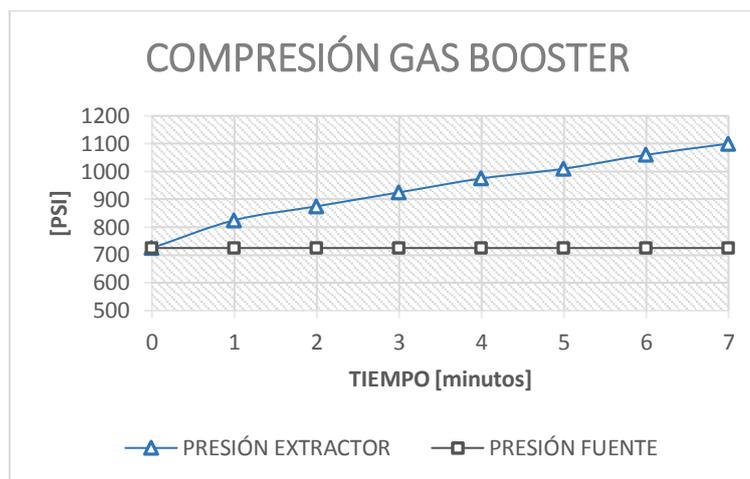


Figura 54 Curva de Operación de Bomba Gas Booster.

Una vez establecida la presión crítica se procede a establecer la temperatura crítica, empezando desde la temperatura ambiente de 23.6 [°C] hasta una temperatura de 50 [°C] se puede comprobar la ley general de los gases $PV=nRT$ en el cual la presión es directamente proporcional a la temperatura, se observa en el registro de la tabla 17.

Tabla 16

Registro Extracción Paico Prueba 1

TIEMPO DE CALENTAMIENTO		
TIEMPO [minutos]	EXTRACTOR	
	PRESIÓN [PSI]	TEMPERATURA [°C]
0	1100	23,6
1	1100	43,6
2	1100	53,5
3	1100	59,5
4	1100	61,5

CONTINÚA

5	1125	58,5
6	1140	54,4
7	1145	50,3
8	1150	50,4
9	1175	50,3
10	1200	50,5
11	1210	50,5
12	1240	50,6
13	1250	50,6
14	1260	51
15	1270	51
16	1280	50,8
17	1290	50,8
18	1300	50,7
19	1320	50,9
20	1340	51

En la gráfica 55 se observa el aumento de presión y temperatura en función del tiempo, en la primera prueba de extracción se establece un periodo de 20 minutos.

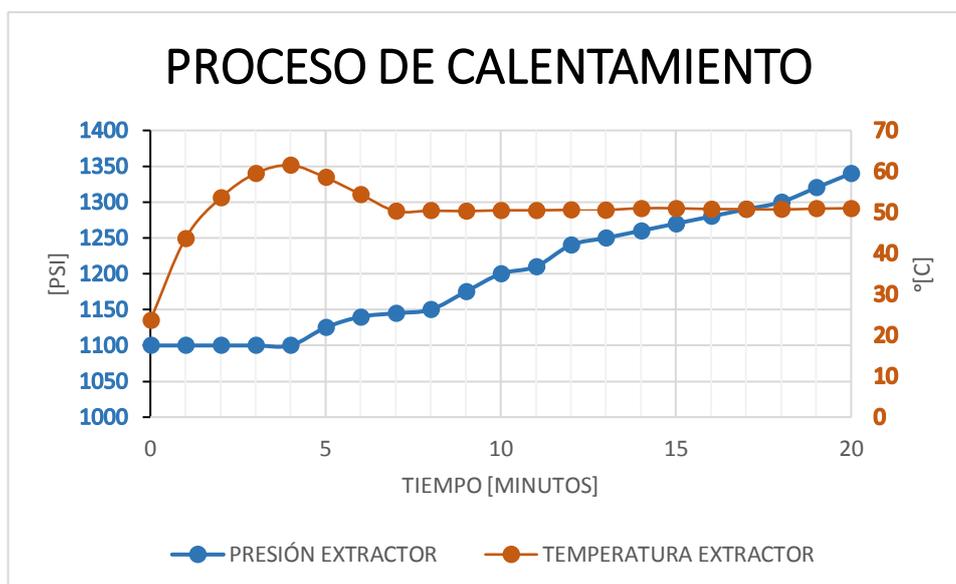


Figura 55 Grafica del Proceso de Calentamiento en la extracción.

PRUEBA 2

Se realiza el segundo ciclo de extracción de paico, en la tabla 18 se registra el tiempo para alcanzar la condición de presión crítica de 1200 Psi.

En el primer ciclo de extracción se obtienen un 1ml de esencia en bruto, al ser el segundo ciclo se aumenta las condiciones del punto crítico de extracción.

Tabla 17

Registro Gas Booster para Presión Crítica Prueba 2

TIEMPO DE COMPRESIÓN BOOSTER

TIEMPO [minutos]	FUENTE CO2	EXTRACTOR	
	PRESIÓN [PSI]	PRESIÓN [PSI]	TEMPERATURA [°C]
0	720	720	38
1	720	925	38
2	720	1000	38
3	720	1100	38
4	720	1200	38

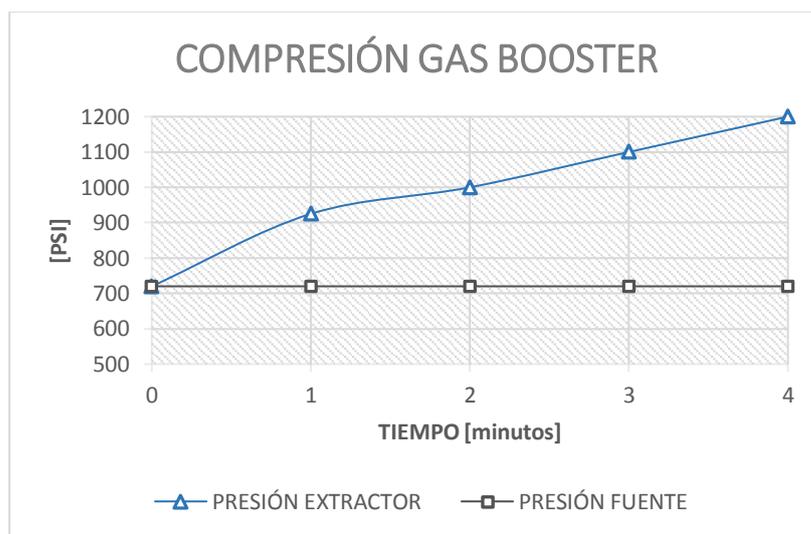


Figura 56 Curva de Operación de Bomba Gas Booster Prueba 2.

Una vez establecida la presión crítica se procede a establecer la segunda condición que es la temperatura crítica, empezando desde la temperatura de 38 [°C] hasta una temperatura de 60 [°C], se observa en el registro de la tabla 19.

Tabla 18

Registro Extracción Paico Prueba 2

TIEMPO DE CALENTAMIENTO

TIEMPO [minutos]	EXTRACTOR	
	PRESIÓN [PSI]	TEMPERATURA [°c]
0	1200	38
1	1200	41,5
2	1200	57,6
3	1200	61
4	1225	63
5	1240	62
6	1250	61,7
7	1250	62,8
8	1250	61,5
9	1250	62,8
10	1255	61,7
11	1260	62,4
12	1265	61,5
13	1270	62,9
14	1275	61,5
15	1275	62

En la gráfica 57 se observa el aumento de presión y temperatura en función del tiempo, en la segunda prueba de extracción se establece un periodo de 15 minutos.

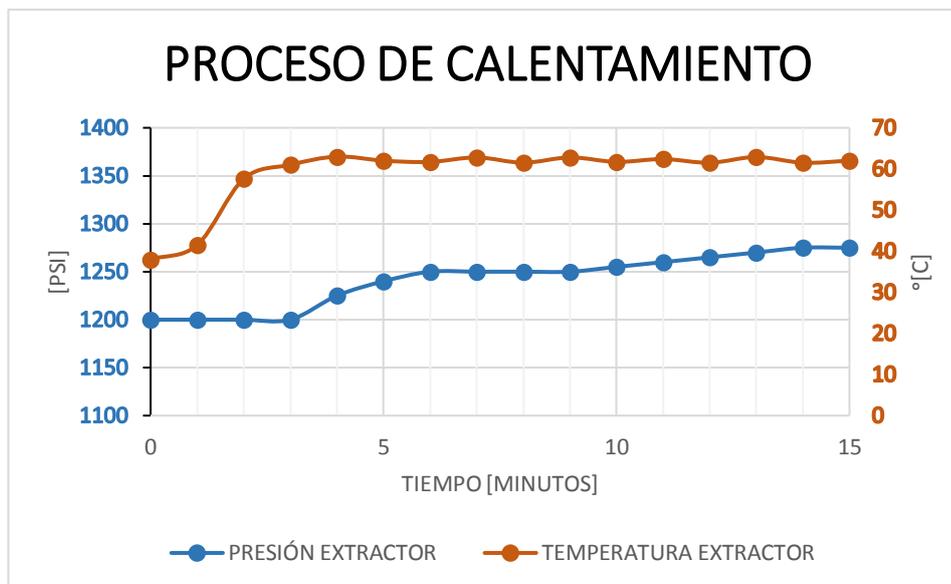


Figura 57 Grafica del Proceso de Calentamiento en la extracción Prueba 2.

PAICO

PRUEBA 3

Para la extracción de esencia de 20 gr de Paico (*Chenopodium ambrosioides*) se establece realizar 2 ciclos con la nueva materia prima. En el primer ciclo de extracción se registra el tiempo que la Gas Booster tarda en dar la condición de presión crítica de 1200 Psi en la tabla 20, con los datos obtenidos se grafica una curva de operación de la Gas Booster en la figura 58.

Tabla 19

Registro Gas Booster para Presión Crítica Prueba 3

TIEMPO [minutos]	TIEMPO DE COMPRESIÓN BOOSTER		
	FUENTE CO2	EXTRACTOR	
	PRESIÓN [PSI]	PRESIÓN [PSI]	TEMPERATURA [°c]
0	700	700	30
1	700	900	30
2	700	950	30
3	700	1050	30
4	700	1100	30

CONTINÚA

5	700	1150	30
6	700	1175	30
7	700	1200	30

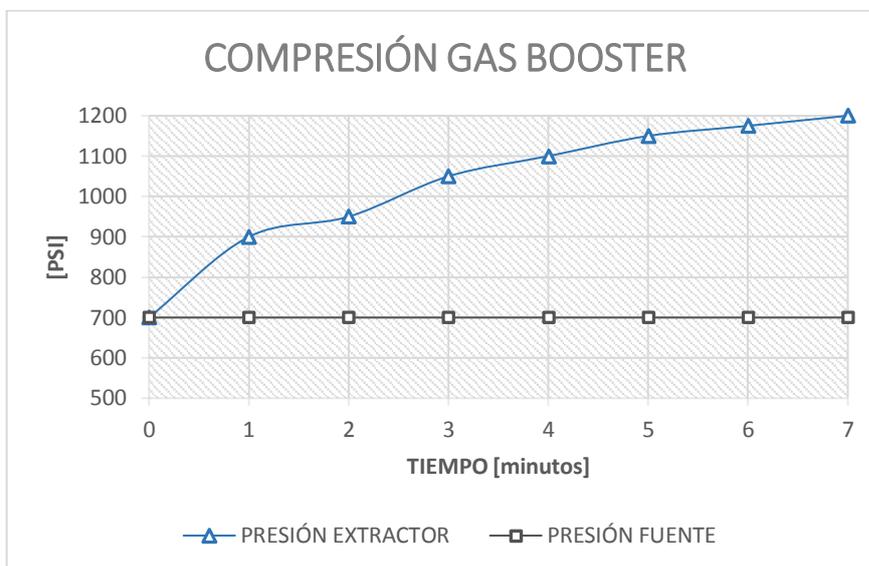


Figura 58 Curva de Operación de Bomba Gas Booster Prueba 3.

Una vez establecida la presión crítica de 1200 Psi se procede a establecer la segunda condición que es la temperatura crítica, empezando desde la temperatura de 30 [°C] hasta una temperatura de 60 [°C], se observa en el registro de la tabla 21. El punto de extracción de una planta no puede ser calculado con una ecuación, se puede establecer mediante experimentación.

Tabla 20

Registro Extracción Paico Prueba 3

TIEMPO DE CALENTAMIENTO		
TIEMPO [minutos]	EXTRACTOR	
	PRESIÓN [PSI]	TEMPERATURA [°c]
0	1200	30
1	1200	50
2	1225	60,8
3	1250	59,1
4	1250	51,8
5	1250	52,8
6	1260	53,4
7	1275	54,5
8	1300	55,4
9	1300	55,6
10	1300	56,4

CONTINÚA

11	1325	56,7
12	1325	57,7
13	1350	58,1
14	1350	58,9
15	1375	59,1

En la gráfica 59 se observa el aumento de presión y temperatura en función del tiempo, en la segunda prueba de extracción se establece un periodo de 15 minutos.

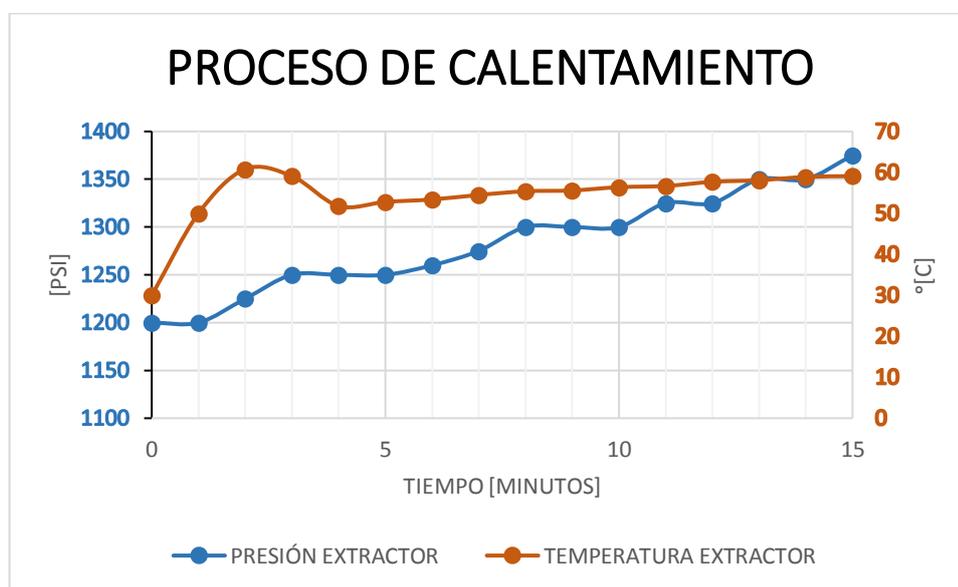


Figura 59 Grafica del Proceso de Calentamiento en la extracción Prueba 3.

PRUEBA 4

Se realiza el segundo ciclo de extracción de paico, en la tabla 22 se registra el tiempo para alcanzar la condición de presión crítica de 1150 Psi. En el primer ciclo de extracción se obtienen un 1ml de esencia en bruto, al ser el cuarto ciclo se reduce las condiciones del punto crítico de extracción al ser experimentación para plantear un punto de extracción.

Tabla 21

Registro Gas Booster para Presión Crítica Prueba 4

TIEMPO DE COMPRESIÓN BOOSTER			
TIEMPO [minutos]	FUENTE	EXTRACTOR	
	CO2	PRESIÓN	TEMPERATURA
	[PSI]	[PSI]	[°c]
0	700	700	55
0,5	700	900	55
1	700	950	55
1,5	700	975	55
2	700	1050	55
2,5	700	1070	55
3	700	1150	55

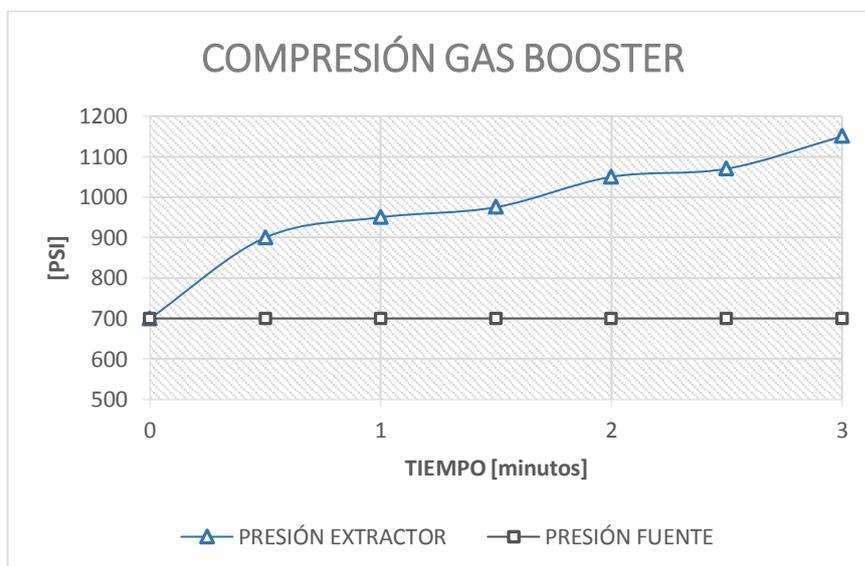


Figura 60 Curva de Operación de Bomba Gas Booster Prueba 4.

Una vez establecida la presión crítica de 1150 Psi se procede a establecer la segunda condición que es la temperatura crítica, empezando desde la temperatura de 55 [°C] hasta una temperatura de 50 [°C], se observa en el registro de la tabla 23.

Tabla 22

Registro Extracción Paico Prueba 4

TIEMPO [minutos]	EXTRACTOR	
	PRESIÓN [PSI]	TEMPERATURA [°C]
0	1150	55
1	1150	54,5
2	1150	54
3	1150	53,7
4	1150	53,3
5	1150	52,7
6	1150	52,3
7	1150	52
8	1150	51,7
9	1150	51,3
10	1150	51
11	1150	50,9
12	1150	50,8
13	1150	50,6
14	1150	50,4
15	1150	50,3

En la gráfica 5.9 no se observa el aumento de presión y temperatura en función del tiempo, en la cuarta prueba de extracción se reduce la temperatura al ser un proceso consecutivo, en la prueba 3 se trabaja con 60 °C y el cilindro de extracción queda sometido a una temperatura de 55°C y se decide reducirla a 50°C se establece un periodo de 15 minutos.

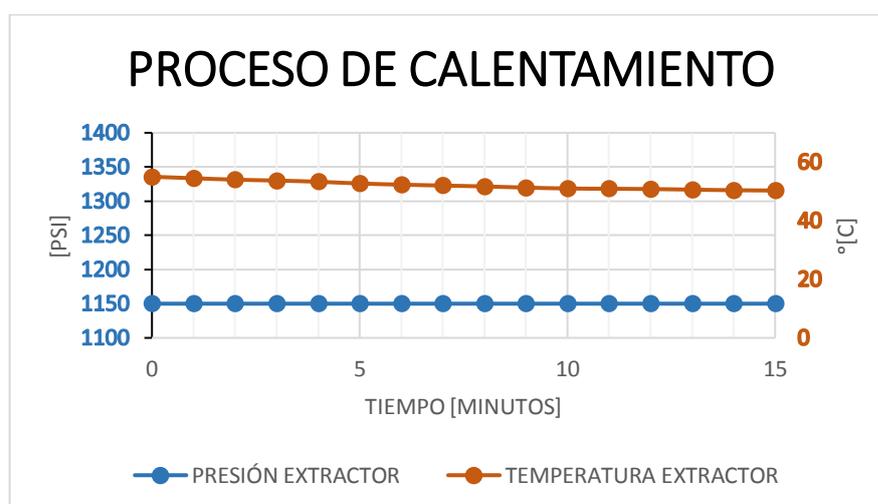


Figura 61 Grafica del Proceso de Calentamiento en la extracción Prueba 4.

b. MOLLE

PRUEBA 1

Para la extracción de esencia de 20 gr se establece realizar 2 ciclos con la materia prima (Schinus molle), para luego retirar la usada y colocar nueva materia prima en el extractor. En el primer ciclo de extracción se registra el tiempo que la Gas Booster tarda en dar la condición de presión crítica de 1125 Psi en la tabla 24, con los datos obtenidos se grafica una curva de operación de la Gas Booster en la figura 62.

Tabla 23

Registro Gas Booster para Presión Crítica Molle Prueba 1

TIEMPO DE COMPRESIÓN BOOSTER			
TIEMPO [minutos]	FUENTE	EXTRACTOR	
	CO2	PRESIÓN	TEMPERATURA
	[PSI]	[PSI]	[°c]
0	700	700	24,6
1	700	825	24,6
2	700	875	24,6
3	700	925	24,6
4	700	975	24,6
5	700	1000	24,6
6	700	1050	24,6
7	700	1125	24,6

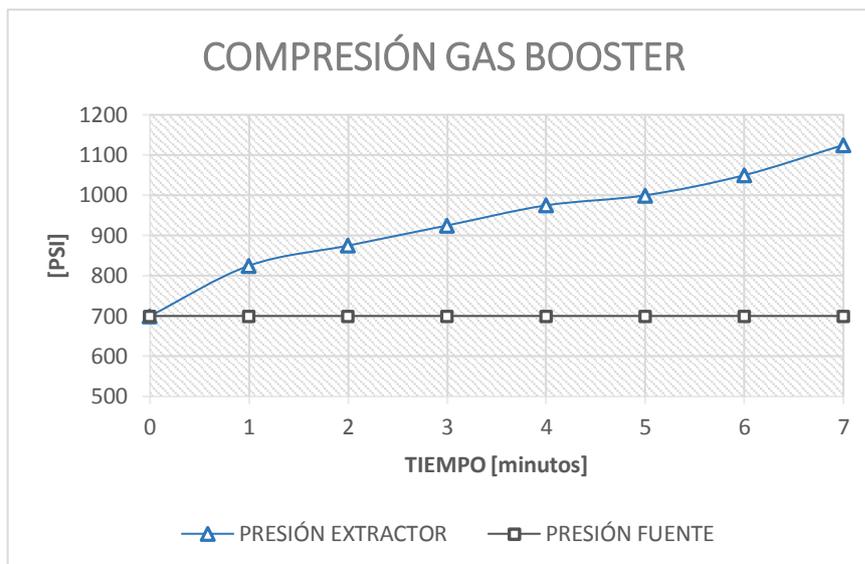


Figura 62 Curva de Operación de Bomba Gas Booster Molle Prueba 1.

Una vez establecida la presión crítica de 1125 Psi se procede a establecer la segunda condición que es la temperatura crítica, empezando desde la temperatura de 24 [°C] hasta una temperatura de 51 [°C] en un periodo de 20 minutos, se observa en el registro de la tabla 25.

Tabla 24

Registro Extracción Paico Molle Prueba 1

TIEMPO DE CALENTAMIENTO		
TIEMPO [minutos]	EXTRACTOR	
	PRESIÓN [PSI]	TEMPERATURA [°c]
0	1125	24,6
1	1125	45,5
2	1125	55,2
3	1125	61,3
4	1150	62,2
5	1190	57,8
6	1200	51,8
7	1210	50,9
8	1240	51,1
9	1250	51
10	1260	51
11	1275	51,2
12	1300	51,2
13	1310	51,1

CONTINÚA

14	1325	51,2
15	1340	51,1
16	1350	51,1
17	1360	51,2
18	1375	51,1
19	1390	51,2
20	1400	51,2

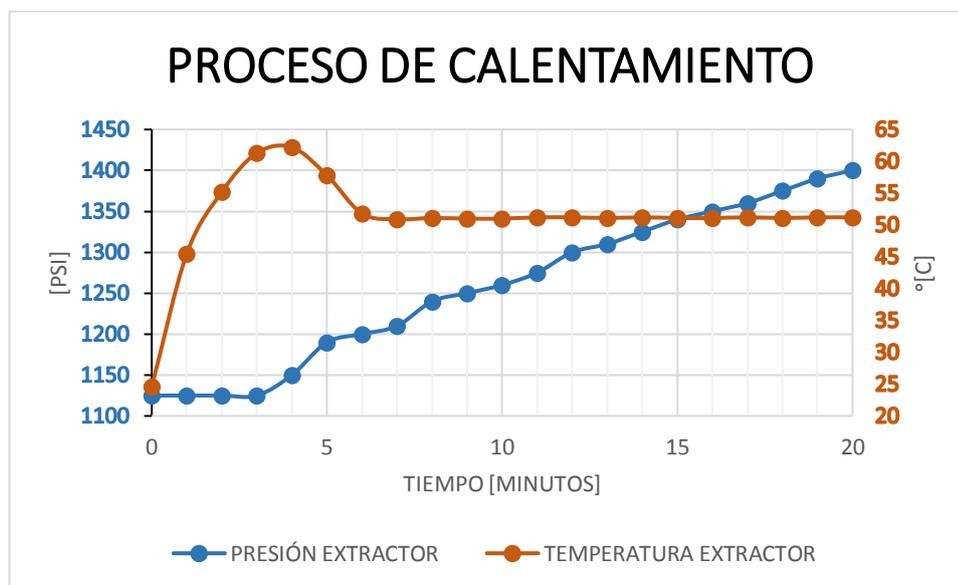


Figura 63 Grafica del Proceso de Calentamiento en la extracción Molle Prueba 1.

PRUEBA 2

Se realiza el segundo ciclo de extracción de la materia prima (Schinus molle), en la tabla 26 se registra el tiempo para alcanzar la condición de presión crítica de 1250 Psi. En el primer ciclo de extracción se obtienen 0.4 ml de esencia en bruto.

Tabla 25

Registro Gas Booster para Presión Crítica Molle Prueba 2

TIEMPO DE COMPRESIÓN BOOSTER			
TIEMPO [minutos]	FUENTE CO2		EXTRACTOR
	PRESIÓN [PSI]	PRESIÓN [PSI]	TEMPERATURA [°c]
0	650	650	60
1	650	900	60
2	650	1000	60

CONTINÚA 

3	650	1100	60
4	650	1200	60
5	650	1250	60

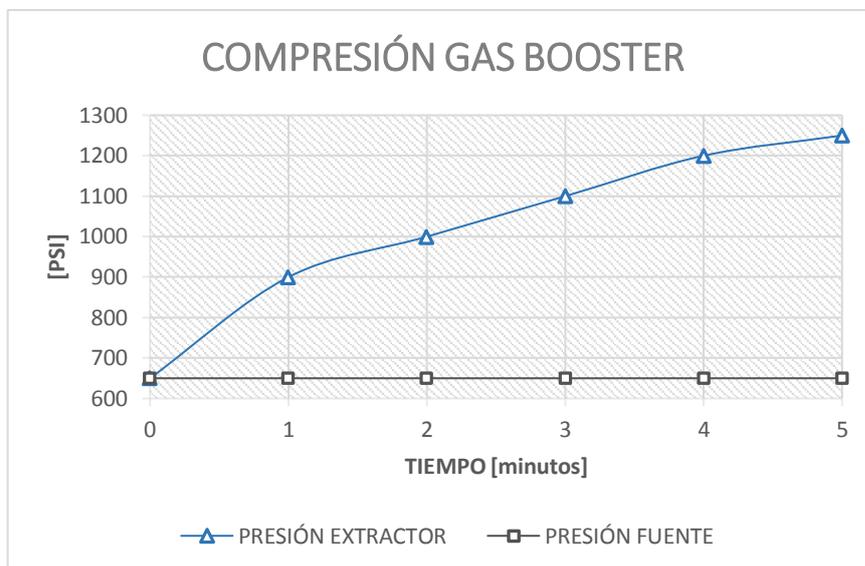


Figura 64 Curva de Operación de Bomba Gas Booster Molle Prueba 2.

Una vez establecida la presión crítica de 1125 Psi se procede a establecer la segunda condición que es la temperatura crítica, empezando desde la temperatura de 60 [°C] hasta una temperatura de 62 [°C], se observa en el registro de la tabla 27.

Tabla 26

Registro Extracción Paico Molle Prueba 2

TIEMPO DE CALENTAMIENTO		
TIEMPO [minutos]	EXTRACTOR	
	PRESIÓN [PSI]	TEMPERATURA [°c]
0	1250	60
1	1300	61,9
2	1300	62,4
3	1300	62,6
4	1300	61,5
5	1300	61,8
6	1325	62,4
7	1325	61,7
8	1325	63
9	1325	62,8
10	1325	61,8

CONTINÚA

11	1325	62,6
12	1350	61,6
13	1350	63,1
14	1350	61,7
15	1350	61,5
16	1350	63,1
17	1350	62,2
18	1350	61,8
19	1350	63
20	1350	62,1

En la gráfica 65 se observa el aumento de presión y temperatura en función del tiempo, en la segunda prueba de extracción se establece un periodo de 20 minutos, en el rango de 12 a 20 minutos se muestra un punto de equilibrio entre presión y temperatura. Se obtiene 0.05 ml de esencia.

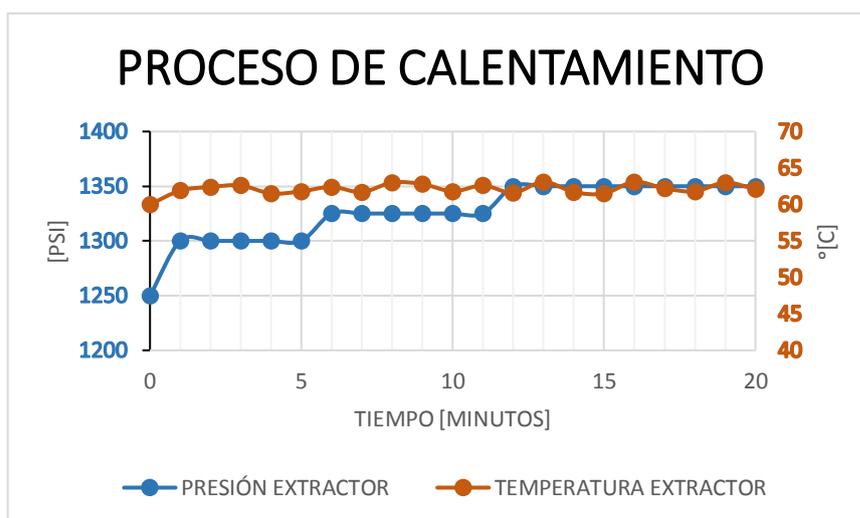


Figura 65 Grafica del Proceso de Calentamiento en la extracción Molle Prueba 2.

PRUEBA 3

Se realiza un ciclo de extracción de 20 gr de la materia prima (Schinus molle) fresca pues en la prueba 2 se obtuvo una muestra de esencia escasa, en la tabla 28 se registra el tiempo para alcanzar la condición de presión crítica de 1200 Psi.

Tabla 27

Registro Gas Booster para Presión Crítica Molle Prueba 3

TIEMPO DE COMPRESIÓN BOOSTER			
TIEMPO [minutos]	FUENTE	EXTRACTOR	
	CO2	PRESIÓN	TEMPERATURA
	[PSI]	[PSI]	[°C]
0	650	650	37
1	650	900	37
2	650	1000	37
3	650	1050	37
4	650	1150	37
5	650	1200	37

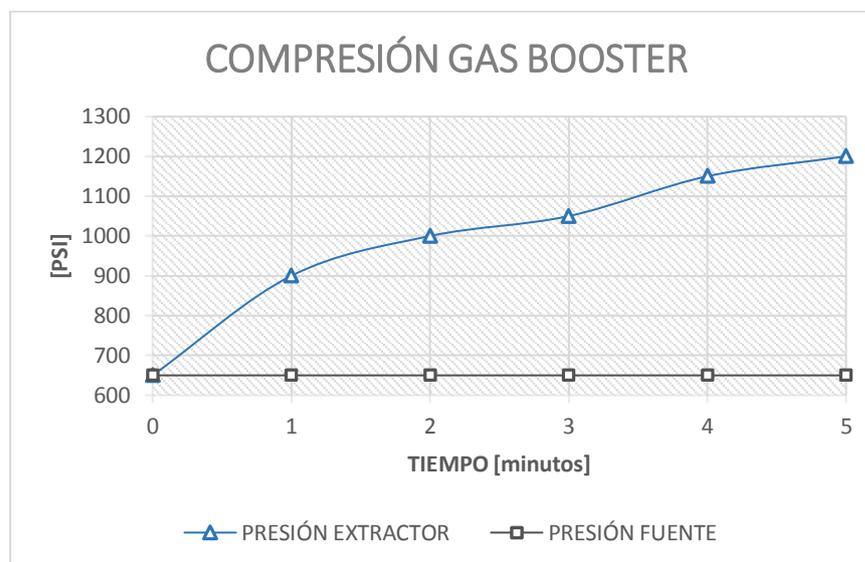


Figura 66 Curva de Operación de Bomba Gas Booster Molle Prueba 3.

Una vez establecida la presión crítica de 1200 Psi se procede a establecer la segunda condición que es la temperatura crítica, empezando desde la temperatura de 37 [°C] hasta una temperatura de 50 [°C], se observa en el registro de la tabla 29.

Tabla 28

Registro Extracción Paico Molle Prueba 3

TIEMPO DE CALENTAMIENTO		
TIEMPO [minutos]	EXTRACTOR	
	PRESIÓN [PSI]	TEMPERATURA [°C]
0	1200	37
1	1200	47,6
2	1200	51,2
3	1200	46,7
4	1200	46,2
5	1200	47,1
6	1200	47,9
7	1200	48,2
8	1200	48,6
9	1200	48,9
10	1225	49,1
11	1225	49,2
12	1225	49,7
13	1225	49,9
14	1225	49,8
15	1225	50
16	1225	50,2
17	1225	50,1
18	1250	50,5
19	1250	50,4
20	1250	50,4
21	1250	50,6
22	1250	50,7
23	1250	50,4
24	1250	50,6
25	1250	50,4

En la gráfica 67 se observa el aumento de presión y temperatura en función del tiempo, en la segunda prueba de extracción se establece un periodo de 25 minutos. En el rango de 18 a 25 minutos se muestra un equilibrio de presión y temperatura, se obtiene 0.3 ml de molle.

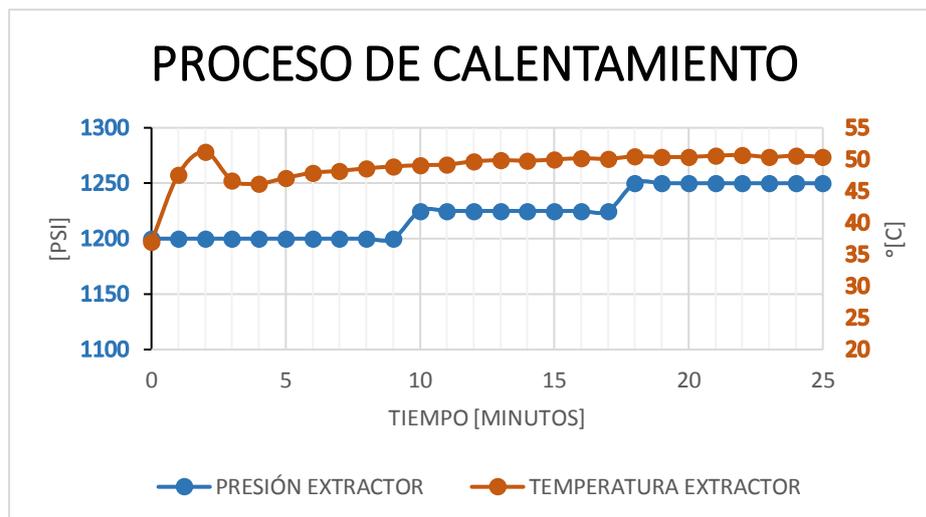


Figura 67 Grafica del Proceso de Calentamiento en la extracción Molle Prueba 3.

PRUEBA 4

Se realiza un ciclo de extracción de 20 gr la materia prima (Schinus molle) fresca, en la tabla 30 se registra el tiempo para alcanzar la condición de presión crítica de 1200 Psi.

Tabla 29

Registro Gas Booster para Presión Crítica Molle Prueba 4

TIEMPO DE COMPRESIÓN BOOSTER			
TIEMPO [minutos]	FUENTE	EXTRACTOR	
	CO2	PRESIÓN [PSI]	TEMPERATURA [°C]
0	650	650	35,1
1	650	900	35,1
2	650	1000	35,1
3	650	1100	35,1
4	650	1175	35,1
5	650	1200	35,1

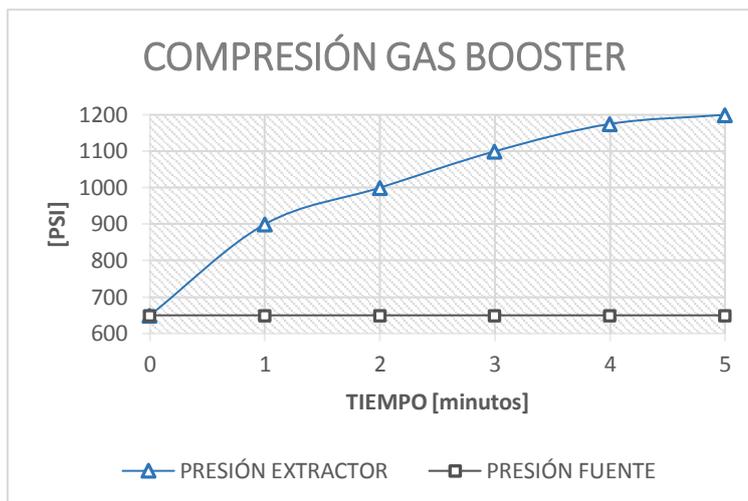


Figura 68 Curva de Operación de Bomba Gas Booster Molle Prueba 4.

Una vez establecida la presión crítica de 1200 Psi se procede a establecer la segunda condición que es la temperatura crítica, empezando desde la temperatura de 37 [°C] hasta una temperatura de 50 [°C], se observa en el registro de la tabla 31. Se establece un periodo de 35 minutos en el cual se obtiene 0.4 ml de molle.

Tabla 30

Registro Extracción Paico Molle Prueba 4

TIEMPO DE CALENTAMIENTO		
TIEMPO [minutos]	EXTRACTOR	
	PRESIÓN [PSI]	TEMPERATURA [°c]
0	1200	35,1
1	1200	35,8
2	1200	37,8
3	1200	39,5
4	1200	41,5
5	1200	42
6	1200	42,9
7	1200	43,5
8	1200	44,7
9	1200	45,2
10	1200	45,9
11	1200	46,2
12	1200	46,8
13	1200	47,6

CONTINÚA 

14	1200	47,8
15	1200	48,3
16	1200	48,8
17	1200	49,3
18	1200	49,2
19	1200	49,3
20	1200	49,5
21	1200	49,8
22	1220	50
23	1225	49,8
24	1225	49,9
25	1250	50,2
26	1250	50,3
27	1250	50,1
28	1250	50,1
29	1250	50,5
30	1250	50,5
31	1250	50,3
32	1250	50,4
33	1275	50,5
34	1275	50,6
35	1275	50,2

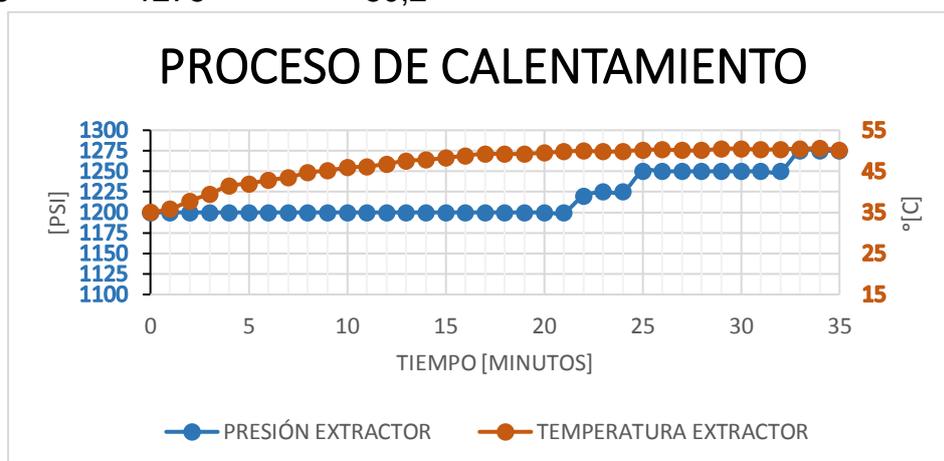


Figura 69 Grafica del Proceso de Calentamiento en la extracción Molle Prueba 4.

CAPÍTULO VI

6.1 Conclusiones

La extracción de esencias por CO₂ supercrítico obtiene esencias sin residuos de solventes y en menor tiempo de procesamiento por lo que resulta una muestra en bruto con mayor porcentaje de pureza que los métodos convencionales.

Se construyó un sistema de extracción y separación en donde debido a sus condiciones de operación son necesarios instrumentos que permitan definir el estado del sistema debido a que esta permitirá al operador tomar la decisión de apertura y cierre de las válvulas.

El cilindro de alta presión el cual cumple la función del extractor está diseñado de tal manera que permita el ingreso y salida de forma manual de la materia prima a extraerse, de tal manera el cilindro posee una tapa rosca que impide totalmente la filtración de cualquier sustancia interna hacia el exterior.

El diseño del separador fue establecido de tal manera que permita la separación de partículas tanto por golpeteo y por utilización de demister, el cual posee una brida que sella y hermetiza totalmente el fluido supercrítico dentro del contenedor.

Se utilizó mangueras recubiertas de alta presión tanto a la entrada, así como en la parte interna del sistema ya que son capaces de soportar presiones de hasta 5000 psi para aire, gas o líquido.

Se concluye que la extracción por fluido supercrítico es un proceso de alta inversión inicial, pero con bajo costo de operación por la facilidad con la que se pueden controlar sus condiciones de operación.

Se construyó una cámara portadora de materia prima, el cual permite el fácil contacto del fluido supercrítico con la planta a extraer y del mismo modo impide que se alguna fracción de la materia prima fluya a través de los conductos durante el proceso.

Las resistencias eléctricas instaladas en el separador diluyen partículas de esencia en proceso de solidificación en el instante en que el fluido supercrítico es despresurizado dentro del separador, de esta manera partículas líquidas se suman al extracto obtenido.

Cada materia prima a extraerse su esencia reacciona de manera distinta a sus condiciones de operación, en donde mediante métodos experimentales se ha llegado a las condiciones específicas tanto en temperatura, presión y tiempo para la extracción óptima de cada planta.

Se diseñó una planta piloto capaz de alcanzar 2000 Psi y 80 °C, para esto se definió mediante ingeniería las ecuaciones necesarias para el diseño de recipientes de presión siguiendo la norma ASME sección VIII división I, y para el diseño del separador bifásico.

De los equipos seleccionados para la planta piloto el elemento más representativo económicamente es la bomba Gas Booster para el aumento de presión de CO₂, representa un 50% del precio total estimado para la construcción de la planta piloto.

La inversión total para la construcción de la planta piloto es de \$ 4000 + IVA, que complementa los gastos de ingeniería, material (Acero 304) y fabricación de recipientes, comprar instrumentos de medida y el montaje mecánico de la planta piloto.

Se extrajo esencia de menta, paico, molle, romero, cedrón, en muestras de 1 ml cada uno, tomaron un olor peculiar y del mismo modo una pigmentación perteneciente a cada planta, dando a concluir que la planta prototipo funciona bajo sus fundamentos.

6.2 Recomendaciones

Evaluar y automatizar la planta piloto para mejorar su operación, para esto se debe sustituir las válvulas tipo bola de manipulación manual identificadas en el diagrama P&ID por válvulas de control automático.

Utilizar elementos hechos en Acero 304 o 316 en los recipientes de presión, separación, nepsos, codos para aplicación en extracción de esencias y no exista la mezcla de partículas de metales con la esencia.

Realizar un análisis de costos para una implementación a nivel industrial para saber el tiempo en el que se recuperara la inversión en extracción con fluido supercrítico ante la instalación de un método convencional de costo inicial bajo pero que presenta procesos adicionales.

Realizar un rediseño de la planta piloto de extracción en un sistema cerrado de reutilización del CO₂ despresurizado en la etapa de separación para aumentar la eficiencia de la máquina.

Analizar el tipo de cierre del separador bifásico, ya que el cierre por brida roscada reduce la presión de retención, en comparación de otros métodos como el cierre por tornillo. El actual método presenta fallas al sobrepasar la presión de diseño.

Analizar el método para preservar la muestra de esencia obtenida por fluido supercrítico, pues la muestra tiende a presentar un estado de fermentación a medida que pasa en un estado ambiente.

Decantar las muestras extraídas durante el proceso hacia una centrifugadora, para así obtener una esencia totalmente soluble y libre de pigmentación por parte de la planta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aiteco. (2013). *Despliegue de la función de la calidad*. Recuperado el 10 de 09 de 2016, de <http://www.aiteco.com/qfd-despliegue-de-la-funcion-de-calidad/>
- Benito, O. (2010). Manual de Cálculos. *ESAACLE*, 46-55. Recuperado el 30 de 01 de 2016
- Bruzos, T. (03 de 2004). *Extracción con solvente*. Recuperado el 21 de 11 de 2015, de <http://www.sabelotodo.org/quimica/extraccion.html>
- Calle, J. J. (2013). *Diseño de una planta piloto de extracción de Oleorresina de Páprika usando CO2 como Fluido Supercrítico*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Recuperado el 10 de 12 de 2015
- Camsco. (25 de 07 de 2014). Recuperado el 22 de 08 de 2016, de <http://www.camsco.com.tw/phase-voltage-protection-relay/P226.html>
- Casali, G. (09 de Febrero de 2014). *Taringa*. Recuperado el 02 de 09 de 2016, de <http://www.taringa.net/post/info/5800372/Funcionamiento-del-rele.html>
- Castaños, E. (19 de 08 de 2015). *Extracción con fluidos supercríticos*. Recuperado el 21 de 11 de 2015, de <https://lidiakonlaquimica.wordpress.com/tag/extraccion-con-fluidos-supercriticos/>
- Esperanza. (29 de 04 de 2012). *Destilación*. Recuperado el 21 de 11 de 2015, de <https://esperanza96.wordpress.com/2012/04/>
- Gaudici, J. M.-J.-A. (2015). RECIPIENTES DE PRESIÓN. *Compendio de Cálculo Estructural II*, 371-372. Recuperado el 02 de 01 de 2016
- Haskel. (08 de 05 de 2014). Recuperado el 10 de 02 de 2016, de <http://www.haskel-es.com/booster.htm>

HASKEL. (19 de 05 de 2014). Recuperado el 08 de 06 de 2016, de http://www.haskel-es.com/Amplificadores_completo.htm

Ibestchina. (19 de 06 de 2014). Recuperado el 05 de 09 de 2016, de <http://www.ibestchina.com/english/ViewProduct.asp?ID=190>

Kenneth Rubinson, J. R. (2001). *Análisis Intrumental*. Madrid: Pearson Education S.A. Recuperado el 12 de 03 de 2016

Luque de Castro, M. D. (1993). Extracción con fluidos supercríticos en el proceso analítico. Barcelona: Editorial Reverte S:A. Recuperado el 15 de 03 de 2016

Martínez, A. d. (2004). *Termotecnia básica para ingenieros químicos: Bases de Termodinámica Aplicada*. Cuenca: Universidad de Castilla La Mancha. Recuperado el 02 de 12 de 2015

OMEGA. (04 de 11 de 2015). Recuperado el 09 de 09 de 2016, de <http://es.omega.com/prodinfo/controladores-de-temperatura.html>

Ovejero, J. L. (2003). Procesos con Fluidos Supercríticos . *Real Sociedad Española De Química* , 15.

Parzanese, I. L.-T. (s.f.). *Alimentosargentinos.gob.ar*. Recuperado el 21 de 11 de 2015, de http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/sectores/tecnologia/Ficha_01_Fluidos.pdf

Pixsys. (30 de Enero de 2016). Recuperado el 02 de 09 de 2016, de http://www.pixsys.net/uploads/big_Dimensioni_e_installazione_termocoppia_tipo_J_con_occhiello.jpg

Proyectos Piping. (2 de Junio de 2015). Recuperado el 02 de 01 de 2016, de <http://proyectopiping.blogspot.com.ar/2015/06/introduccion-al-codigo-asme-seccion.html>

Server-die. (09 de Mayo de 2016). Recuperado el 02 de 09 de 2016, de http://server-die.alc.upv.es/asignaturas/LSED/2003-04/0.Sens_Temp/Clasify/Termocuplas.htm

Silvia Torrico, D. N. (2014). Obtención de esencias de fruta cítrica mediante la utilización de técnicas caseras. *Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca*, 140-141. Recuperado el 03 de 11 de 2015

Weigand, J. (19 de Noviembre de 2014). *Star Fluids*. Recuperado el 10 de 12 de 2015, de <http://www.starfluids.com/blog-starfluids/21-star-fluids-intercambiadores-de-calor-de-placas>

ANEXOS



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE ING. ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el siguiente trabajo fue desarrollado por los Señores: **ALEX FERNANDO RONQUILLO MORETA** y **JOHN JAVIER YUGCHA ALOMALIZA**, bajo nuestra supervisión.

Latacunga, 10 de octubre de 2016

Aprobado por:

Ing. Washington Freire

Director del Proyecto

Ing. Katya Torres

Director de Carrera

Dr. Rodrigo Vaca Corrales

Secretario Académico