

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SEPARADOR TRIFLUIDICO E
IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA PARA SU MEDICION EN EL
LABORATORIO DE RECOBRO MEJORADO DEL INSTITUTO
COLOMBIANO DEL PETROLEO. (I.C.P.)**

CARLOS HUMBERTO DUARTE PRADA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2006

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SEPARADOR TRIFLUIDICO E
IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA PARA SU MEDICION EN EL
LABORATORIO DE RECOBRO MEJORADO DEL INSTITUTO
COLOMBIANO DEL PETROLEO. (I.C.P.)**

CARLOS HUMBERTO DUARTE PRADA

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

Director

ISNARDO GONZÁLEZ

Ingeniero Mecánico

Codirector

VIRGILIO VEGA

Ingeniero de Petróleos

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2006

*A mis padres, Crisanto y Delia, gracias por su fe, dedicación y apoyo. Esto es por y
para ustedes.*

*A mi hermano Cesar y su familia, por sus enseñanzas, apoyo incondicional y
confianza.*

A mi futura esposa.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su agradecimiento a:

La **UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**, por educar personas integrales.

La **ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**, por los conocimientos brindados a lo largo de mi formación.

Al profesor, **ISNARDO GONZALEZ**, Ingeniero Mecánico, director de este proyecto, por ser un guía, un amigo, un maestro.

A **VIRGILIO VEGA**, Ingeniero de Petróleos, codirector de este proyecto, por la colaboración para la realización de este proyecto y aportes a la formación profesional.

Al personal del **INSTITUTO COLOMBIANO DEL PETRÓLEO (I.C.P.)** que contribuyeron con este logro, con aportes de enseñanza, confianza y amistad.

Al personal del taller **INDUMOR'S**, por facilitarme las cosas para la realización del proyecto.

A los compañeros y amigos.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION.....	20
1. GENERALIDADES SOBRE METODOS DE RECOBRO MEJORADO... 22	
1.1 RECOBRO PRIMARIO	23
1.1.2 Empuje por gas disuelto.....	24
1.1.3 Empuje por capa de gas.....	24
1.1.4 Empuje hidrostático.....	24
1.2 RECOBRO SECUNDARIO.....	25
1.2.1 Inyección de agua.....	25
1.2.2 Inyección de gas.....	28
1.3 RECOBRO Terciario.....	26
1.3.1 Procesos térmicos.....	28
1.3.2 Recobro Miscible.....	34
1.3.3 Recobro químico.....	38
1.4 GENERALIDADES DE LOS PROCEDIMIENTOS REALIZADOS EN EL LABORATORIO DE RECOBRO MEJORADO DEL INSTITUTO COLOMBIANO DEL PETROLEO (I.C.P.).....	41
1.4.1 Adecuación y preparación para la prueba.....	41
1.4.2 Prueba de recobro mejorado en el laboratorio de recobro mejorado en el instituto Colombiano del petróleo.....	43

2. DISEÑO DEL SEPARADOR TRIFLUIDICO.....	47
2.1 PROPIEDADES QUÍMICAS Y FÍSICAS DE LOS FLUIDOS SEPARADOS	47
.....	
2.1.1 Densidad.....	48
2.1.2 Peso específico.....	48
2.1.3 Tensión superficial.....	48
2.1.4 Capilaridad.....	52
2.2 DISEÑO DEL SEPARADOR TRIFLUIDICO.....	56
2.2.1 Forma del recipiente.....	56
2.2.2 Hidrostática del separador.....	58
2.2.3 Calculo de la geometría del separador.	58
3. DISEÑO DEL CONJUNTO ESTRUCTURAL	62
3.1 DESCRIPCION DE LAS PIEZAS DEL CONJUNTO ESTRUCTURAL ...	62
3.1.1 Bastidor.....	62
3.1.2 Soporte superior del separador.....	64
3.1.3 Soporte inferior.	65
3.1.4 Sistema de nivelación.....	66
3.1.5 Platina porta sensores.....	66
3.1.6 Guías	67
3.1.7 Tornillo elevador.	68
3.2 CONSTRUCCION DEL EQUIPO ESTRUCTURAL.....	68
3.2.1 Construcción del bastidor.....	68
3.2.2 Soporte superior del separador.....	70

3.2.3 Soporte inferior.....	70
3.2.4 Sistema de nivelacion.....	71
3.2.5 Platina porta sensores.....	72
3.3 MONTAJE DEL EQUIPO ESTRUCTURAL	73
4. DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL SISTEMA MEDIDOR DE VOLUMENES	77
4.1 ARQUITECTURA GENERAL DEL SISTEMA.....	77
4.1.1 Controlador.....	78
4.1.2 Adquisición de datos y comunicaciones.....	81
4.1.3 Sensórica Básica.....	84
4.2 SOFTWARE FACTORY FLOOR.....	92
4.2.1 Opto Control.....	92
4.2.2 Opto Display.....	96
4.2.3 Opto Server.....	98
4.2.4 Opto Connect.....	99
4.3 IMPLEMENTACION DEL SISTEMA	101
4.3.1 Power Up.....	106
4.3.2 Comunicaciones Nodo Remoto 2.....	107
4.3.3 Conversiones Nodo Remoto 2.....	108
4.3.4 Interfaz Grafica.....	109
5. PRUEBAS	110

5.1 PRUEBAS DE SEPARACION.....	111
5.2 PRUEBAS DEL SISTEMA MEDIDOR DE VOLUMENES.....	112
5.2.1 Agregando Crudo.....	113
5.2.2 Drenando Agua.....	114
5.2.3 Agregando Agua.....	114
5.3 LONGITUD DE LOS NUCEOS.....	115
6. CONCLUSIONES.....	116
BIBLIOGRAFIA.....	119
ANEXOS.....	120

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Representación esquemática de los tipos de recobro que se tiene para un campo de crudo.	22
Figura 2. Esquema de los tipos de recobro del crudo.....	28
Figura 3. Representación esquemática de la inyección de vapor en un campo de crudo.	31
Figura 4. Representación teórica de las zonas presentes en la combustión in-situ.	33
Figura 5. Esquema general para el recobro por desplazamiento miscible...	36
Figura 6. Esquema general de la inyección cíclica de dióxido de carbono...	38
Figura 7. Esquema general de las zonas teóricas presentadas para la recuperación de crudo aplicando recobro químico.....	39
Figura 8. Equipo Coreflooding del laboratorio de recobro mejorado del Instituto Colombiano del Petróleo. (I.C.P.).....	42
Figura 9. Probeta de roca y manga a instalar en el equipo coreflooding.....	45
Figura 10. Forma anterior de medir los volúmenes.....	46
Figura 11. Fuerzas interna en (a) una gotita y (b) una burbuja.....	50
Figura 12. Fluidos no miscibles en contacto.....	51
Figura 13. Capilaridad en los tubos: izquierda, mercurio en un tubo de vidrio; derecha, agua en un tubo de vidrio.....	53
Figura 14. Equilibrio bajo tensión superficial.....	54
Figura 15. Recipiente separador en conjunto.....	57
Figura 16. Geometría del recipiente.....	58
Figura 17. Hidrostática del separador.....	59

Figura 18. Fuerzas ejercidas en el recipiente.....	60
Figura 19. Conjunto del bastidor.....	64
Figura 20. Soporte superior del separador.	65
Figura 21. Conjunto del soporte inferior.	65
Figura 22. Elementos del sistema de nivelación del conjunto.	66
Figura 23. Platina porta-sensores.	67
Figura 24. Guías.....	67
Figura 25. Vista frontal del bastidor.....	69
Figura 26. Construcción del conjunto del soporte superior.	70
Figura 27. Construcción del conjunto del soporte inferior.	70
Figura 28. Tornillo y tuerca del sistema nivelador.	71
Figura 29. Soporte cónico del sistema de nivelación.	71
Figura 30. Conjunto de la platina porta sensores.	72
Figura 31. Conjunto del bastidor con soportes.....	73
Figura 32. Montaje físico general.	74
Figura 33. Arquitectura General del sistema medidor de volumen.....	77
Figura 34. Controlador SNAP-LCSX (Arriba) y el SNAP LCSX-PLUS(abajo) de opto 22.....	80
Figura 35. SNAP B3000 de opto 22.....	81
Figura 36. Módulos de entrada/salida.....	83
Figura 37. Rack Standard con módulos I/O soportados en el riel DIN.....	83
Figura 38. Motor paso a paso Epson EM 258.....	87
Figura 39. Esquema de funcionamiento de un sensor óptico.....	90
Figura 40. Sensor óptico láser.	91
Figura 41. Sensor óptico de barrera.	92
Figura 42. Ejemplo de opto 22 como control y supervisor de procesos industriales.	94
Figura 43. Escritura de las instrucciones de un bloque.	96

Figura 44. Ventana de opto control con diagrama de bloques, árbol de la estrategia y herramientas.	97
Figura 45. Ventana de opto Display.....	99
Figura 46. Entorno del configurador de Opto Server.....	100
Figura 47. Ambiente típico de Opto Connect.....	100
Figura 48. No interrupción y interrupción del haz de luz del sensor óptico.	102
Figura 49. Tarjeta esclava para el control de los motores paso a paso.....	103
Figura 50. Tarjeta maestra multifuncional.....	104
Figura 51. Carta power Up de la estrategia.	106
Figura 52. Carta de comunicaciones nodo remoto 2.	107
Figura 53. Interfaz del separador trifluídico.	108
Figura 54. Interfaz para el control de los niveles.	109

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Valores para el cálculo de la altura del crudo en el recipiente.....	55
Tabla 2. Cargas actuantes en el punto critico del recipiente separador.....	61
Tabla 3. Esfuerzos en el punto critico del recipiente separador.	61
Tabla 4. Datos teóricos para las pruebas.....	111
Tabla 5. Comportamiento del sistema agregando crudo.	112
Tabla 6. Comportamiento del sistema drenando agua.	113
Tabla 7. Comportamiento del sistema agregando agua.	114
Tabla 8. Volumen poroso de lo núcleos según su longitud.....	115

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Planos.....	119
Anexo B. Diagrama de la tarjeta que controla los motores paso a paso.	151
Anexo C. Tornillos	152

GLOSARIO

ACANALAMIENTO: fenómeno que se presenta cuando un fluido viscoso, es desplazado por uno menos viscoso y el avance del frente deja de ser uniforme y el fluido desplazante avanza mas rápidamente.

ALGORITMO: es un conjunto finito de instrucciones o pasos que sirven para ejecutar una tarea o resolver un problema.

ARBOL DE NAVIDAD: conjunto de válvulas sobre la boca del pozo, que sirve para controlar la extracción del petróleo.

BANCO DE PETROLEO: es la región o zona de petróleo que se forma delante del frente de invasión, en un proceso de desplazamiento inmisible.

CAPILARIDAD: elevación o depresión de la superficie de un líquido en la zona de contacto con un sólido, por ejemplo, en las paredes de un tubo.

COMPLETAMIENTO DE POZOS: operación que consiste en determinar la capacidad productora o inyectora de un pozo, recién perforado.

CONTROL: es la manipulación indirecta de las magnitudes de un sistema denominado planta a través de otro sistema llamado sistema de control.

COREFLOODING: Equipo utilizado para las pruebas de recobro mejorado en el laboratorio del instituto colombiano del petróleo.

CRAQUEO: proceso químico por el cual un compuesto químico, normalmente orgánico, se descompone o fracciona en compuestos más simples.

CRUDO SATURADO: crudo que cuando variamos ligeramente la presión libera gas a temperatura constante.

ESTRATIFICACION GEOLOGICA: es la sucesión de estratos o capas, desde el más antiguo al más moderno, o mas cercano a mas lejano. Se considera un estrato aquella franja de tierra del mismo color y textura.

FACTORY FLOOR: software de la casa fabricante opto 22, el cual se puede integrar con hardware para el control y supervisión de procesos.

INTERFAZ: es la parte del programa informático que permite el flujo de información entre varias aplicaciones o entre el propio programa y el usuario.

LED: (diodo emisor de luz), semiconductor que genera luz monocromática cuando la corriente fluye en la dirección conductiva.

MEDIO POROSO: material sólido que dispone en su parte interna de cavidades las cuales pueden ser ocupadas por fluidos.

MISCIBILIDAD: propiedad de fluidos para mezclarse o no con otros fluidos.

MODBUS: es un protocolo de comunicaciones estándar para la industria, comúnmente usados para conectar casi cualquier dispositivo electrónico industrial, que permite grandes ahorros en costes del cableado.

MOJABILIDAD: termino general usado para expresar el grado en que las superficies de los granos de una roca (arena) entran en contacto con un líquido determinado.

PERMEABILIDAD: capacidad de un material para permitir que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna.

POZO: agujero perforado en la roca desde la superficie de un yacimiento a efecto de explorar o para extraer aceite o gas.

PROTOCOLO DE COMUNICACION: conjunto de reglas que controlan la secuencia de mensajes que ocurren durante una comunicación entre entidades que forman una red.

RECOBRO: recuperación de hidrocarburos de un yacimiento.

RS 232: (EIA RS-232C) es un interfaz que designa una norma para el intercambio serie de datos binarios entre un equipo terminal de datos y un equipo de terminación del circuito de datos, El RS-232 consiste en un conector tipo de 25 pines, aunque es normal encontrar la versión de 9 pines.

RS 422: es un interfaz o sistema de comunicación serie que consiste en 4 hilos. Cuando solo se usan 2 hilos en una línea duplex se denomina EIA-485 o RS-485.

SISTEMA SUPERVISOR: cualquier colección o combinación de programas, procedimientos, datos y equipamiento utilizado en el procesamiento de información para supervisar un proceso.

PROFIBUS: (Process Field Bus) es un popular estándar de bus de campo, se trata de una red abierta, estándar e independiente de cualquier fabricante.

YACIMIENTO: porción de una falla estructural, donde se encuentra petróleo y/o gas como un solo sistema hidráulico.

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO Y COSNTRUCCION DE UN SEPARADOR TRIFLUIDICO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA SU MEDICIÓN EN EL LABORATORIO DE RECOBRO MEJORADO DEL INSTITUTO COLOMBIANO DEL PETRÓLEO (I.C.P.).*

AUTOR: Carlos H. Duarte Prada, Ing. Mecánico.**

PALABRAS CLAVES: Recobro Mejorado, separador trifluídico, estrategia,

DESCRIPCION:

El desarrollo de los proyectos de recobro mejorado del petróleo se han convertido en un medio efectivo para aumentar las reservas recuperables existentes de crudo en los pozos en donde ya se han aplicado la extracción primaria y secundaria. Debido a las diferentes propiedades de cada yacimiento de crudo se hace indispensable obtener la información necesaria para evaluar la aplicación de un método en particular, a través del escalamiento del pozo en un laboratorio.

La necesidad de disponer de información confiable y precisa de fácil acceso al ingeniero encargado de la prueba de recobro, origino este proyecto, para que en momentos determinados se pueda conocer el comportamiento del desplazamiento. Al diseñar y construir un separador trifluídico se consigue separar efectivamente los fluidos, además de permitir implementar la estrategia para medir su volumen utilizando sensores, motores paso a paso y el software factory floor de opto 22.

Finalmente los resultados, las pruebas y el análisis demostraron que el diseño, la construcción del separador y la estrategia implementada para medir los volúmenes ofrecen información de alta confiabilidad.

* Trabajo de Grado Modalidad Investigativa.

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Director del Proyecto Ing. Isnardo González, Codirector Ing. Virgilio Vega..

SUMMARY

TITLE: DESIGN AND CONSTRUCTION OF A SEPARATOR TRIFLUIDIC AND IMPLEMENTATION OF A SYSTEM FOR THEIR MEASUREMENT IN THE IMPROVED RECOVERY LABORATORY THE COLOMBIAN INSTITUTE OF THE PETROLEUM (I.C.P.). *

AUTHOR: Carlos H. Duarte Prada, Mechanical Engineer. **

KEY WORDS: Improved recovery, trifluidic separator, strategy,

DESCRIPTION: The development of the petroleum improved recovery projects has become an effective means to increase the existent recoverable reservations of oil in the wells where primary and secondary extraction have already been applied. Due to the different properties of each location of oil, it's indispensable to obtain the necessary information to evaluate the application of a method in particular, through the scaling of the well in a laboratory.

The necessity to have reliable and precise information of easy access to the engineer in charge of the recovery test, originated this project, so that in certain moments one can know the behavior of the displacement. When designing and building a trifluidic separator, it is possible to separate the fluids effectively, besides allowing to implement the strategy to measure their volume using sensors, step to step motors and engines the factory floor software from opto 22.

Finally, the results, the tests and the analysis demonstrated that the design, and the construction of the separator and the strategy implemented to measure the volumes offer highly reliable information.

* Investigative Modality Work of Degree.

** Faculty of Physical-mechanical Engineerings, School of Mechanical Engineering, Director of the Project: Engineer Isnardo González, Co-director Engineer Virgilio Vega..

INTRODUCCION

El proceso de recobro terciario o recobro mejorado de petróleo, es un medio eficaz para aumentar las reservas de crudo, recuperables existentes en los yacimientos. Los yacimientos de crudo poseen de manera intrínseca propiedades físicas y químicas, únicas que los diferencia con otros yacimientos, esto hace necesario una investigación previa acerca del comportamiento del yacimiento frente a los diferentes métodos existentes de recobro mejorado.

El Instituto Colombiano del petróleo (I.C.P.) realiza diversas investigaciones en este campo, es allí donde surge la necesidad de diseñar y construir un separador de gas, agua y crudo e implementar un sistema para medir los volúmenes separados.

El presente proyecto establece el concepto y desarrolla un equipo, para la separación de los fluidos y la medición de sus volúmenes, utilizando dispositivos electrónicos que ofrecen mayor confianza en la información, con respecto a los métodos aplicados en la actualidad.

El primer capítulo se destina a dar a conocer las generalidades del recobro, sus diversas etapas, métodos y una estructuración de la forma como se realiza un prueba en el laboratorio de recobro mejorado del (I.C.P.). Los métodos mencionados son aplicados en el laboratorio para simular a escala el comportamiento del yacimiento frente a los diferentes fluidos desplazados, la escogencia del método adecuado se hace de acuerdo a criterios tanto técnicos como económicos, pero en el laboratorio de recobro mejorado las pruebas se llevan a cabo con el propósito de seleccionar el método

adecuado teniendo en cuenta solo criterios técnicos ya que los criterios económicos le corresponden a otras instancias.

El segundo capítulo recopila la información de la forma como se diseñó el separador, se definen los parámetros y algunas propiedades a tener en cuenta en el momento de separar los fluidos o que de alguna manera pueden tener relevancia en el momento de medir su volumen.

En el tercer capítulo se puede acceder a la información, de cómo fue la construcción del conjunto estructural que soporta el recipiente separador trifluídico, los conjuntos y sistemas implementados y su montaje final en el laboratorio de recobro mejorado para la posterior implementación de la estrategia para medir el volumen separado, utilizando diversos sensores y dispositivos que en asociación con el control ofrecen una información precisa y confiable. La manera como se trazó la estrategia y la implementación de esta se describe en el capítulo cuatro.

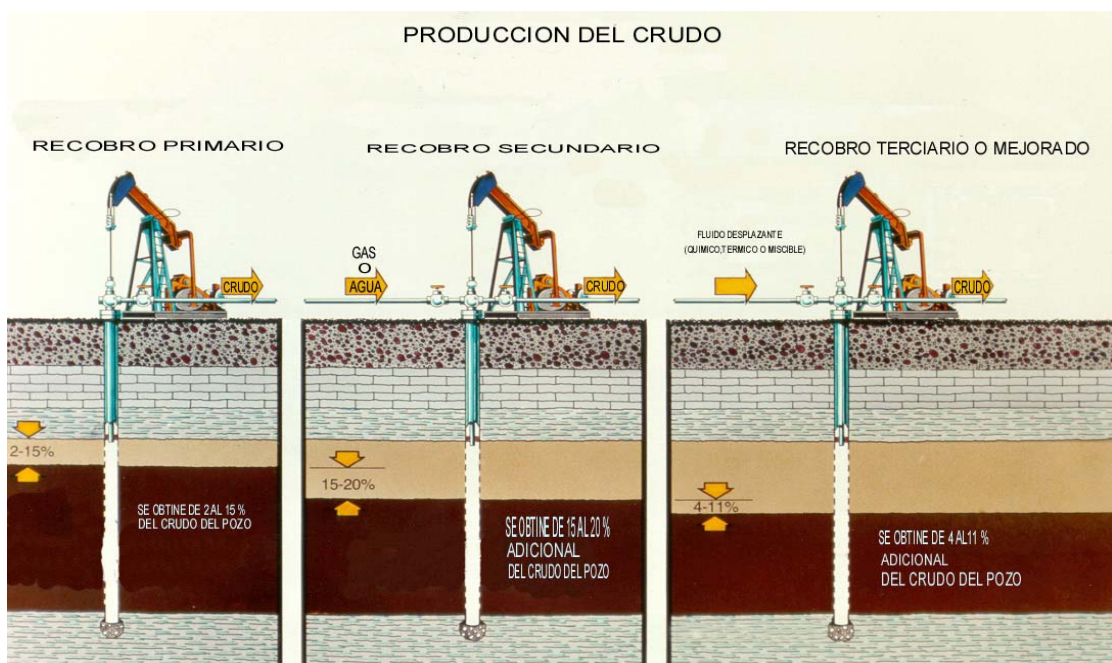
Las pruebas, los resultados y las conclusiones muestran una mejora sustancial respecto al tiempo de los procedimientos y una mayor confianza en las lecturas de los volúmenes respecto a los métodos actuales.

1. GENERALIDADES SOBRE METODOS DE RECOBRO MEJORADO

El objetivo principal de la explotación de un yacimiento de crudo es el recobro en si mismo, el cual se realiza en varias etapas, cada una diferenciada de las otras y con unos porcentajes de recuperación variados como consecuencia de la aplicación de las diversas técnicas y el uso de ciertas tecnologías existentes.

El recobro se puede dividir en tres grandes etapas, que se pueden observar en la figura 1, junto con los posibles porcentajes de recuperación en cada una de ellas.

Figura 1. Representación esquemática de los tipos de recobro que se tiene para un campo de crudo.



Fuente: LINDLEY, R. Joe. Oil production. Disponible en: www.netl.doe.gov

1.1 RECOBRO PRIMARIO¹

La mayoría de los pozos petrolíferos se perforan con el método rotatorio. En este método, una torre sostiene la cadena de perforación, formada por una serie de tubos acoplados. La cadena se hace girar uniéndola al banco giratorio situado en el suelo de la torre. La broca de perforación situada al final de la cadena suele estar formada por tres ruedas cónicas con dientes de acero endurecido. Luego de haber realizado el completamiento, el pozo está en condiciones de producir. En este momento puede ocurrir que el pozo sea puesto en funcionamiento por flujo natural, lo que ocurre en la mayoría de los casos. Dependiendo de diversas circunstancias tales como la profundidad del yacimiento, la presión inicial, la permeabilidad, etc... el fluido llegará a la superficie con caudales satisfactorios o no desde un punto de vista meramente económico.

El petróleo posee una propiedad física que lo caracteriza y es su baja densidad, lo cual le da el comportamiento de flotabilidad y en un pozo se encuentra sometido a altas presiones, esto hace que trate de salir a la superficie de la tierra, pero es detenido por las rocas que lo atrapan junto con el gas disuelto en él. Si la presión es suficiente, el pozo producirá crudo sin necesidad de aplicar energía externa, hasta un punto en el que la energía decrece y el pozo deja de producir a lo que se le conoce como pozo muerto. Para proseguir con la extracción se procede a la utilización de métodos de levantamiento artificial, los cuales consisten en tecnologías que impulsan el fluido desde el fondo del pozo hasta la superficie.

¹ AZCONA, Juan. P. Reservas de petróleo y gas. Disponible en: www.monografias.doc

Los yacimientos cuentan con tres tipos principales de “empuje natural”, ó energía para hacer aflorar a la superficie a los fluidos contenidos en el pozo, a saber:

1.1.2 Empuje por gas disuelto. La mayor parte del petróleo contiene una cantidad significativa de gas natural en disolución, que se mantiene disuelto debido a las altas presiones del depósito. Cuando el petróleo pasa a la zona de baja presión del pozo, el gas deja de estar disuelto y empieza a expandirse. Esta expansión, junto con la dilución de la columna de petróleo por el gas, menos denso, hace que el petróleo aflore a la superficie.

1.1.3 Empuje por capa de gas. Se presenta cuando la zona de capa de gas acumulado sobre la zona de crudo e inmediatamente debajo del tope de la estructura genera un empuje sobre el crudo en dirección de otros pozos cercanos.

1.1.4 Empuje hidrostático. El yacimiento posee un acuífero asociado, el cual puede ser activo o parcialmente activo, por estar sometido a altas presiones, junto a la presión que ejerce la columna de agua sobre los fluidos del pozo se convierte en la fuerza de empuje mas eficiente para provocar la producción de crudo del yacimiento.

El mecanismo de flujo natural es el más económico, ya que la energía es aportada por el mismo yacimiento. Los controles de la producción se realizan en la superficie por medio del elemento llamado “árbol de navidad”, compuesto por una serie de válvulas que permiten abrir y cerrar el pozo a voluntad.

1.2 RECOBRO SECUNDARIO

El recobro secundario exige adicionar una energía al yacimiento, utilizando diversos métodos. Con estos métodos se ha aumentado la recuperación de crudo hasta alcanzar una media global del 40% del petróleo presente. En la actualidad se emplean dos sistemas complementarios: la inyección de agua y la inyección de gas.

1.2.1 Inyección de agua. En un campo petrolífero explotado en su totalidad, los pozos se pueden perforar a una distancia de entre 50 y 500 m, según la naturaleza del yacimiento. Si se bombea agua en uno de cada dos pozos, puede mantenerse o incluso incrementarse la presión del yacimiento en su conjunto. Con ello también se puede aumentar el ritmo de producción de crudo; además, el agua desplaza físicamente al petróleo, por lo que aumenta la eficiencia de recuperación. En algunos depósitos con un alto grado de uniformidad y un bajo contenido en arcilla o barro, la inundación con agua puede aumentar la eficiencia de recuperación hasta alcanzar el 60% o más del petróleo existente.

1.2.2 Inyección de gas. La inyección de gas ha sido un procedimiento exitoso desde la década de los 30, el gas más utilizado es el CO₂, y para muchos países la aplicación de esta técnica se encuentra limitada a la producción de dicho gas. Hay dos mecanismos de inyección de gas, desplazamiento miscible que involucra la inyección de un solvente (CO₂, gas hidrocarburo o nitrógeno) miscible con el petróleo cambiándole las propiedades al fluido de yacimiento permitiendo un mejor barrido; el otro es el desplazamiento inmisible, no se crea zona miscible entre el fluido inyectado y el desplazado.

1.3 RECOBRO TERCIARIO¹

Los yacimientos que tiene hidrocarburos pesados y viscosos son muy difíciles de explotar ya sea porque su energía primera es insuficiente, o bien porque los métodos convencionales de recuperación secundaria resultan deficientes, debido a que las relaciones de movilidad son altamente desfavorables en el proceso de desplazamiento.

Las distintas experiencias realizadas con los sistemas de recuperación convencional, han permitido puntualizar los problemas relacionados con la recuperación de petróleo: Barridos incompletos de yacimiento, por bloqueos, trampas, canalización microscópica o bloqueo microscópico debido al entrapamiento de petróleo por acción de las fuerzas capilares en las zonas barridas.

Existen básicamente tres factores físicos que dejan altas saturaciones de petróleo remanente después de efectuar la recuperación primaria y secundaria:

- Alta viscosidad del petróleo
- Fuerzas interfaciales
- Heterogeneidad del yacimiento

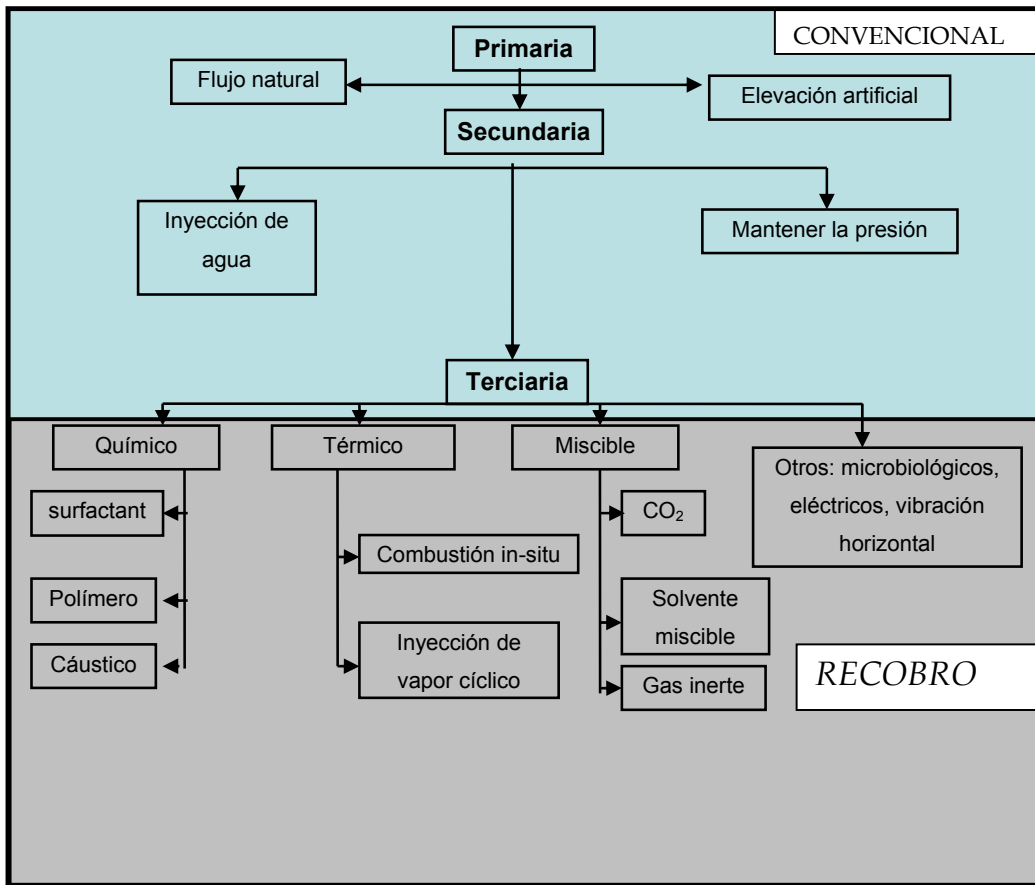
En yacimientos heterogéneos, el problema es la variación de la permeabilidad vertical, lo que implica un desplazamiento ineficiente a escala

¹ AGUILLON, Javier. y GARCIA, Fredy. Sistema experto para la selección técnica de un método de recobro mejorado para un campo de crudo. Bucaramanga, 2004. Trabajo de grado (ingeniero de petróleos). Universidad Industrial de Santander. Escuela de ingeniería de petróleos.

macro. Los fluidos se desplazan preferiblemente por las zonas de mayor permeabilidad, dejando la mayor parte de petróleo en las de menor permeabilidad.

Los procesos de recobro terciario o recobro mejorado (E.O.R. por sus siglas en ingles) se han diseñado con el fin de solventar los problemas a escala micro y macroscópica, y consisten en utilizar aditivos: HC, CO₂, químicos, térmicos, o combinación de estos, para incrementar la producción a escala macro y mejorar la eficiencia de desplazamiento y la relación de movilidad a nivel microscópica. En la actualidad existen varios métodos de recobro mejorado, los cuales son aplicables en cualquier yacimiento pero se deben considerar ciertos aspectos económicos y técnicos para seleccionar el método apropiado en el yacimiento. La clasificación de los métodos de recobro mejorado que se pueden ver en al figura 2 incluyen métodos térmicos, químicos y miscibles.

Figura 2. Esquema de los tipos de recobro del crudo.



Fuente: autor.

1.3.1 Procesos térmicos. ¹, ² Los Métodos térmicos en especial el desplazamiento con vapor y la estimulación con vapor, son los más exitosos, mostrando así una participación mayor del 70% en la cantidad de crudo obtenido por métodos de recobro mejorado en Estados Unidos, y presentando una cantidad de proyectos similar a los métodos químicos.

¹ LAKE, Larry W. Enhanced Oil Recovery. s.l: Prentice Hall, 1996.

² BOBERG, Thomas C. Thermal Methods of Oil Recovery. Ottawa: Exxon, 1988.

Los procesos de recobro térmico incluyen dos formas de aplicación que son el desplazamiento y la estimulación. En el primero está envuelto el desplazamiento de los fluidos del yacimiento a pozos adyacentes, tal desplazamiento se da también en la inyección de agua, pero aquí se aplica calor para reducir la viscosidad del crudo, mejorando así la eficiencia de desplazamiento.

Normalmente, un proceso térmico de desplazamiento implica la transferencia de calor dentro del yacimiento, en la distancia comprendida entre los pozos de inyección y los de producción.

El fluido inyectado puede transferir al yacimiento el calor generado en superficie como se da con la inyección de vapor, cíclica ó continua, y agua a altas temperaturas ó generando en el mismo lugar como el caso de la combustión in-situ.

Los procesos de estimulación envuelven el calentamiento de una región limitada alrededor del pozo, que sirve como inyector y productor a la vez, el objetivo del calentamiento es reducir la viscosidad del crudo.

➤ **Inyección de vapor.** ¹ La inyección de vapor se emplea en depósitos que contienen petróleo muy viscoso. El vapor no sólo desplaza el petróleo, sino que reduce en gran medida la viscosidad (al aumentar la temperatura del yacimiento), con lo que el crudo fluye más deprisa a una presión dada.

Cuando el vapor es inyectado al yacimiento, el calor es transferido a la formación, a los fluidos del yacimiento y a las formaciones adyacentes, como resultado parte del vapor se condensa formando una mezcla de vapor y

¹ PRATS, Michael. Thermal recovery. New York: SPE, 1986.

agua a alta temperatura que fluye a través del yacimiento obligando desde luego como todo proceso de inyección continua, que exista una continuidad entre los pozos inyectoros y los productores.

La figura 3 muestra un esquema del recobro mediante la inyección de vapor. Los recobros de crudo son altos por causa de los enormes volúmenes de vapor gaseoso que pueden pasar a través de la arena productora hasta el frente de condensación, donde ocurre la penetración máxima de vapor. La transferencia de calor causa una disminución considerable de la viscosidad del crudo, que junto con las temperaturas elevadas (por encima de los 500 ° F), favorables para el craqueo térmico, incrementan el recobro del crudo.

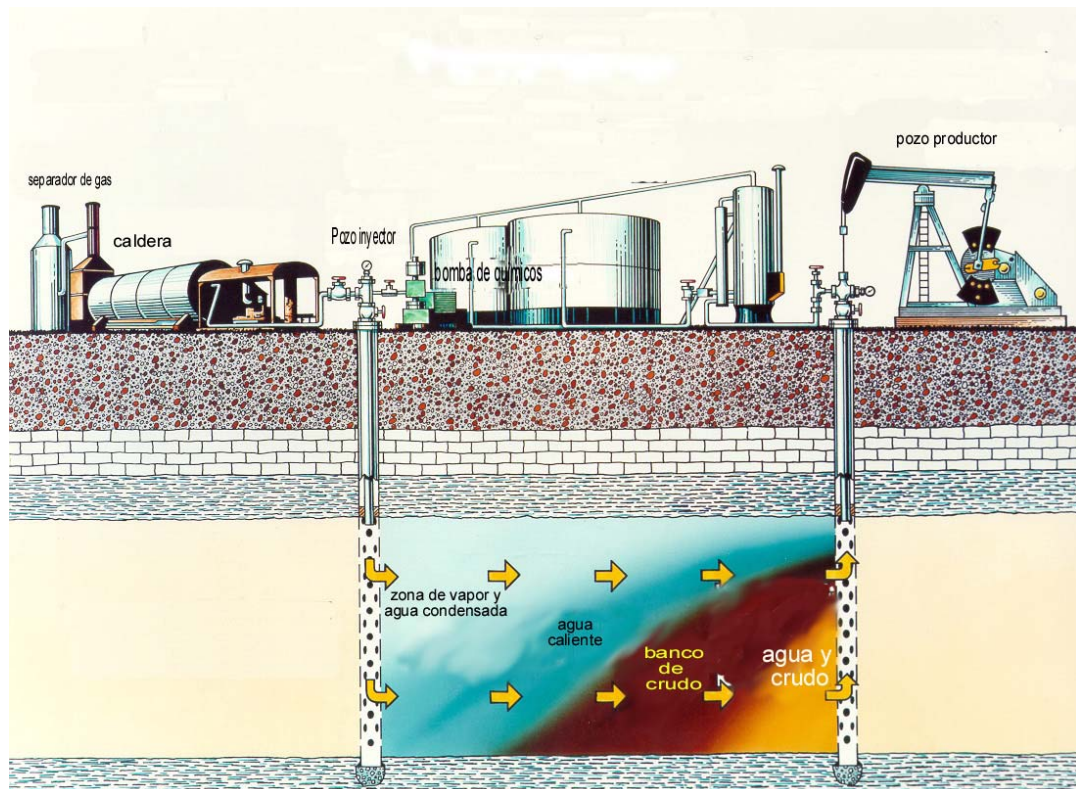
Los efectos gravitacionales, la alta viscosidad del crudo y las heterogeneidades del yacimiento pueden causar grave alteraciones en el desplazamiento del vapor y así una pobre eficiencia del barrido.

Tabber y Martin ¹ denomina este proceso como energético-intensivo, debido a que una fracción alta de la energía recuperada (25 – 40 %), es utilizada para la generación del vapor, idealmente altas tasas de inyección, arenas gruesas y espaciamiento corto entre pozos minimizan estas perdidas de calor. En arenas gruesas, sin embargo, si los pozos están demasiado cerca y las tasas de inyección son altas se generará un acanalamiento, esto ocurre normalmente por causa de los efectos gravitacionales y la tendencia de vapor a sobrepasar el banco de crudo. Sin embargo, esto también tiene un aspecto positivo, cuando se produce el acanalamiento, se reduce la tasa de inyección para así permitirle al vapor un mayor tiempo de estadía en el yacimiento, aumentando la transferencia de calor a los fluidos y al estar por

¹ TABBER, J. y MARTIN, F. Technical Screening Guides For the Enhanced Oil Recovery of Oil. Richardson: SPE, 1983.

encima del banco de crudo esta transferencia de calor se de a la mayor parte del yacimiento.

Figura 3. Representación esquemática de la inyección de vapor en un campo de crudo.



Fuente: LINDLEY, R. Joe. Thermal Recovery. Disponible en: www.netl.doe.gov

➤ **Combustión In-Situ.** El proceso de combustión in-situ consiste en la inyección de sustancias más comunes y de más bajo costo: el aire y el agua. En éste, una sustancia oxidante es introducida en el yacimiento, sea aire u oxígeno, luego se calienta la zona alrededor del pozo, generando así una ignición espontánea la cual es el inicio del frente de combustión, pero no de llama sino de incandescencia; directamente por delante de este ocurre un

craqueo del crudo que lleva a la deposición de la fracción pesada (coque), la cual se quema para mantener la combustión. Además el calor generado por el frente de combustión, ocasiona una disminución de la viscosidad del crudo, permitiéndole así una mejor movilidad.

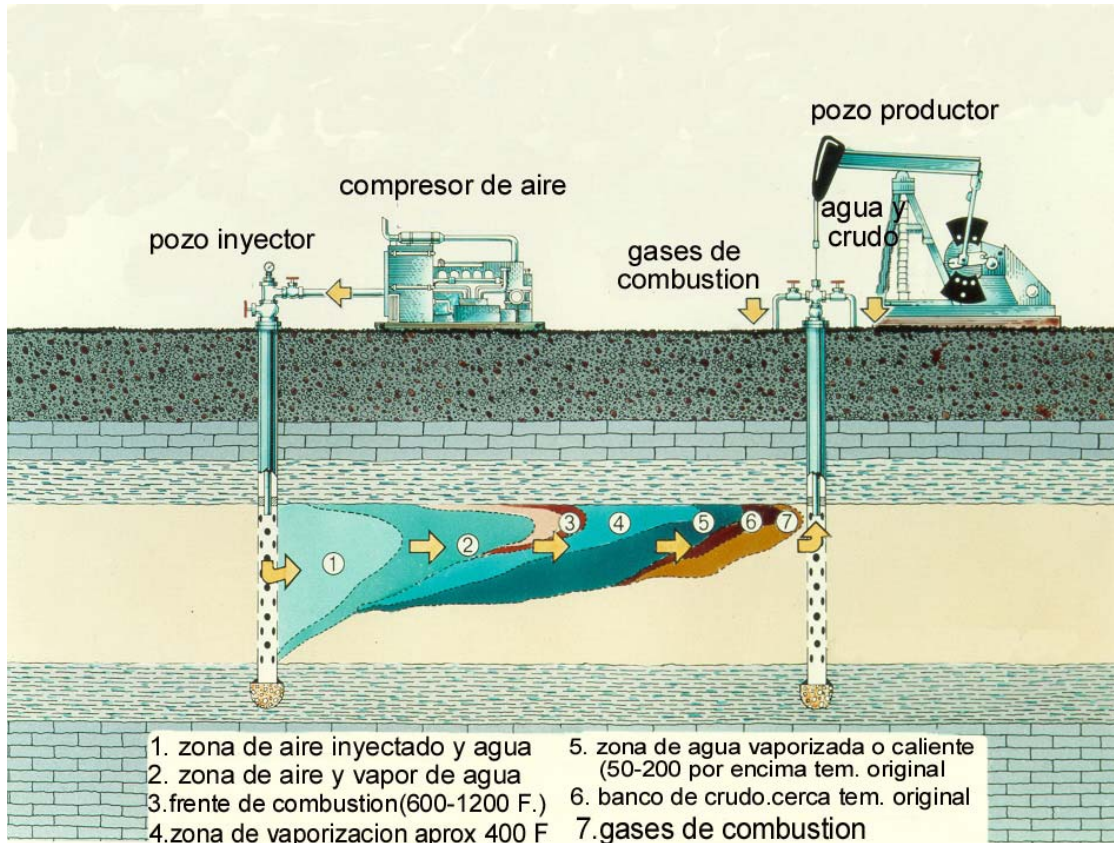
La combustión in situ es una alternativa pero es compleja ya que aplicarla involucra fenómenos cinéticos, de transferencia de calor y de masa, antes de aplicarla se debe estudiar otras alternativas, en la figura 4 se muestra una representación teórica de las zonas presentes en este tipo de recobro.

Según Prats¹ existen tres tipos de combustión In Situ:

- Frontal seca, que consiste en la inyección de aire u oxígeno únicamente para así crear un frente de combustión que avance hacia el pozo productor.
- Frontal húmeda, que es similar a la anterior pero al aire inyectado se le adiciona cierta cantidad de agua para así cuando llegue al frente de combustión se genere vapor aprovechando las características del mismo en como transportador de energía calórica y fluido desplazante.
- Invertida, que consiste en inyectar aire por el pozo inyector para alimentar el frente de combustión creado en el pozo productor, aquí la dirección de desplazamiento del aire es contraria a la del frente de combustión.

¹ PRATS, Op. cit, p. 36.

Figura 4. Representación teórica de las zonas presentes en la combustión in-situ.



Fuente: LINDLEY, R. Joe. In situ combustion. Disponible en: www.netl.doe.gov

➤ **Estimulación Cíclica con vapor.** El proceso de estimulación de vapor consiste en la inyección de vapor húmedo (una mezcla de vapor y agua) dentro de una formación de crudo viscoso por un periodo de tiempo alrededor de unas 3 a 4 semanas, luego el pozo es cerrado por otro periodo de tiempo a lo largo del cual el calor es transferido a la roca de la formación y al fluido para luego colocar el pozo nuevamente en producción. Este nuevo flujo, contendrá algo del vapor inyectado ya condensado y el crudo comenzará a producirse a tasa muy altas que eventualmente declinarán

hasta que el calor se haya disipado y nuevamente debe reiniciarse el procesos de estimulación. El éxito de la estimulación con vapor radica en la duración del efecto del aumento de la temperatura sobre la viscosidad de crudos pesados. Cuando la temperatura se incrementa la viscosidad del crudo disminuye notablemente, una vez mejorada la movilidad existen fuerzas de expulsión, que hacen que el crudo fluya hacia el pozo como las siguientes:

- Presión del yacimiento en caso de que exista.
- Drenaje por gravedad.
- Compactación de la roca.
- Vapor no condensado.
- Expansión térmica del petróleo.
- Efecto de la temperatura sobre permeabilidades relativas.
- Calentamiento mas allá de la zona contactada por el vapor.

1.3.2 Recobro Miscible.¹ , ² Este tipo de recobro consiste en la inyección de un agente desplazante, que es miscible con el crudo, como resultado la tensión interfacial entre los dos fluidos es reducida a cero y el numero capilar es infinito, además si la relación de movilidad es favorable (si el solvente es mas que el crudo), se asegura un 100% de desplazamiento de crudo por cantidad de solvente inyectado en los poros barridos por el solvente. Bajo condiciones ideales, el fluido desplazante y el crudo se mezclan en una zona estrecha llamada zona de mezcla o de transición, la cual se expande a medida que se mueve a través del medio poroso desplazando el crudo que

¹ LAKE, Op.cit, p. 109.

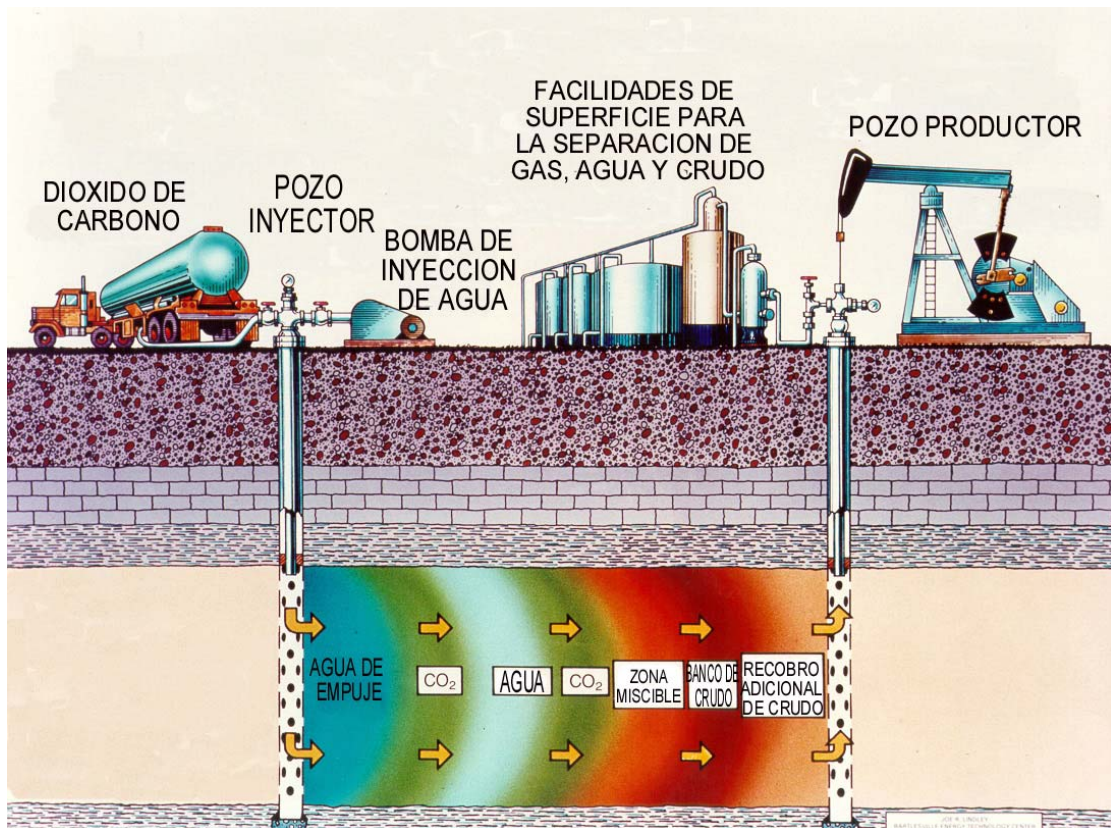
² TABER, J.y MARTIN, F . D. Op. cit. p. 76.

se encuentre delante de dicha zona. El fluido desplazante puede ser un fluido hidrocarburo, como el propano, ó un gas a alta presión el cual alcanza la miscibilidad después de muchos contactos con el crudo. El CO_2 y el nitrógeno pueden servir como agentes de desplazamiento, bajo las condiciones correctas (altas presiones de operación y altas gravedades API del crudo).

En los principios de los años 60, la inyección de gas licuado (GLP) en pequeños baches, para luego desplazar con un gas seco, era el centro de interés. Este proceso se volvió económicamente menos atractivo cuando el precio del GLP se incremento. A finales de los años 70, el interés en recobro miscible retorno debido al súbito aumento del precio del crudo y d una mayor confiabilidad para estimar el recobro de crudo. Durante este periodo, el principal gas usado fue el CO_2 a pesar que se probaron muchos otros fluidos.

En la figura 5 se encuentra un esquema teórico del desplazamiento miscible en el yacimiento, en este caso se encuentra representado el recobro por inyección de CO_2 , alternándolo con la inyección de baches de agua.

Figura 5. Esquema general para el recobro por desplazamiento miscible.



Fuente: LINDLEY, R. Joe. Miscible recovery. Disponible en: www.netl.doe.gov

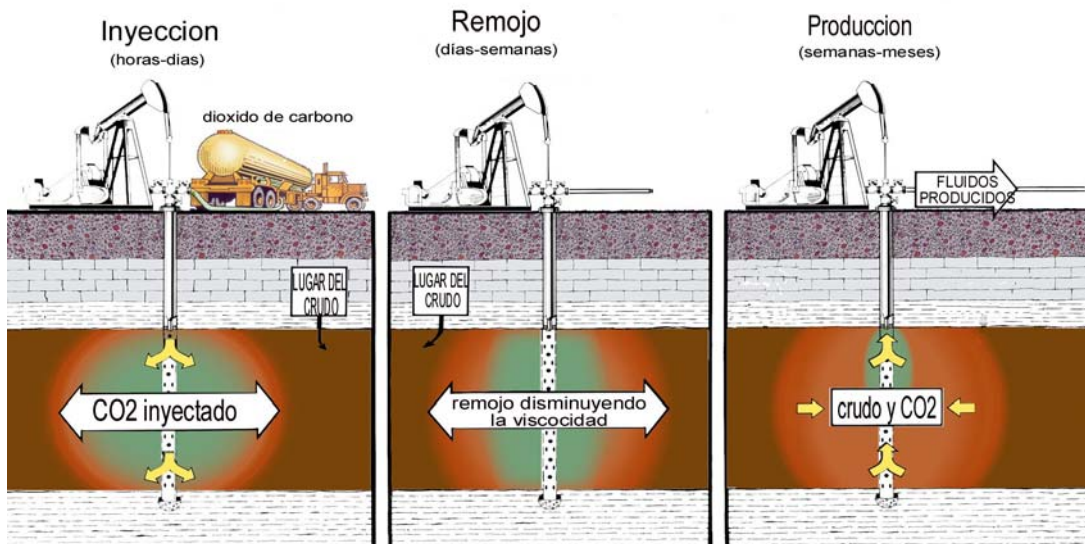
➤ **Desplazamiento con CO_2 .** Este tipo de desplazamiento se realiza mediante la inyección de baches, así: Primero se inyecta un bache de CO_2 (cerca del 5% del volumen poroso de hidrocarburo), que es utilizado como el bache miscible y para desplazar dicho bache se inyecta un gas pobre que pueden ser propano, metano, etc. A menudo se inyecta agua con el gas pobre en pequeños baches alternados, esto tiene el efecto de mejorar la relación de movilidad en la interfase con el bache miscible. El bache miscible será líquido si la temperatura del yacimiento esta por debajo de la temperatura critica, en este caso la presión seria tal que hay miscibilidad en

ambas caras del bache de CO_2 , por la parte delantera en contacto con el crudo y en la parte trasera en contacto con el gas de empuje, sin estas condiciones el desplazamiento no se podría realizar.

Al alcanzarse la miscibilidad tanto la fase crudo como la fase CO_2 (la cual contiene muchos de los componentes intermedios de crudo), pueden fluir juntas por causa de la baja tensión interfacial y el incremento relativo en los volúmenes totales de las fases combinadas de crudo y CO_2 , comparadas con la fase agua. A medida que los fluidos son producidos el CO_2 vuelve a tomar su forma gaseosa proporcionando un empuje similar al dado por un levantamiento artificial.

➤ **Estimulación Cíclica de Dióxido de Carbono.** Es un proceso muy similar al cíclico de vapor, el CO_2 es inyectado en el yacimiento, luego el pozo es cerrado y después de un periodo llamado de remojo es puesto nuevamente en producción. Para lograr esto, la disolución del CO_2 en el crudo reduce su viscosidad permitiendo que fluya fácil hacia el pozo. El proceso también puede usarse en yacimientos de crudo pesado a través de inyección de CO_2 a alta presión para facilitar la miscibilidad del CO_2 con el crudo donde los métodos térmicos no son aplicables. Ver figura 6.

Figura 6. Esquema general de la inyección cíclica de dióxido de carbono.

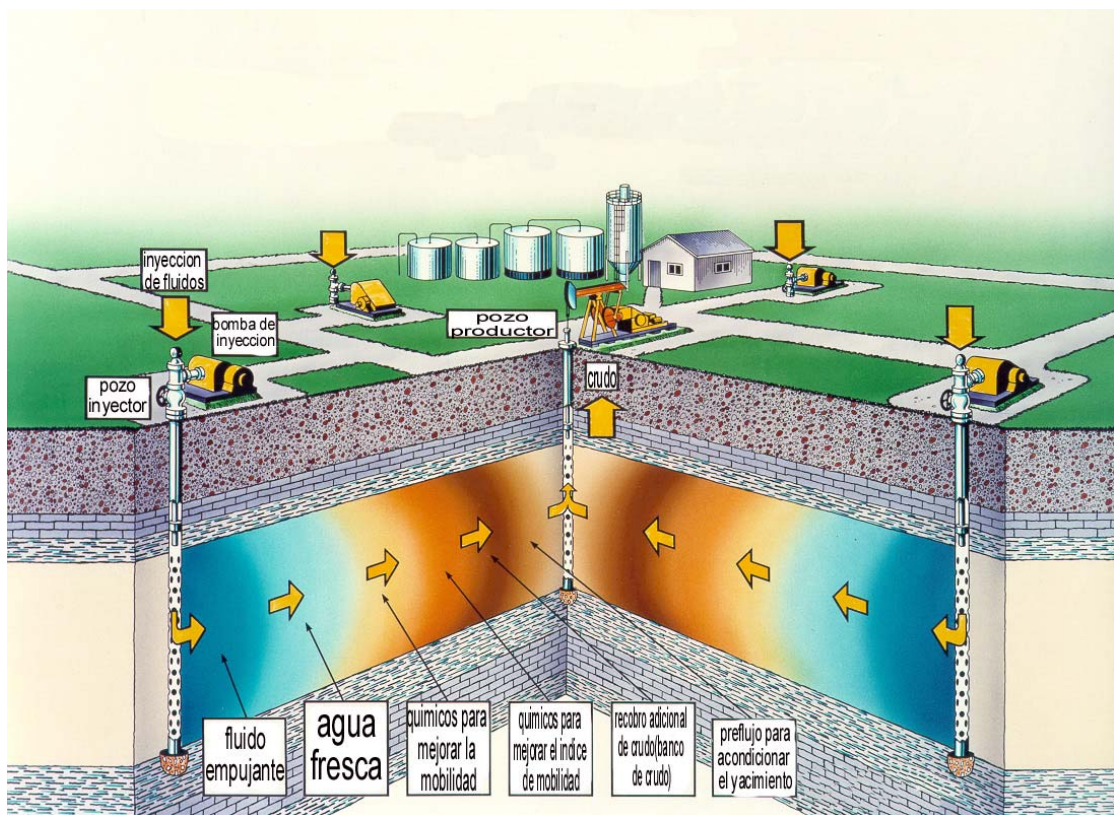


Fuente: LINDLEY, R. Joe. Cycle Carbon Dioxide Estimation. Disponible en: www.netl.doe.gov

1.3.3 Recobro químico. Los métodos de recobro químico de crudo incluyen la inyección de polímeros, inyección de surfactantes combinados con polímeros e inyección de alcalinos. Todos estos métodos envuelven la mezcla de químicos (y a veces de otras sustancias) con agua antes de realizar la inyección. Además estos métodos requieren condiciones muy favorable para la inyección de agua: de aquí que la inyección de químicos sea usada para crudos que son mas viscosos que aquellos recuperados mediante la inyección de gas, pero menos viscosos que crudos que pueden ser recuperados desde criterios económicos utilizando métodos térmicos. Las permeabilidades del pozo necesarias para el desplazamiento químico

son mas altas que las requeridas por los procesos para la inyección de gas, pero no tan altas como las requeridas por los procesos de recobro térmico. En la figura 6 se muestra el esquema general para la recuperación de crudo a través del recobro químico.

Figura 7. Esquema general de las zonas teóricas presentadas para la recuperación de crudo aplicando recobro químico.



Fuente: LINDLEY, R. Joe. Chemical Recovery. Disponible en: www.netl.doe.gov

De manera general, a los yacimientos que cuentan con un acuífero activo no se les debe aplicar este método debido a la baja saturación remanente de crudo. Las formaciones con altos contenidos de arcillas, son indeseables

dado que las arcillas incrementan la absorción de los químicos inyectados. En la mayoría de los casos, las salmueras del yacimiento de salinidad moderada con bajas cantidades de iones divalentes son deseables ya que las altas concentraciones interactúan desfavorablemente con los químicos que son inyectados.

➤ **Desplazamiento con polímeros.** Este proceso consiste en la inyección de un bache de agua mezclada con polímeros solubles en esta, aunque dichas soluciones acuosas pueden reducir la movilidad del agua inyectada en el yacimiento. El incremento resultante en viscosidad, así como la reducción de la permeabilidad relativa que ocurre con algunos polímeros, causa una reducción en el índice de movilidad, esta reducción incrementa al eficiencia de desplazamiento con agua al incrementar la eficiencia del barrido. La gran eficiencia de recobro es el incentivo económico mas importante para la implementación de este desplazamiento, sin embargo, el momento de iniciación de este proceso es importante, ya que si la inyección de agua se ha llevado a cabo por mucho tiempo el crudo remanente que puede ser desplazado por el bache de polímeros seria insuficiente.

➤ **Desplazamiento alcalino.** El desplazamiento alcalino o cáustico consiste en la inyección de soluciones acuosas de hidróxido de sodio, carbonato de sodio, silicato de sodio e hidróxido de potasio, estos químicos alcalinos reaccionan con los ácidos orgánicos presentes en ciertos tipos de crudo para producir surfactantes de manera in-situ, que reducen ampliamente la tensión interfacial entre el agua y el crudo. Los químicos alcalinos también reaccionan con la roca del yacimiento alterando así la mojabilidad.

Un preflujó ó bache de agua fresca ó suavizada precede el bache alcalino, a continuación un bache de polímero disuelto en agua es inyectado para ayudar a obtener un movimiento uniforme o “barrido” a través del yacimiento. Luego se inyecta agua fresca detrás de la solución polimérica para prevenir la contaminación del agua del empuje final que puede ser salada o por otra parte incompatible con los químicos.

1.4 GENERALIDADES DE LOS PROCEDIMIENTOS REALIZADOS EN EL LABORATORIO DE RECOBRO MEJORADO DEL INSTITUTO COLOMBIANO DEL PETROLEO (I.C.P.)

1.4.1 Adecuación y preparación para la prueba. En las pruebas de laboratorio, que simulan los proyectos de inyección, ciertos parámetros del yacimiento son fijos y deben conocerse, ya que son de vital importancia en las pruebas y escapan del control del ingeniero, a saber:

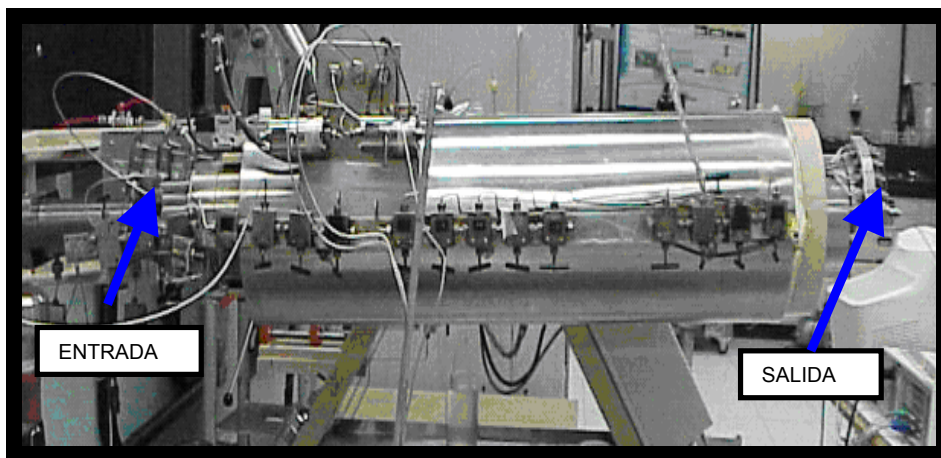
- Propiedades del crudo.
- Propiedades de la roca.
- Estratificación geológica
- Callamiento
- Profundidad.

Por otro lado el ingeniero puede variar algunos parámetros tales como fluido para inyección, presión de inyección, patrón y tasa de inyección.

La simulación o escalamiento del desplazamiento de un fluido se realiza en el equipo coreflooding, el cual se observa en la figura 8, localizado en el laboratorio de recobro mejorado. Antes de la prueba se deben preparar y colocar en las condiciones solicitadas y adecuadas las muestras, el equipo y

los fluidos. Las muestras que son extraídas directamente del pozo a estudiar por personal capacitado, son preparadas y acondicionadas a las medidas adecuadas para instalación dentro de la manga (ver figura 9) y su posterior montaje en el equipo del laboratorio.

Figura 8. Equipo Coreflooding del laboratorio de recobro mejorado del Instituto Colombiano del Petróleo. (I.C.P.)



Fuente: Autor.

➤ **Características de roca y fluido.** El ingeniero debe disponer o realizar las pruebas para hallar la información respecto a :

- Contenido de agua intersticial
- Propiedades de permeabilidad relativa agua/petróleo o gas/petróleo.
- Relaciones de movilidad.
- Indicaciones de Fracturas naturales y sistemas de callamiento.
- Variación areal y vertical de la porosidad y permeabilidad.
- Continuidad de la formación.

El equipo debe adecuarse para la prueba, junto con el hardware y software del sistema supervisor.

1.4.2 Prueba de recobro mejorado en el laboratorio de recobro mejorado en el instituto Colombiano del petróleo. Después de disponer de la información ya mencionada, y realizar el montaje de la probeta dentro de la manga y esta a su vez dentro del equipo se puede dar inicio a la prueba siguiendo los siguientes pasos:

- Llenar de aceite el confinamiento y aplicar vacío al núcleo.

- Iniciar la inyección de salmuera sintética con la bomba de desplazamiento positivo.

- Determinar con base en el volumen inyectado (bomba) y el volumen efluente, el volumen poroso de las muestras.

- Suspender la inyección de salmuera e iniciar la saturación con aceite recombinado.

- Recibir el efluente, en este caso se recolecta en el separador diseñado y se miden los volúmenes de cada fluido separado. Durante el proceso de saturación se toman datos de :
 - Presión de inyección.
 - Presión de salida.
 - Presión de confinamiento.
 - Diferencial de presión.
 - Volumen de aceite inyectado.

- Volumen de agua y de aceite producidos. (Usando el separador y el sistema implementado).
 - Presión de confinamiento.
 - Tiempo y temperatura.
-
- Llevar la temperatura del sistema hasta la temperatura del ensayo, que debe ser lo mas cercana posible a las condiciones del yacimiento.

 - Desplazar 1.2 volúmenes porosos con aceite recombinado y recibir los efluentes en el separador.

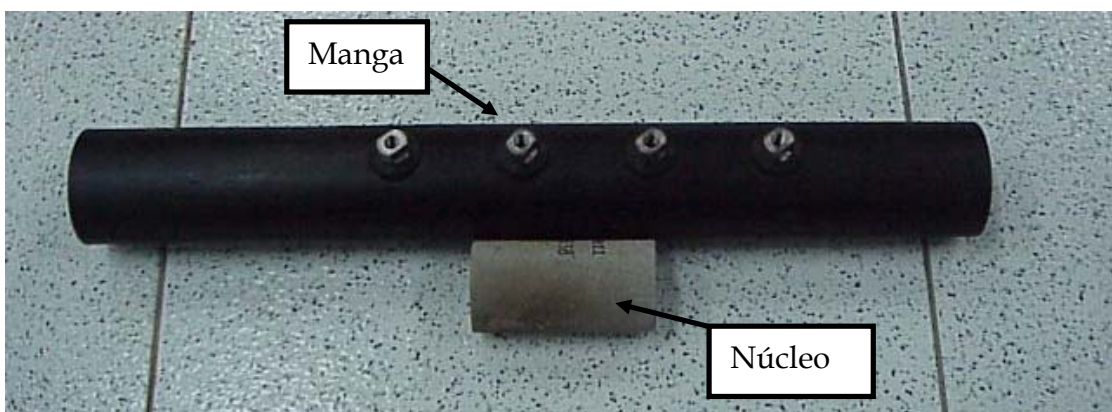
En este punto se dispone de un núcleo en optimas condiciones y muy semejante a las propiedades que se tienen en el pozo, pero debe continuarse con la simulación adecuando otras variables como la presión y temperatura.

Aplicar el método de recobro en la forma especificada para el ensayo.

- En el caso que no exista sistema supervisor, capaz de ofrecer la información en tiempo real, se debe monitorear los siguientes datos:
 - Presión de inyección.
 - Presión de salida.
 - Presión de confinamiento.
 - Diferencial de presión.
 - Volumen inyectado de gas o de agua.
 - Volumen producido de crudo, agua y gas.
 - Tasa de flujo de los líquidos y de los gases.
 - Relación gas- aceite.
 - Volumen de gas producido

- Desplazar el sistema hasta cuando se considere que el ensayo se ha completado de acuerdo a la información y comportamiento esperados de cada yacimiento.
- Apagar el sistema de registro gráfico, el sistema de calentamiento, desmontar la muestra y hacer la limpieza del equipo.
- Recuperación esperada. La predicción de la recuperación de petróleo requiere:
 - La cantidad de petróleo original in situ.
 - La recuperación por completación primaria que ocurrió antes del inicio de la inyección.
 - La saturación de petróleo al inicio de la inyección y la saturación residual de petróleo después del procesos de desplazamiento y como se distribuye en el yacimiento.
 - La fracción del yacimiento.
 - Tasa de producción e inyección.

Figura 9. Probeta de roca y manga a instalar en el equipo coreflooding.

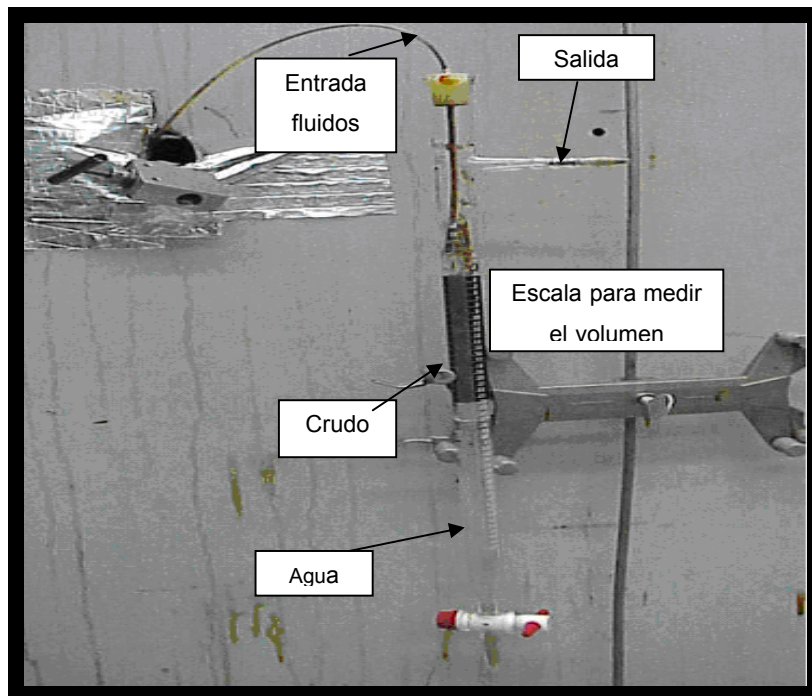


Fuente: Autor.

Es claro que el separador trifluídico en asocio con el sistema implementado para medir los volúmenes separados se convierte en una herramienta importantísima, la cual debe ofrecer información precisa y de una alta confiabilidad, debido, a que un parámetro que se toma en cuenta necesariamente, es el crudo recuperado, pues es al final el objetivo de la aplicación de este método en el yacimiento en estudio y si ocurriese cualquier error en la información los daños económicos serían cuantiosos.

La forma como se realizaban las pruebas antes de llevar a cabo este proyecto se puede ver en la figura 10, el crudo y al agua se recibían en probetas aforadas y el ingeniero encargado de la prueba realizaba un cálculo visual, del volumen de acuerdo al nivel dentro de la probeta este procedimiento da cabida a errores en la apreciación y no permitía ser implementado dentro de ningún sistema supervisor o de control.

Figura 10. Forma anterior de medir los volúmenes.



Fuente: Autor.

2. DISEÑO DEL SEPARADOR TRIFLUIDICO

Los datos de las pruebas de desplazamiento, realizadas en el laboratorio de recobro mejorado, que adquieren gran relevancia en el momento de tomar la decisión, de cual método de recobro aplicar en el campo en estudio, es el resultado de la información dada por el sistema implementado y encargado de medir los volúmenes de los fluidos separados.

Los fluidos salen por un conducto único para su posterior separación en el recipiente. La separación se lleva a cabo debido a las propiedades físicas y químicas de los fluidos que interviene en el proceso a saber: agua, gas y crudo.

2.1 PROPIEDADES QUÍMICAS Y FÍSICAS DE LOS FLUIDOS SEPARADOS ¹

Los fluidos a separar al salir del equipo coreflooding por el conducto único están mezclados pero no disueltos, aun conservan cada uno sus propiedades a pesar de la mezcla, dado que no son miscibles bajo estas condiciones. Las propiedades relevantes para la separación de los fluidos son: Densidad, peso específico, capilaridad, tensión superficial.

2.1.2 Densidad. La densidad de un fluido se define como la relación de su masa por unidad de volumen. La densidad es una propiedad que puede variar si cambian ciertas condiciones como la temperatura, la presión,

¹ POTTER, Merle. Y WIGGERT, David. Mecánica de fluidos. México. Prentice Hall. 1998.

aunque para nuestro interés los cambios producidos por estas variaciones, son de poca relevancia sobre esta propiedad, debido a que se controlan para ubicar los valores dentro de los estándares de cada pozo.

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Ecuación 1.

2.1.1 Peso específico. Es una propiedad que se relaciona directamente con la densidad de los fluidos. Se define como el peso por unidad de volumen, siendo el peso la multiplicación de la densidad por la gravedad local.

$$\gamma = \rho g$$

Ecuación 2.

Las unidades del peso específico son N/m^3 (lb/ft^3). Para el agua el valor a tomar es de 9800 N/m^3 (62.4 lb/ft^3).

2.1.2 Tensión superficial. Es el resultado de las fuerzas de atracción entre las moléculas que conforman un fluido. La tensión superficial causa efectos en las superficies de contacto entre líquido y líquido o líquido y gas, o siempre que se encuentre contacto mutuo entre tres líquidos no miscibles; dos líquidos no miscibles y un sólido; o un líquido, un gas y un sólido.

Las fuerzas de atracción en el pleno de un líquido son iguales en todas las direcciones y no se presenta una fuerza resultante sobre las moléculas, por el contrario en una interfaz las fuerzas de atracción entre las moléculas

tienen una fuerza resultante en la capa del interfaz, esto hace que una gota pueda estar suspendida en un vidrio y además limita y establece el tamaño y forma de la gota de agua.

La tensión superficial multiplicada por una longitud, que puede ser la de contacto entre el fluido y un sólido, ó la circunferencia para el caso de una burbuja, da como resultado una fuerza que se conoce como: fuerza debido a la tensión superficial. Las unidades de la tensión superficial se expresan en N/M (lb/ft).

En la figura 10 se observan los diagramas de cuerpo libre de la mitad de una gotita, que tiene una superficie y la mitad de una burbuja que compone una película delgada, con superficies interior y exterior.

La fuerza de presión $p \pi R^2$ en la gotita balancea la fuerza de tensión superficial alrededor de la circunferencia. Entonces,

$$p \pi R^2 = 2 \pi R \sigma \quad \text{Ecuación 3.}$$

Despejando

$$p = \frac{2\sigma}{R} \quad \text{Ecuación 4.}$$

En igual forma, la fuerza de presión en la burbuja esta equilibrada por las fuerzas de tensión superficial en las dos circunferencias. Por tanto,

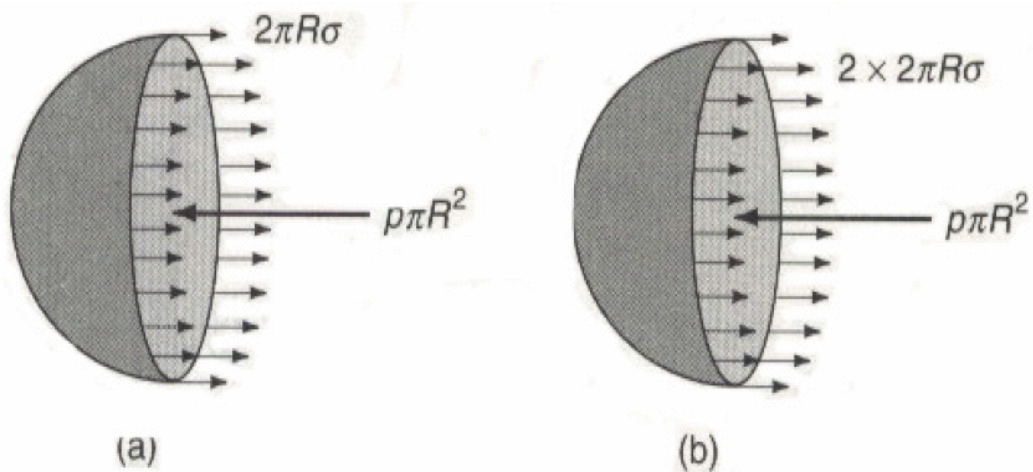
$$p \pi R^2 = 2(2 \pi R \sigma) \quad \text{Ecuación 5.}$$

Despejando

$$p = \frac{4\sigma}{R} \quad \text{Ecuación 6.}$$

De acuerdo a lo anterior podemos concluir, que la presión interna en una burbuja es dos veces mayor que en una gotita del mismo tamaño.

Figura 11. Fuerzas interna en (a) una gotita y (b) una burbuja.



Fuente: POTTER C. Merle at all.

Consideremos el caso de dos líquidos no miscibles, agua y crudo, y un tercer fluido, sea un gas, en contacto como se muestra en la figura 11. Para estar en equilibrio, las tensiones inter-superficiales y ángulos de contacto deben ser:

$$AC = AB \cos b + BC \cos a$$

Ecuación 7.

$$AB \sin b = BC \sin a$$

Ecuación 8.

Siendo:

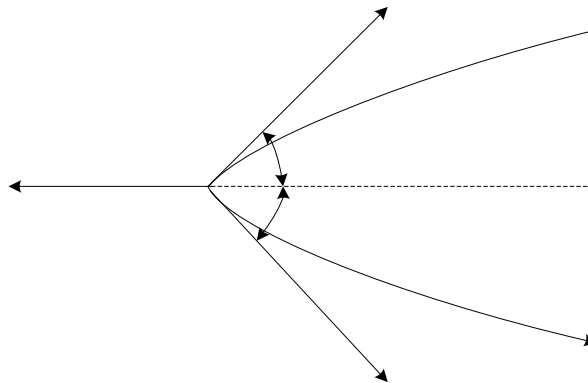
AC= Tensión superficial del agua.

AB= Tensión superficial del gas.

BC =Tensión superficial del crudo.

Estas ecuaciones 7 y 8, pueden satisfacerse si $AC < (AB + BC)$ y se formará una lente a partir del agua. Si $AC > (AB + BC)$, no es posible el equilibrio y el agua se esparcirá entre crudo y el gas.

Figura 12. Fluidos no miscibles en contacto.



Fuente: Autor.

Al entrar al separador se cumple la condición para que los fluidos entren en equilibrio y se forme la lente a partir del agua posicionándose el crudo en la parte superior y gas sin contacto con esta, por el peso de la columna de fluido.

2.1.3 Capilaridad.¹ La capilaridad es un fenómeno que se presenta debido a la tensión superficial y en los casos ya mencionados. Para nuestro caso podría definirse como: elevación o depresión de la superficie de un líquido en la zona de contacto con un sólido. Este fenómeno es una excepción a la ley hidrostática de los vasos comunicantes, según la cual una masa de líquido tiene el mismo nivel en todos los puntos; el efecto se produce de forma más marcada en tubos capilares es decir, tubos de diámetro muy pequeño.

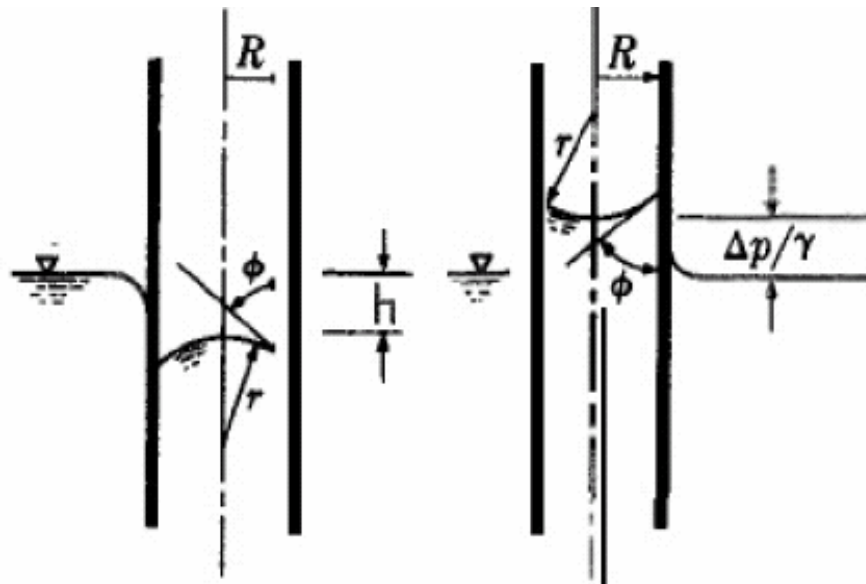
La capilaridad, o acción capilar, depende de las fuerzas creadas por la tensión superficial y por el mojado de las paredes del tubo. Si las fuerzas de adhesión del fluido al sólido (mojado) superan a las fuerzas de cohesión dentro del líquido (tensión superficial), la superficie del líquido será cóncava y el líquido subirá por el tubo, es decir, ascenderá por encima del nivel hidrostático. Si las fuerzas de cohesión superan a las fuerzas de adhesión, la superficie del líquido será convexa y el líquido caerá por debajo del nivel hidrostático.

En el caso del separador encontramos contacto entre dos líquidos no miscibles, agua y crudo, y un sólido que en este caso serían las paredes del recipiente separador. Aunque el fenómeno de capilaridad no se presenta notoriamente debido al tamaño del recipiente, que es de 0.017 m. En las superficies de contacto simples existe la tendencia, de las superficies, a plegarse y formar ondas capilares cuando son perturbadas. Las superficies de contacto completamente planas están en equilibrio inestable; Cuando ocurre un contacto mutuo entre tres sustancias, la estabilidad y el equilibrio dependen de las magnitudes de las tensiones inter superficiales.

¹ DAILI W. James y HARLEMAN R. Donald. Dinámica de los fluidos. México: Trillas, 1975.p.501.

➤ **Capilaridad en tubos.** El comportamiento de los líquidos en tubos delgados (tubos capilares, del latín capiflus, cabello) depende de la tensión superficial y de la humidificación de los sólidos. Por ejemplo, como se ilustra en la figura 12, cuando un tubo de vidrio se sumerge en agua, ésta se eleva en el tubo por encima del nivel hidrostático, mientras que si el tubo se sumerge en mercurio, el resultado es una depresión.

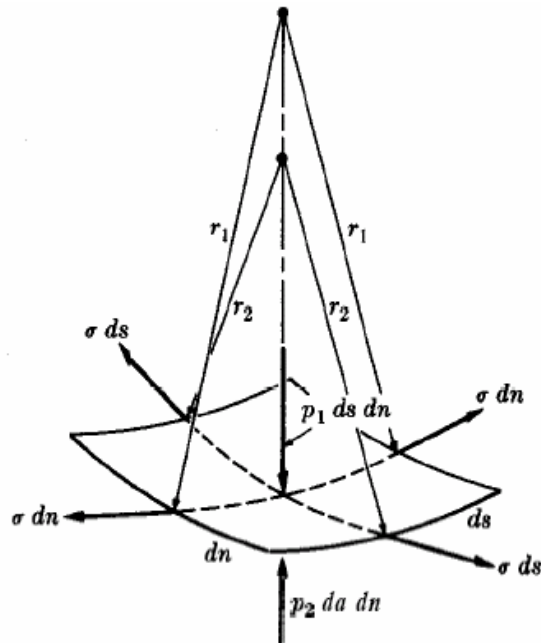
Figura 13. Capilaridad en los tubos: izquierda, mercurio en un tubo de vidrio; derecha, agua en un tubo de vidrio.



Fuente: DAILI W. James y HARLEMAN R. Donald. Dinámica de los fluidos. México: Trillas, 1975.p.45.

La tensión superficial causa una diferencia de presión que se manifiesta a través de la superficie. Esta diferencia de presión entre lados convexos y cóncavos para una superficie alabeada como la mostrada en la figura 12, es descrita en la ecuación numero 9:

Figura 14. Equilibrio bajo tensión superficial.



Fuente: DAILI W. James y HARLEMAN R. Donald. Dinámica de los fluidos. México: Trillas, 1975.p.45.

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \left(\sigma \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right), \quad ^1 \quad \text{Ecuación 9.}$$

Donde:

σ = tensión superficial.

r_1, r_2 = radios de curvatura de superficie.

En este caso, $r_1 = r_2 = r$ siendo r el radio del tubo dividido por el coseno del ángulo formado entre la curvatura del fluido y la superficie del tubo medido a partir de este.

¹ DAILI W. James y HARLEMAN R. Donald. Dinámica de los fluidos. México: Trillas, 1975.p.45.

$$r = R / \cos \phi \quad \text{Ecuación 10.}$$

Según Potter ¹ el ángulo formado por el agua y el recipiente es cero, y para otras aplicaciones se puede aplicar que la altura h , definida en la figura numero 12 es:

$$h = \frac{4\sigma \cos \phi}{\gamma D} \quad \text{Ecuación 11.}$$

Siendo:

σ = tensión superficial.

ϕ = ángulo formado entre el fluido y la superficie medido a partir de esta.

γ = peso específico.

D = diámetro del tubo o $2r$.

En el caso del crudo con los siguientes valores:

Tabla 1. Valores para el cálculo de la altura del crudo en el recipiente.

Tensión superficial	0.036 (N/m)
Peso específico	7755(N/m ³)
Diámetro del tubo	0.017 (m)
Angulo	30 ⁰

El valor de la altura seria $9.45 \cdot 10^{-4}$ (m) sin causar ningún efecto sobre el diseño del separador, ni en el sistema implementado de medición.

¹ POTTER, Merle. Y WIGGERT, David. Op cit. p. 19.

2.2 DISEÑO DEL SEPARADOR TRIFLUIDICO

Al disponer de la información necesaria acerca del comportamiento de los fluidos en el separador, se procede a diseñar el recipiente, de tal forma que se puedan separar de manera efectiva el agua, el crudo y el gas sin descuidar la estrategia diseñada para su medición y así conservar una secuencia geométrica entre los dos conceptos.

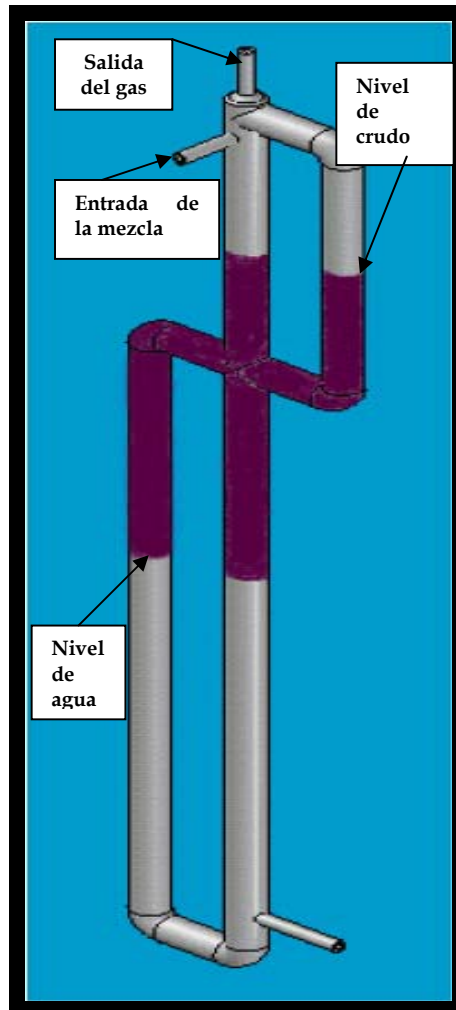
El recipiente esta diseñado aprovechando las propiedades de los fluidos a separar en especial el peso especifico y la poca miscibilidad presente entre estos.

De acuerdo a los parámetros requeridos y para la facilidad de construcción se elige empezar con un cilindro de diámetro interno de 17 mm. y de 20 mm de diámetro externo y así calcular la altura del recipiente y cumplir con los parámetros de diseño, de separar un máximo de 300 (cm³/h) que es un dato de escalamiento promedio, de salida del equipo coreflooding adquirido por la experiencia en las diversas pruebas realizadas durante varios años.

2.2.1 Forma del recipiente. La forma del recipiente es la mostrada en la figura numero 13, se observa un tubo central encargado de recibir por su parte frontal superior toda la mezcla de los fluidos, comunicados con este están dispuestos dos cilindros opuestos y distribuidos en la parte superior e inferior. Esta distribución se hace para poder disponer de dos niveles de crudo y dos de agua en lados opuestos, que puedan ser captados por los sensores ópticos dispuestos en la estrategia para medir el volumen, además de permitir la reducción de la longitud del recipiente a la mitad.

Se cumple la ley de vasos comunicantes, es decir la altura del crudo en los dos tubos es la misma debido a la comunicación entre estos y por que están sometidos a la misma presión en ambos lados.

Figura 15. Recipiente separador en conjunto.



Fuente: Autor.

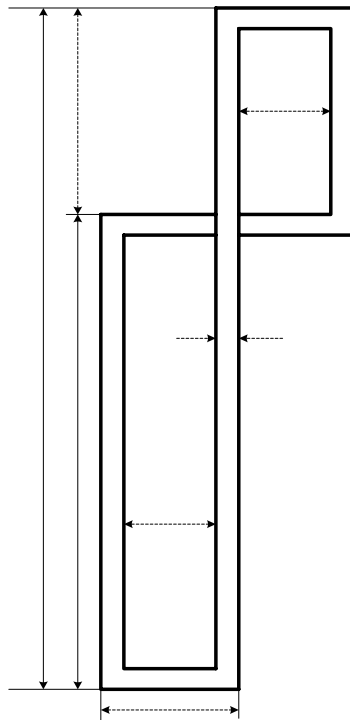
2.2.2 Cálculo de la geometría del separador. De acuerdo a la selección del diámetro interno del cilindro de 0.017 m, se debe calcular la altura total y de cada una de los cilindros donde se toma el nivel de agua y de crudo. Se tiene que volumen máximo es de 300 ml:

Ecuación 12.

$$V = \frac{\pi d^2 h}{4}$$

Con $d=0.017\text{m}$ y despejando h , obtenemos la altura h de 1.321m. Pero debe tenerse en cuenta que en realidad se dispone de un sistema de vasos comunicantes y esta altura debe ser la mitad, dándole una altura adicional para tener un nivel de referencia a partir del cual se debe empezar la medida, en definitiva la altura total del separador es de 75 cm, con la cual se cumple con el parámetro solicitado, sin embargo en el diseño mecánico se deja posibilidad de ubicar separadores con alturas de 72 a 78 cm., ya que podría llegar a necesitarse.

Figura 16. Geometría del recipiente.

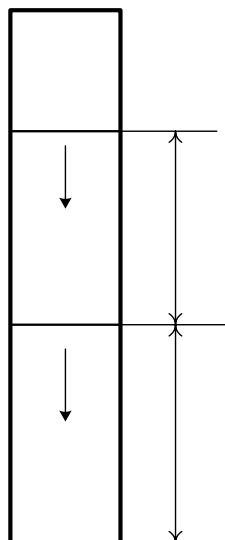


Fuente: Autor

2.2.3 Hidrostática del separador. Todos los fluidos al salir del equipo coreflooding, se encuentran un poco por encima de la presión atmosférica (varia en cada prueba pero el promedio es de 0.020 Mpa por encima de la presión atmosférica) esta variación no afecta en nada las propiedades durante el proceso de separación. Las presiones presentes son las de columna de líquido de agua y crudo de manera estática, ya que están depositados y la rata de entrada de los fluidos es tan baja que permite que los fluidos alcancen el equilibrio permanentemente.

De acuerdo con las propiedades de los fluidos, el agua se deposita en el fondo del recipiente y el crudo se ubica en la parte superior, el gas por su condición se desplaza hacia arriba del separador para ser recolectado y llevado fuera del recipiente para su medición. La densidad promedio del crudo es de 779 (Kg/m³) y la promedio del agua es de 999(Kg/m³), bajo estas condiciones el agua, debido su mayor densidad se precipita mientras el crudo se deposita en la parte superior de la columna de agua diferenciándose claramente por su baja miscibilidad.

Figura 17. Hidrostática del separador.



Fuente: autor.

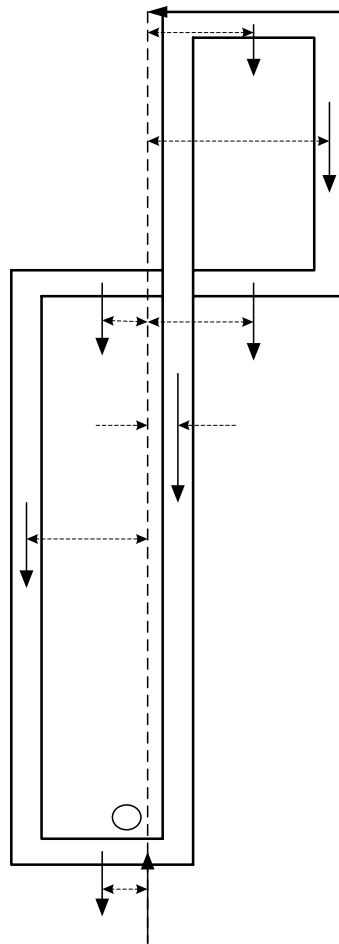
La presión ejercida por el crudo y el agua es igual a su columna de líquido, ver figura 15.

$p_1 = \rho g h_1$ para el crudo y $p_2 = \rho g h_2$ para el agua. Se analiza el caso más crítico que sería el recipiente con un nivel máximo de agua.

$$p_{m\acute{a}xima} = 26,86 [Kpa]$$

Las fuerzas ejercidas son:

Figura 18. Fuerzas ejercidas en el recipiente.



Fuente: Autor

El punto crítico es el señalado con el número uno, ver tabla número 2 y 3.

Tabla 2. Cargas actuantes en el punto crítico del recipiente separador.

Cargas	Valor (unidad)
Presión interna	26.86 (Kpa)
Fuerza	14.72 (N)
Momento	0.2807 (N-m)

Tabla 3. Esfuerzos en el punto crítico del recipiente separador.

Carga	Esfuerzo	Fórmula	Valor(unidad)
Momento	Flexión	$\frac{MC}{I}$	39.4(Mpa)
Fuerza	Cortante	$\frac{2V}{A}$	0.33 (Mpa)
Presión	Cortante	$\frac{Pr_{medio}}{t}$	0.15(Mpa)

El vidrio puede soportar un valor cercano a 72.4 Gpa,¹ lo cual lleva a concluir que el recipiente soporta estas cargas efectivamente.

¹ MARKS. Manual del Ingeniero Mecánico. México. Mc Graw-Hill.1995.

3. DISEÑO DEL CONJUNTO ESTRUCTURAL

Después de diseñar el separador trifluídico o trifásico se debe disponer de un conjunto de piezas que permitan hacer buen uso del separador y a su vez permita implementar la estrategia a seguir para medir los volúmenes separados.

3.1 DESCRIPCION DE LAS PIEZAS DEL CONJUNTO ESTRUCTURAL

El conjunto estructural esta diseñado sin descuidar la distribución dentro del laboratorio de recobro mejorado del (I.C.P.) atendiendo al espacio disponible, el cual establece que debe ubicarse dentro de un compartimiento que dispone de las siguientes medidas: 0.73 m de ancho, 1.27 de alto y 0.46 m de profundidad.

3.1.1 Bastidor. El primer paso para el diseño del bastidor consistió en la determinación de las funciones y los parámetros de este:

- Las medidas deben estar en concordancia con el espacio y la ubicación dentro del laboratorio de recobro mejorado del (I.C.P).
- El bastidor debe brindar estabilidad y soporte al conjunto.
- Debe brindar acceso visual de los elementos que dispone desde la parte frontal con el fin de que el operario pueda observar el comportamiento del separador durante las pruebas.

- El bastidor debe contar con el espacio suficiente para el montaje del separador y de el sistema medidor de volúmenes, para el correcto desarrollo de las pruebas de desplazamiento.
- Debe guardar formas y geometrías con criterio estético.
- Debe permitir el montaje de un sistema encargado de mantener horizontalmente el separador para obtener un mejor comportamiento del sistema medidor de volúmenes.

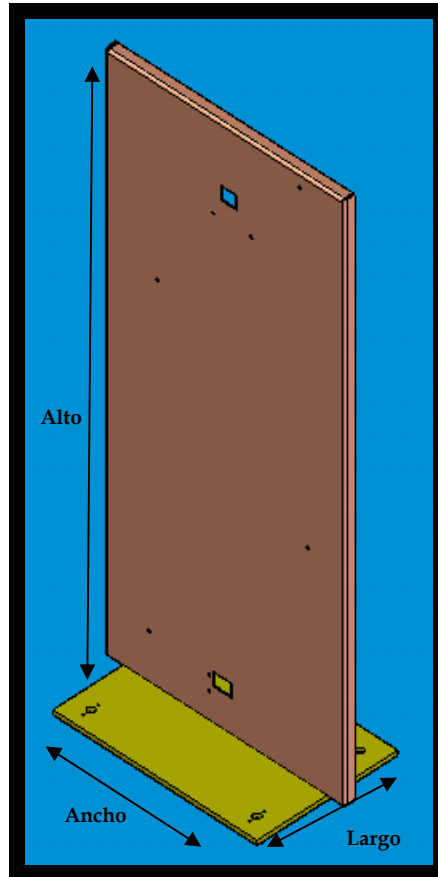
➤ **Especificaciones de diseño del bastidor.** Siguiendo los requerimientos se planteo la construcción de un conjunto rígido con la forma mostrada en la figura 18 y de las siguientes dimensiones:

- Alto: 1.02 m.
- Ancho: 0.51 m.
- Profundidad: 0.30 m.

Estas dimensiones permiten que el conjunto este adecuado para su ubicación dentro del laboratorio de recobro mejorado, ya que el espacio destinado a este propósito es de mayores proporciones.

Los detalles de las medidas se pueden observar en el anexo A, donde están los planos 00-00-02, 00-00-04 de cada pieza y del conjunto en general en el plano 00-00-01.

Figura 19. Conjunto del bastidor.



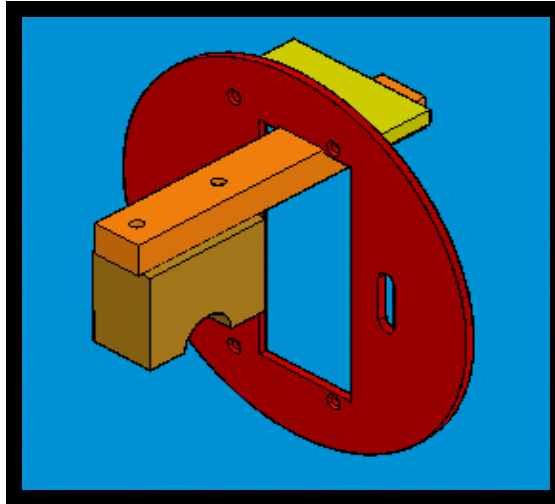
Fuente: Autor.

3.1.2 Soporte superior del separador. La principal función que tiene el soporte superior es dar estabilidad al separador permitiendo ciertos desplazamientos en sentido vertical y giros mínimos con el propósito de garantizar la perpendicularidad del separador y así obtener datos más exactos brindando una información confiable.

El material seleccionado para la elaboración del soporte superior fue el aluminio, debido a su bajo peso y resistencia a pesar que no soporta cargas considerables. El soporte no está pintado para dar una apariencia natural del aluminio con buenos acabados.

Los detalles se observan en el anexo A, planos 00-02-00 al 00-02-04.

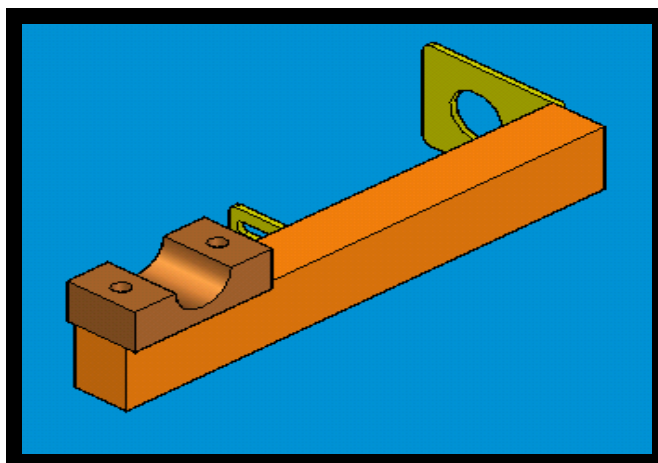
Figura 20. Soporte superior del separador.



Fuente: Autor.

3.1.3 Soporte inferior. El soporte inferior es el encargado del sostenimiento del separador, Permite el desplazamiento en sentido horizontal al igual que pequeños giros para que en conjunto con el soporte superior se garantice perpendicularidad a ala superficie del separador.

Figura 21. Conjunto del soporte inferior.

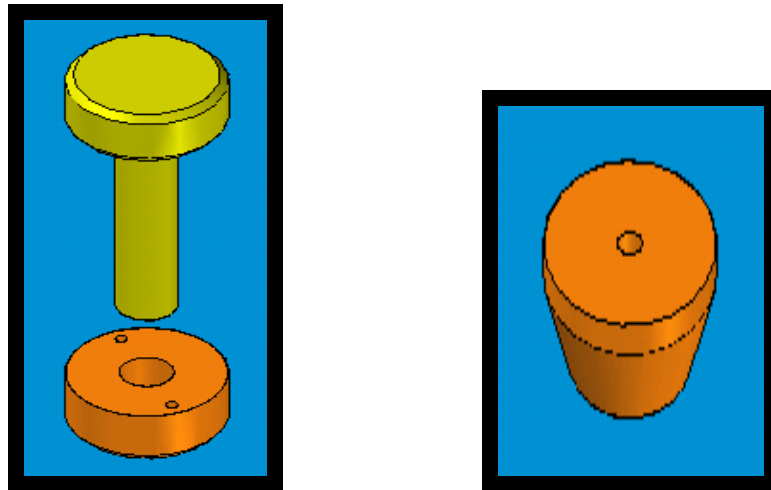


Fuente: Autor.

3.1.4 Sistema de nivelación. El sistema de nivelación consta de un tornillo con su respectiva tuerca anclada en la parte inferior de la platina de soporte del bastidor para permitir desplazamientos de todo el conjunto y obtener una nivelación adecuada.

En la parte trasera de la platina de soporte se ubica un apoyo cónico sin posibilidad de modificar la distancia ya que con los dos tronillos en la parte delantera es suficiente para su nivelación.

Figura 22. Elementos del sistema de nivelación del conjunto.



Fuente: Autor.

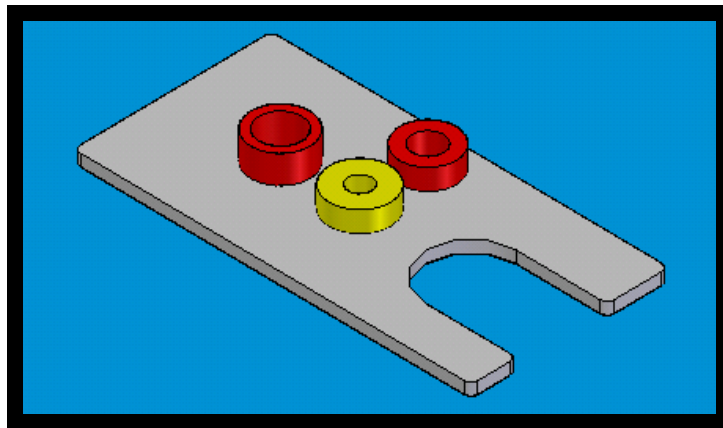
Los detalles en el anexo A, en los planos 00-00-13, 00-00-14 y 00-00-16.

3.1.5 Platina porta sensores. La platina porta sensores o movil es constituida por elementos que deben funcionar en conjunto, para óptimos resultados a saber.

- Bujes.
- Platina.
- Rodamientos.
- Tuerca.

La platina porta sensores se desplaza a través de las guías por acción directa del tornillo. En la platina se ubican los: sensores ópticos (en la parte frontal), los finales de carrera (parte trasera), ver los detalles en el anexo A, planos 00-00-09 al 00-00-12.

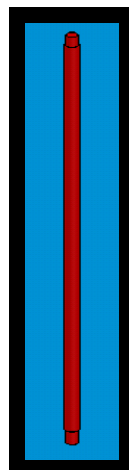
Figura 23. Platina porta-sensores.



Fuente: Autor.

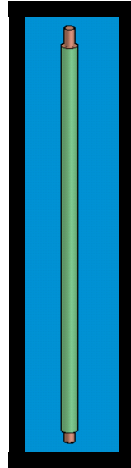
3.1.6 Guías. Se diseñaron dos guías para cada platina porta sensores con el fin de dar estabilidad y evitar que se produzcan truncamientos la desplazarse.

Figura 24. Guías.



Fuente: Autor.

3.1.7 Tornillo elevador. El tornillo es el encargado de desplazar la platina móvil o porta sensores hacia arriba o hacia abajo. El tornillo gira de acuerdo al movimiento dado por el motor paso a paso, en los dos sentidos, conectado a través de un acople flexible. Para ver los detalles observar anexo A, planos 00-00-15.



3.2 CONSTRUCCION DEL EQUIPO ESTRUCTURAL

Una vez realizado el diseño se procedió a la construcción de todos y cada uno de los elementos que componen el equipo estructural del separador trifluídico.

3.2.1 Construcción del bastidor. El bastidor consta de tres piezas que están unidas solidariamente a través de soldadura de arco, a saber:

- Lámina.
- Marco
- Platina de soporte.

La lámina es de acero galvanizado del calibre 16, con 1.01 m. de alto por 0.51m de ancho, pintada con laca de color amarillo hueso para conservar la línea del color de los demás equipos del laboratorio.

La lámina dispone de una serie de agujeros circulares y otros rectangulares con el propósito de implementar los demás conjuntos con fines específicos.

El marco fue hecho con varilla cuadrada de hierro de 3/8 de espesor, con 0.48 m de ancho y 1 m de alto, fue pintado con laca amarilla hueso y soldado a la parte trasera de la lámina para darle más rigidez y estabilidad.

La platina de soporte fue construida con hierro de 1/4 pulgada de espesor por 0.44m de largo y 0.3m de ancho, la pintura también es laca color blanco hueso.

Figura 25. Vista frontal del bastidor.



Fuente: Autor.

3.2.2 Soporte superior del separador. Esta construido en aluminio, sin pintar totalmente desarmable y permite movimientos y giros, Lo constituyen cuatro piezas y siete tornillos, y lo caracteriza su bajo peso y alta rigidez.

Figura 26. Construcción del conjunto del soporte superior.



Fuente: Autor.

3.2.3 Soporte inferior. Esta elaborado en aluminio, sin pintar pero con buenos acabados, permite desplazamientos hacia los lados y pequeños movimientos hacia arriba y abajo

Figura 27. Construcción del conjunto del soporte inferior.



Fuente: Autor.

3.2.4 Sistema de nivelación. El sistema de nivelación fue construido en P.V.C. material resistente, liviano y de buena maquinabilidad que ofrece buen agarre. Se construyeron dos tornillos con la cabeza de un diámetro adecuado para que el operario pueda hacer girar sin mayor esfuerzo, además las dos tuercas están solidarias a la platina de soporte con pegante industrial de contacto entre metales y plástico reforzados con tornillos de cabeza redonda.

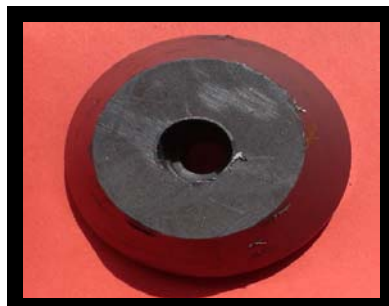
El apoyo cónico esta elaborado también de P.V.C. es de mayor altura que las tuercas para garantizar que el conjunto se apoye sobre los tornillos niveladores.

Figura 28. Tornillo y tuerca del sistema nivelador.



Fuente: Autor.

Figura 29. Soporte cónico del sistema de nivelación.



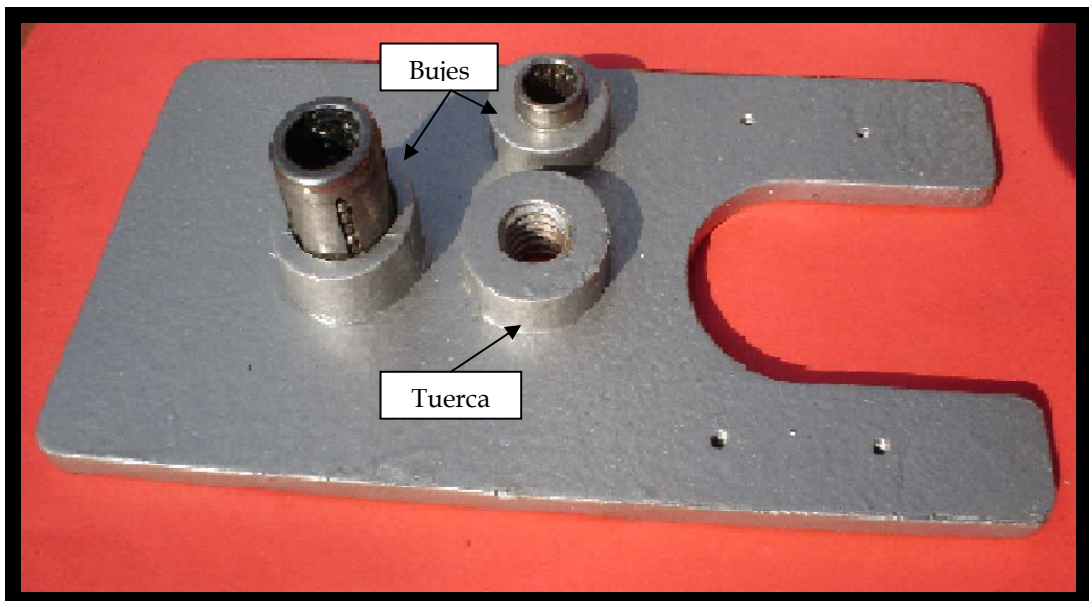
Fuente: Autor.

3.2.5 Platina porta sensores. La platina porta sensores se elaboró en aluminio, para dar resistencia y rigidez con bajo peso. Pintada en plateado martillado con buena apariencia de acabado.

El conjunto de bujes y tuerca se fabricaron en bronce y al igual que la platina porta-sensores se pintaron con plateado martillado.

Debido al desplazamiento lineal se hace necesario ubicar un buje que evite el desgaste en este sentido para ello se seleccionó un buje lineal de de bolas de la casa fabricante Thompson.

Figura 30. Conjunto de la platina porta sensores.

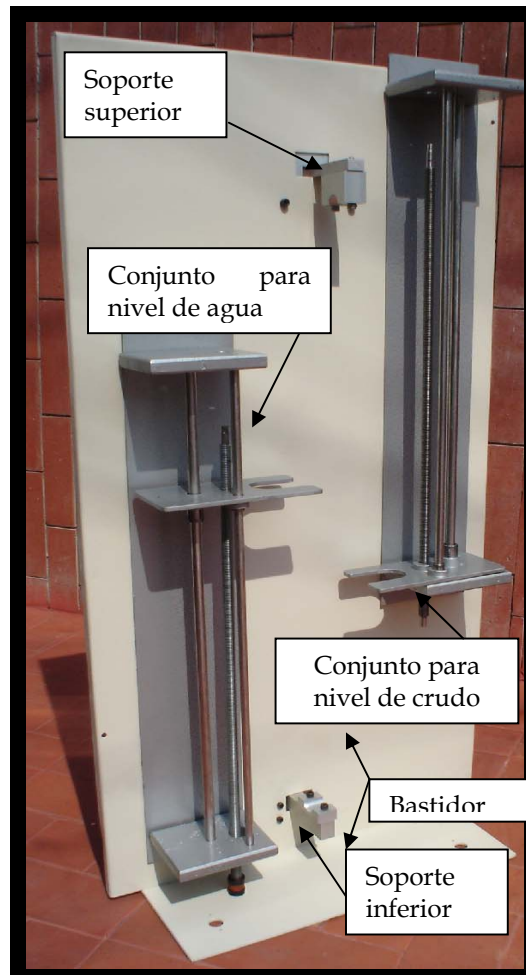


Fuente: Autor.

3.3 MONTAJE DEL EQUIPO ESTRUCTURAL

El montaje del conjunto se realizó obedeciendo los requerimiento de movimiento entre piezas, es así como los soportes se unieron al bastidor a través de tornillos, al igual que los finales de carrera, el motor paso a paso y los sensores ópticos, mientras que los bujes, y las guías se unieron a través de ajuste forzado. El conjunto del bastidor esta solidario con los elementos que o conforman a través de soldadura eléctrica de arco. Ver plano 03-00-00 en el anexo A.

Figura 31. Conjunto del bastidor con soportes.



Fuente: Autor.

Figura 32. Montaje físico general.





(g)



(h)



(i)



(j)



(k)



(l)

Fuente: Autor.

En la figura 31 se observa el montaje y la ubicación del separador trifluídico dentro del laboratorio de recobro mejorado, la cual es fragmentada en cuadros identificados con letras y descritas así:

- (a) muestra por su parte trasera el soporte superior.
- (b) muestra por su parte trasera el soporte inferior.
- (c) deja ver el montaje del sistema de nivelación.
- (d) ofrece un vista lateral del sistema de nivelación y el soporte inferior.
- (e) muestra el montaje de la placa de soporte inferior al bastidor y la conexión del motor paso a paso al tornillo a través de el acople flexible.
- (f) deja ver el montaje de los sensores ópticos a la platina móvil, además se observa la platina encargada de accionar los sensores finales de carrera.
- (g) muestra el soporte superior sosteniendo el separador.
- (h) muestra la placa de soporte inferior donde esta el sensor óptico tipo barrera encargado del final de carrera.
- (i) deja ver el montaje de las dos placas móviles desde la parte frontal
- (j) muestra el montaje general, la disposición dentro del laboratorio de recobro mejorado del I.C.P. y el equipo coreflooding.
- (k) deja ver la vista frontal del separador con sus dos platinas móviles.
- (l) muestra el separador dentro del cubículo donde es su lugar de ubicación, dentro del laboratorio.

4. DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL SISTEMA MEDIDOR DE VOLUMENES

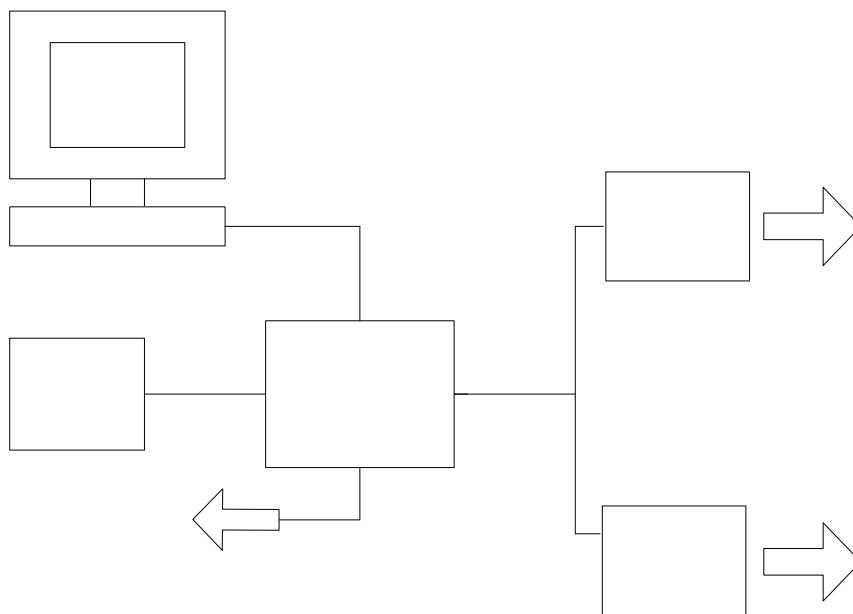
4.1 ARQUITECTURA GENERAL DEL SISTEMA

El sistema medidor de volúmenes implementado involucra elementos mecánicos en asocio con dispositivos electrónicos, bajo el control del sistema supervisor de opto 22, el software Factory Floor. Ver figura 32.

Los dispositivos mecánicos involucrados fueron descritos en capítulos anteriores, mientras que los dispositivos electrónicos utilizados fueron los siguientes:

- Finales de carrera.
- Motores paso a paso.
- Sensores Ópticos.
- Hardware del sistema supervisor Opto 22.

Figura 33. Arquitectura General del sistema medidor de volumen.



Fuente: Autor.

4.1.1 Controlador. El sistema está soportado en la tecnología Snap de la casa fabricante Opto 22, el procesador lo constituye un controlador de la misma casa Opto 22, el Snap LCSX PLUSS (figura 33) el cuál se ocupa de las tareas de adquisición de datos, procesamiento y control.

Los controladores SNAP de Opto 22 son computadores orientados a aplicaciones en sistemas de control. Su arquitectura y especificaciones permiten la ejecución de una estrategia de control con alto grado de confiabilidad y velocidad de respuesta. También, brinda la capacidad de comunicación con una red de campo y/o un sistema supervisor de alto nivel con acceso a una red administrativa. El procesador principal, un microprocesador Motorola 68020, con procesamiento de datos de 32 bits a 16 MHz. Adicionalmente, el controlador posee un coprocesador matemático, el coprocesador Motorola 68881, que permite el cálculo de matemática flotante en formato IEEE.

Los programas de control son almacenados en memoria RAM con batería de respaldo o memoria FLASH EPROM, según la aplicación, garantizando que a información no se pierde por ausencia de energía de alimentación.

El sistema operativo del controlador permite que los programas sean configurados para ser ejecutados en multitarea, hasta 32 tareas pueden ser ejecutadas en forma casi simultánea. En el peor de los casos una tarea será atendida cada 0.016 seg.

La configuración de la estrategia de control es realizada en forma relativamente simple por medio del programa Opto-Control, el cual facilita la programación estructurada y documentada en forma accesible para ingenieros de proceso y de sistemas.

Los controladores están equipados con puertos para comunicación usando los protocolos RS232, RS485, ARCNET y Ethernet. El controlador Snap LCSX PLUS consta de 4 puertos de comunicaciones los cuales son distribuidos en el laboratorio de la siguiente manera:

- COM 0: Puerto destinado para uso exclusivo con la estación de trabajo del operador, se ocupa del intercambio de información entre el exterior y el sistema utilizando para tal fin el software denominado Opto Display, contenido dentro del software paquete factory floor de la casa opto 22, el cual se constituye en una poderosa interfaz gráfica que permite la visualización del Equipo, soporta únicamente el estándar 232, hasta una velocidad de 115.000 bps, y protocolo ASCII o binario, el cual puede ajustarse.
- COM 1: Puerto de comunicaciones para uso exclusivo del denominado nodo local, el cuál lo constituye hardware de adquisición de datos, control y manipulación de variables, soporta estándar RS-485 2 y 4 hilos, y protocolos MISTIC y OPTOMUX, su conexión es exclusiva a la unidad Snap Brain B3000.
- COM 2: Puerto de comunicaciones para uso general, soporta estándares RS-232C o RS-485, y velocidades de hasta 115.000 bps, el protocolo de comunicaciones es binario, razón por la cuál es transparente para cualquier protocolo que se desee implementar.
- COM 3: Puerto de comunicaciones para uso general, soporta estándares RS-232C o RS-485, y velocidades de hasta 115.000 bps, el protocolo de comunicaciones es binario, razón por la cuál es transparente para cualquier protocolo que se desee implementar. Para este desarrollo este puerto se utilizó para comunicarse con las estaciones Modbus encargadas del control de los sensores de nivel, para tal fin se utilizaron los siguientes parámetros.

- Estándar RS-485
- Velocidad 115.000 bps
- Protocolo Modbus RTU.

El sistema implementado de esta forma permitirá la centralización de la información en el cerebro del controlador, la unidad Brain B3000 y de ahí exportada cuando se requiera a los mímicos de la interfaz o a los archivos de almacenamiento de datos, residentes en la memoria del Computador de operación, es de anotar que la exportación no se hace de manera continua, ésta se ejecuta solo cuando los grupos de datos son solicitados, condición que permite la descongestión del sistema de comunicaciones.

El controlador Snap se constituye en una poderosa herramienta de control y automatización industrial de dimensiones reducidas, sólo necesita un suministro de energía de 5 voltios DC, en cuanto a la sujeción mecánica requiere un riel tipo DIN convencional, posee un procesador de 32 bits, capaz de realizar complicados cálculos y procesos, para el proceso de escritura de una estrategia en memoria utiliza la herramienta llamada Opto Control de Opto 22, lo que facilita en gran medida el desarrollo de complejos algoritmos.

Figura 34. Controlador SNAP-LCSX (Arriba) y el SNAP LCSX-PLUS(abajo) de opto 22.



Fuente: OPTO 22. Opto control, User's guide. Opto 22. 2001. p 2-2.

4.1.2 Adquisición de datos y comunicaciones. Para el sistema general de adquisición de datos se dispone de un control de tecnología Snap de la casa fabricante Opto 22, en el cual se consideran dos frentes fundamentales:

- Adquisición de Datos. El sistema Snap utiliza para la adquisición de datos un conjunto llamado Brain B-3000 (figura 34) en asocio con racks (figura 36), donde se soporta una serie de módulos específicos al estándar eléctrico a utilizar por los elementos sensores y actuadores. Estos racks vienen presentados de acuerdo a la cantidad de módulos que son capaces de soportar, en términos generales están referenciados en cuatro presentaciones: B4M para 4 módulos, B8M para 8 módulos, B12M para 12 módulos y B16M para 16 módulos.

Cada rack especifica el tipo de módulo que es capaz de manejar, ya sea análogo o digital; además existen racks que abarcan la posibilidad de manejar tanto señales análogas como digitales dentro del mismo conjunto.

Figura 35. SNAP B3000 de opto 22.



Fuente: OPTO 22. Opto control, User's guide. Opto 22. 2001. p 3-4.

Este conjunto electrónico se ocupa de convertir cada una de las señales provenientes de campo y las codifica en protocolo mistic y luego las surte al controlador a través del COM1 (dedicado) a una velocidad de 115.000 bps, dentro de una red RS-485, el cuál dentro de la arquitectura Snap es capaz de soportar 1024 puntos de medida entre análogos y digitales.

El rack esta compuesto por unidades inteligentes de entrada/salida (Figura 35) los cuales son los elementos del sistema de control distribuido que operan como una interfase inteligente entre el proceso y el sistema de control. Están conformadas por módulos (digitales o análogos) y por un microprocesador (cerebro) que permite la ejecución de acciones directas de control y de comunicación con el controlador mistic.

Los módulos de E/S reciben/envían las señales de los sensores/actuadores en el campo. Los cerebros procesan y si es necesario transmiten esta información, en formato digital, a los controladores responsables del siguiente nivel. Los cerebros también son responsables de garantizar una rápida respuesta de control directo, por sí mismos, análogo o digital.

Las unidades de entrada-salida poseen capacidad de procesamiento suficiente para realizar las funciones de:

- Control de lazo PID
- Totalización
- Promedio
- Filtrado
- Generación de rampas
- Generación de formas de onda
- Conteo
- Captura de eventos
- Medición de duración de pulsos
- Salida de tiempo proporcional

Figura 36. Módulos de entrada/salida.



Fuente: OPTO 22. Opto control, User's guide. Opto 22. 2001. p 3-8.

- Comunicaciones digitales

El controlador consta de 2 puertos auxiliares denominados COM 2 y COM 3 que soportan estándar RS-485 o RS-232C, los cuales son ajustables de acuerdo a la necesidad particular.

Estos dos puertos son de protocolo abierto, lo que permite implementar, a través de estrategias de Opto Control, el drive de comunicaciones para equipos que tengan la habilidad de comunicarse digitalmente con otros, para implementar controles distribuidos a través de una red, o sencillamente utilizar las estaciones secundarias como repetidores del control central.

Figura 37. Rack Standard con módulos I/O soportados en el riel DIN.



Fuente: OPTO 22. Opto control, User's guide. Opto 22. 2001. p 4-3.

4.1.3 Sensórica Básica. El conjunto de la sensórica básica encierra en general los motores paso a paso, los finales de carrera, los sensores ópticos y la digitalización de los gasómetros.

➤ **Los motores paso a paso.** El motor de paso a paso es un elemento capaz de transformar pulsos eléctricos (información digital) en movimientos mecánicos. El eje del motor gira un determinado ángulo por cada impulso de entrada. El resultado de este movimiento, fijo y repetible, es un posicionamiento preciso y fiable. Un motor de paso a paso puede girar, en ambos sentidos, un número exacto de grados, con incrementos mínimos determinados por el diseño. Los motores paso a paso están constituidos normalmente por un rotor sobre el que van aplicados distintos imanes permanentes y por un cierto número de bobinas excitadoras bobinadas en su estator.

◆ **Tipos de motores paso a paso :** Existen tres tipos de motores paso a paso a saber:

- De imán permanente. Está formado por un estator de forma cilíndrica, con un cierto número de bobinados alimentados en secuencia, que crean un campo magnético giratorio de manera discontinua. El rotor, concéntrico con el estator y situado sobre el eje, contiene un imán permanente magnetizado, que en cada instante tenderá a alinearse con el campo magnético creado.

Su principal ventaja es que su posicionamiento no varía aun sin excitación y en régimen de carga debido a la atracción entre el rotor y los entrehierros del estator.

- De reluctancia Variable. El estator presenta la forma habitual, con un número determinado de polos electromagnéticos. Sin embargo, el rotor no es de imán permanente sino que está formado por un núcleo de hierro dulce de estructura cilíndrica pero con un cierto número de dientes tallados longitudinalmente a lo largo de su superficie lateral.

Cuando una corriente circula a través del bobinado apropiado, se desarrolla un momento que hace que el rotor gire a la posición en la cual la reluctancia del circuito sea mínima. Cuando se hace pasar una corriente a través de otro bobinado, el punto de reluctancia mínima se genera en otra posición, produciendo el giro del rotor a esa nueva posición.

La principal ventaja es su elevada velocidad de accionamiento. Y su principal desventaja es que en condiciones de reposo (sin excitación) el rotor queda en libertad de girar y, por tanto, su posicionamiento en régimen de carga dependerá de su inercia y no será posible predecir el punto exacto de reposo.

- Híbridos. Son combinación de los dos tipos anteriores; el rotor suele estar constituido por anillos de acero dulce dentado en un número ligeramente distinto al del estator y dichos anillos montados sobre un imán permanente dispuesto axialmente.

Se obtienen importantes pares de accionamiento, un gran número de pasos por vuelta y una frecuencia de trabajo elevada.

◆ **Características de los motores de pasos.** Los motores de pasos se diferencian de los otros tipos de motores por las siguientes características:

- Convierten pulsos eléctricos en movimientos rotacionales discretos.

- No son muy rápidos en términos de RPM (revoluciones por minuto), en comparación con los demás tipos de motores, por ejemplo para un motor de 1000 pasos por segundos, tiene un RPM de 150 y 1.8° por paso.
- Siempre necesitan de un circuito especial externo para controlarlo (driver o manejador) debido a que no se le puede conectar directamente a una fuente de alimentación.
- Son ideales para el posicionamiento, ya que son de fácil manejo y normalmente no necesitan una constante realimentación (lazo cerrado de control) o monitoreo. Lo único que se requiere es transmitir un número exacto de pasos para llevarlo a una posición exacta y repetible. El motor de paso de lazo abierto es ideal para sistemas que operan a bajas aceleraciones y cargas estáticas, pero un sistema de lazo cerrado sería esencial para altas aceleraciones y cargas variables.
- Alcanzan una gran precisión y pueden moverse en incrementos muy pequeños, característica difícil de lograr en los motores DC pues aunque se corte la energía al motor muy rápido, la inercia del rotor continuará girando el eje hasta una posición casual.
- Debido a su bajo costo y pequeño tamaño en comparación con los demás tipos de motores, son empleados en disk-drives, impresoras, plotters, etc.
- Voltaje: Los motores de pasos usualmente tienen un rango de voltaje, que va indicado en el mismo motor o en las hojas de datos. A veces es necesario exceder el rango de voltaje para obtener el torque deseado de un motor dado, pero esto puede sobrecalentar y/o disminuir el tiempo de vida del motor.

- Resistencia: Una característica común es la resistencia por bobina. Esta resistencia determinará la corriente que pase por el motor, también como la curva de torque del motor y la máxima velocidad de operación.
- Grados por paso: Este es el factor más importante al momento de seleccionar un motor para una determinada aplicación. Este factor especifica el número de grados que el rotor girará por cada paso. En la operación de medio paso del motor, el número de pasos por revolución es el doble y los grados por revolución se reducen a la mitad. Hay motores de 0.72° , 1.8° , 3.6° , 7.5° , 15° , y hasta 90° por paso. Los grados por paso es comúnmente referido como la resolución del motor.
- Con las características se seleccionó un motor bipolar de de 200 pasos es decir 1.8 grados por paso, marca EPSON de referencia EM 258-69060. Ver figura 37.

Figura 38. Motor paso a paso Epson EM 258.



Fuente: Autor.

➤ **Sensores ópticos.** Un sensor es un dispositivo constituido por elementos sensibles (células) que permite detectar variaciones en una magnitud física convirtiéndolas en señales útiles para un sistema de medida o de control.

Un sensor óptico se basa en el aprovechamiento de la interacción entre la luz y la materia para determinar las propiedades de ésta. Una mejora de los dispositivos sensores, comprende la utilización de la fibra óptica como elemento de transmisión de la luz.

◆ Componentes básicos. Un sensor fotoeléctrico tiene cuatro componentes básicos:

- Fuente de luz
- Sensor de luz
- Lentes
- Dispositivo de conmutación de salida

◆ Fuente de luz. Un diodo emisor de luz (LED) es un semiconductor de estado sólido que emite luz cuando se aplica corriente. Los LEDs se construyen para emitir longitudes de onda específicas o colores de la luz. Como fuente de luz se utilizan LEDs que emiten radiación infrarroja, roja visible, verde y azul en la mayoría de sensores fotoeléctricos.

El diferente color de los LEDs ofrece distintas características deseables. Los LEDs infrarrojos son los más eficaces, pues son los que más porcentaje de luz emiten y los que menos calor disipan, comparados con los de los tipos visibles.

La cantidad de luz generada por el indicador LED en la fuente de luz es determinada por la cantidad de corriente que éste conduce. Para

incrementar el rango de un sensor fotoeléctrico, la cantidad de corriente ha de aumentarse. Los sensores fotoeléctricos cambian rápidamente de estado o modulan la corriente que atraviesa al LED. Un ciclo de servicio ligero (generalmente menor del 5 %) permite que la cantidad de corriente, y por lo tanto la cantidad de luz emitida, exceda en gran medida la cantidad mínima necesaria.

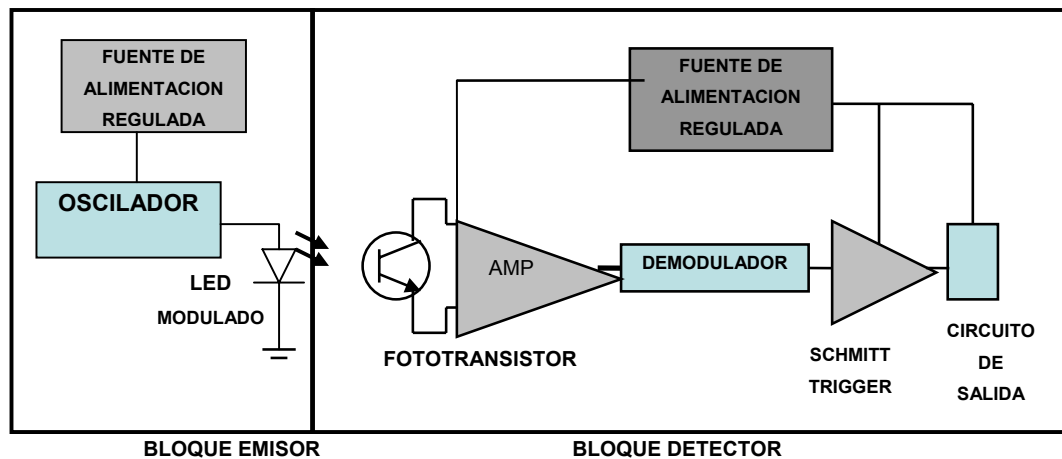
- ◆ **Detección de luz.** Un fotosensor es el componente usado para detectar la fuente de luz. El fotodiodo o fototransistor es un componente robusto de estado sólido que proporciona un cambio en la corriente conducida dependiendo de la cantidad de luz detectada. Los fotosensores son más sensibles a la emisión lumínica de ciertas longitudes de onda. La respuesta espectral de un fotosensor determina su sensibilidad a las diferentes longitudes de onda del espectro lumínico.

- ◆ **Lentes.** Los LEDs emiten luz y los fotosensores son sensibles a la luz en un amplio campo de visión. Para restringir este campo se utilizan lentes acopladas a los LEDs y a los fotosensores. Al reducir el ángulo de visión se incrementa el rango del LED o del fotosensor. Como resultado, las lentes también aumentan la distancia de detección de los sensores fotoeléctricos. El haz de luz que emerge de una combinación de LED y lente es de una conicidad característica. El área del cono se incrementa con la distancia. Algunos sensores fotoeléctricos se optimizan para lograr una distancia de detección extra. El haz de luz emitido por estos sensores es sensiblemente estrecho. En cualquier caso la operación de alineamiento puede llegar a ser dificultosa si el campo de visión es demasiado estrecho.

- ◆ **Dispositivo de salida.** Una vez detectado el cambio de luz suficiente, el sensor fotoeléctrico selecciona un dispositivo de salida relacionado a la lógica de la maquinaria. Se dispone de varios tipos de salidas discretas y

variables (analógicas) cada una de ellas con sus potencias y limitaciones características. El margen es una medida de la cantidad de luz de la fuente, que es detectada por el receptor. Un margen de cero ocurre cuando el sensor de luz no puede detectar nada de la luz emitida por la fuente de luz y un margen de uno se obtiene cuando se detecta la cantidad de luz suficiente para cambiar de estado el dispositivo de salida de conectado al de desconectado, o viceversa.

Figura 39. Esquema de funcionamiento de un sensor óptico.



Fuente: Autor.

♦ Ventajas de un sensor óptico emisor de luz. El sensor emisor de luz frente a los demás sensores, ofrece ciertas ventajas como:

- Capacidad de ubicación en entornos extremos: líquidos inflamables, elevadas temperaturas, requerimientos de peso reducido.
- Reducción del consumo del dispositivo y control de sensibilidad adicional gracias al receptor LDR.
- Sencillez, peso reducido, bajo coste y posibilidad de control remoto.

- No emite radiaciones ni se ve afectado por interferencias electromagnéticas.
- Fácilmente integrable con el medio de transmisión.
- Intrínsecamente seguro sin necesidad de elementos adicionales.
- No intrusivo.

En la estrategia se utilizaron dos tipos de sensores ópticos, el primero encargado de captar la posición del nivel de los fluidos y el segundo encargado de fijar los límites de carrera de la placa porta-sensores con el fin de evitar choques, altamente dañinos al conjunto.

El aplicado para medir los niveles, es un sensor óptico para captar nivel de líquidos, figura 39, cuyo funcionamiento está basado en la variación de resistencia de una LDR en función de la intensidad luminosa que le llega. Esta radiación disminuye o aumenta a medida que se interpone, entre el emisor y el receptor LDR, un medio con un índice de refracción distinto del cual está tomando la medida, para los dos casos en la interfaz de agua crudo y en la de crudo gas.

Figura 40. Sensor óptico láser.



Fuente: Autor.

El sensor óptico de barrera, ver figura 40, es el encargado de informar al control los límites de la carrera de la placa porta-sensores, se puede abrir o cerrar el circuito de acuerdo a si el interruptor ve o no interrumpido su rayo de luz infrarroja.

Figura 41. Sensor óptico de barrera.



Fuente: Autor.

4.2 SOFTWARE FACTORY FLOOR

Para el diseño de la estrategia se utilizó el software ya existente factory floor 4.0 de la casa fabricante Opto 22. Factory Floor es una herramienta fundamental para la adquisición, control e intercambio de datos adecuado para realizar todas las tareas de automatización de un proceso con todas las prestaciones e intercambio de información compatible con los paquetes actuales de procesamiento de datos.

El software Factory Floor requiere unas condiciones mínimas del sistema de computación. Para su instalación y aplicación Factory Floor necesita:

- Procesador mínimo de 200 MHz o superior.

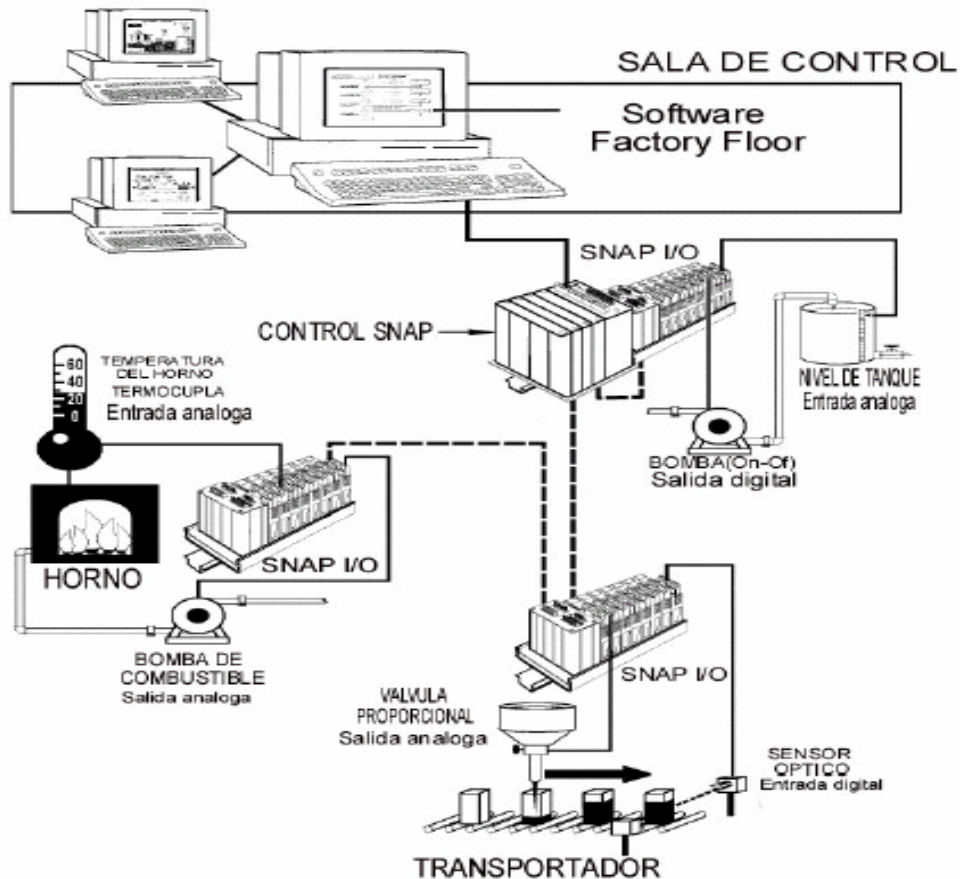
- Microsoft Windows 95 o NT 4.0 o un sistema operativo mas avanzado.
- Por lo menos 16 MB de RAM para Windows 95 o 32 MB de RAM para
- Windows NT 4.0 (Se recomienda 64 MB).
- Por lo menos 15 MB de espacio en disco duro disponible
- Monitor VGA o Super VGA (Se recomienda Super VGA)
- Mouse
- Impresora y puerto paralelo para imprimir (Opcional).

El paquete supervisor Factory Floor de Opto 22 para cubrir todas las necesidades se divide en cuatro sub-paquetes a saber.

4.2.1 Opto control. Es un lenguaje de programación por si mismo documentado, basado en organigramas. El software permite ser programado para el control de la automatización industrial, el control de un sistema calorífico o para supervisar procesos en fábricas complejas.

La figura41 muestra cómo el software Factory Floor, Opto Control y los componentes de un Computador Personal, pueden trabajar con el hardware como sistema de control y supervisión de procesos industriales. El diagrama muestra algunos ejemplos de controladores, módulos de entradas/salidas (I/O), entradas y salidas analógicas y digitales.

Figura 42. Ejemplo de opto 22 como control y supervisor de procesos industriales.



Fuente: OPTO 22. Opto control, User's guide. s.l:Opto 22. 2001. p 2-2.

◆ Hardware adicional requerido. Para cargar y correr las estrategias de Opto Control, es necesario disponer del siguiente hardware:

- Controlador Opto22.
- Unidades de entradas y salidas Opto22.
- Módulos Opto22 dependiendo de las unidades de E/S que se estén utilizando.

Para comunicarse con un controlador, se requiere del siguiente hardware:

- Puerto serial estándar RS-232.
- Tarjeta ARCNET SMC-PC130.
- Tarjeta Ethernet.
- Tarjetas adaptadoras Opto22 AC24AT, AC37, AC47, o AC422AT.

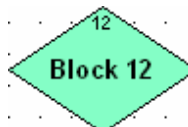
Opto control dispone dentro de sus aplicaciones de Opto Runtime, que es un sistema simulador del Snap controlador, para poder correr las estrategias sin necesidad del hardware, ni del controlador.

◆ Ambiente de trabajo: Opto Control utiliza en su interfaz de programación el diseño de algoritmos utilizando diagramas de flujo y, para ser más exactos cuatro tipos de bloques:

- Rectángulo; soporta Instrucciones de acción.



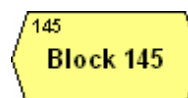
- El Rombo; instrucciones de decisión.



- El óvalo; que representa saltos en una ruta de acción.



- La forma de diamante o hexagonal, contiene y codifican, OptoScript que es un método optativo de programar con lenguaje C++ o Visual Basic.

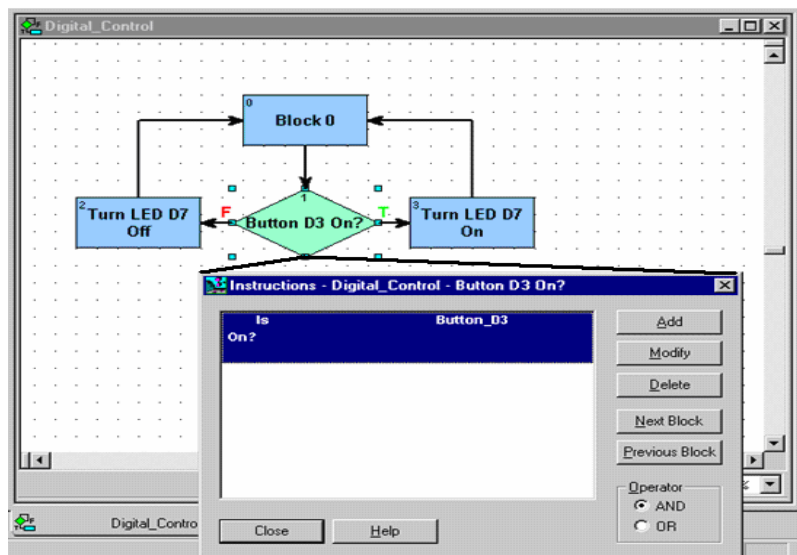


Adicionalmente y debidamente relacionado con el bloque seleccionado, Opto Control asocia una vasta librería de instrucciones desde las sencillas operaciones aritméticas hasta tratamiento de bits dentro de procesos binarios; cada programa desarrollado toma el nombre de estrategia que luego es compilado en lenguaje maquina y descargado al controlador, el cual ejecuta las instrucciones.

Paralelamente la interfaz de programación cuenta con las habituales prestaciones en cuanto a manejo de archivos y herramientas de edición existentes en la mayoría de los paquetes que corren bajo Windows, guardar, grabar, pegar, cortar, cambiar colores etc, hacen parte esencial del entorno de programación.

Cada bloque recibe instrucciones que se encargan de informarle la labor que debe realizar en el organigrama, para controlar el proceso; los bloques puede recibir diferentes instrucciones al mismo tiempo.

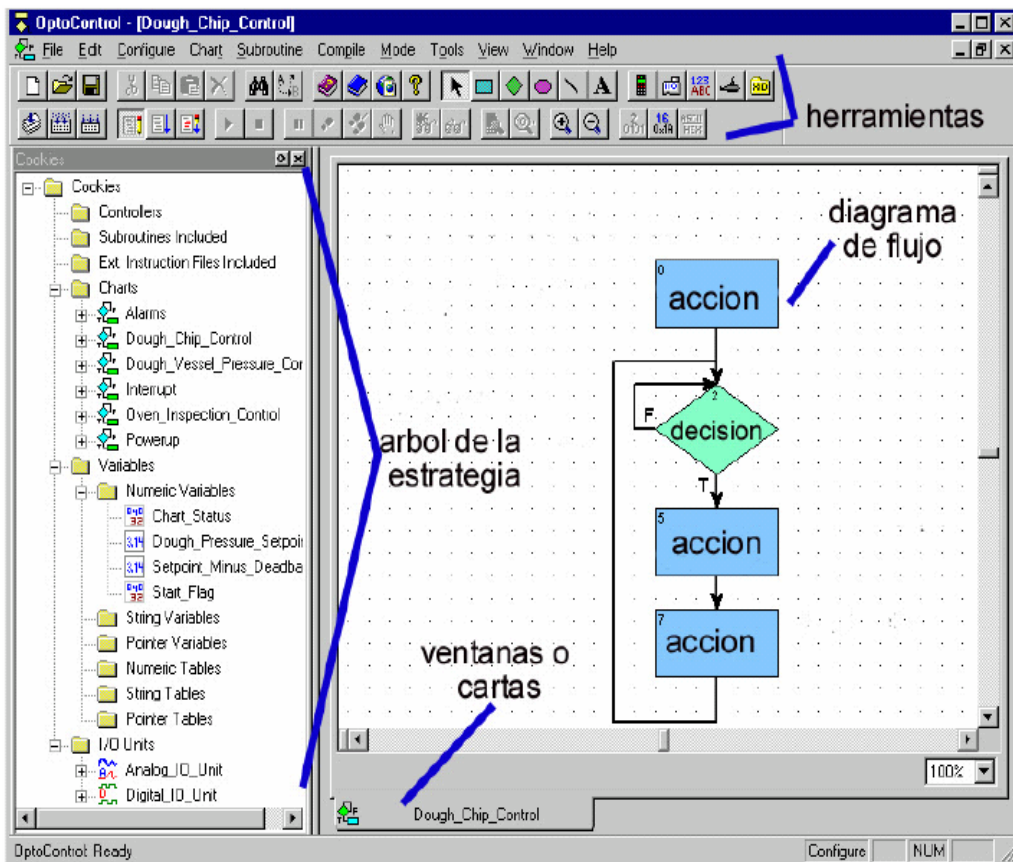
Figura 43. Escritura de las instrucciones de un bloque.



Fuente: Autor.

Opto control se desarrolla de acuerdo al diseño de ventanas o cartas, dentro de las cuales están los diagramas de bloques, que obedecen a la programación y estrategia trazada en cada uno de estos bloques.

Figura 44. Ventana de opto control con diagrama de bloques, árbol de la estrategia y herramientas.



Fuente: Autor.

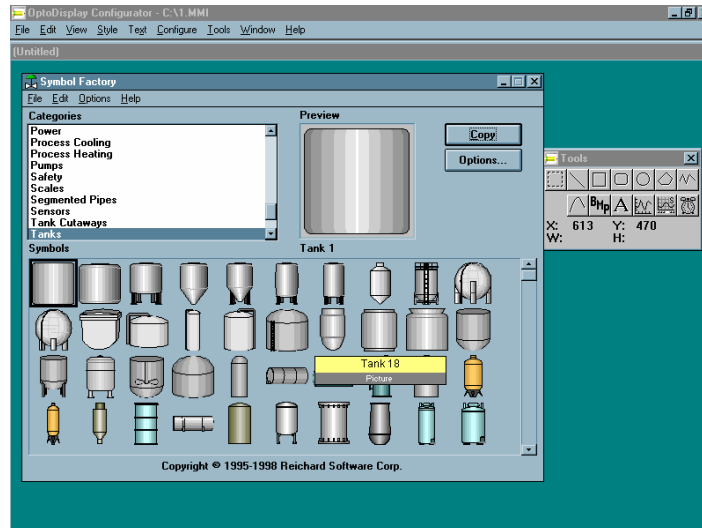
4.2.2 Opto display. Es el segundo paquete en importancia dentro de la integración Factory Floor, comprende las llamadas Tareas de frente, su principal labor es ser la interfaz hombre maquina HMI (human-machine interface) permite presentar de manera gráfica las variables y

datos de procesos corriendo en controladores Opto 22 Industriales en tiempo real. Con este paquete, fácilmente se pueden crear aplicaciones de monitoreo y supervisión, en el que se pueden manejar notificaciones de alarmas, tendencias, cambios de puntos de ajustes, cambios en las variables, efectos de visualización, animaciones, instrumentación virtual, reacciones a puntos de alarmas, e inferencia dentro de la estrategia de control, almacenamiento de históricos y manejo de tiempo de refresco de los grupos de variables que así lo requieran, la velocidad de intercambio de información entre una aplicación en Opto Display y un controlador Opto 22 es de 115.000 bps, es necesario aclarar que el sistema solo refresca los datos de las pantallas que se encuentren abiertas en dicho momento, en caso contrario no se hace requerimiento al controlador sino que se pasa a la siguiente variable que sea solicitada.

Opto Display maneja una programación orientada a objetos, donde cada elemento dentro del campo de visualización tiene una serie de propiedades, por medio de los cuales se puede condicionar las mismas de acuerdo a una variable previamente determinada y que sea residente en un controlador Opto 22. Características como el color, dimensiones o posición, son fácilmente enlazables a condiciones dentro de los controladores permitiendo la realización de mímicos más coherentes con la realidad física de los procesos.

La interfaz de programación conserva las facilidades de los entornos Windows, el paquete es básicamente de diseño grafico razón por la cuál la gran mayoría de herramientas están orientadas hacia el dibujo.

Figura 45. Ventana de opto Display.



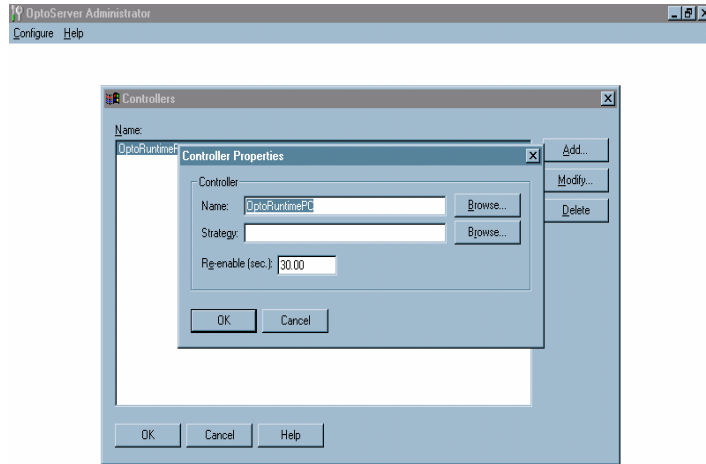
Fuente: Autor.

4.2.3 Opto Server. Es una poderosa herramienta basada en la filosofía cliente servidor que permite el intercambio de información entre redes de computadores y redes de controladores Opto 22. Se puede utilizar para realizar integraciones entre Factory Floor y aplicaciones de Microsoft como visual Basic o C ++ .

Fácilmente se pueden crear estaciones de trabajo remotas partiendo de una red básica de computadoras, permitiendo con un reducido costo, transferir datos de un proceso de un punto a otro de la red, el paquete se soporta directamente sobre la red lógica, lo que disminuye los costos de transporte siempre y cuando la red ya se encuentre instalada.

Opto Server sencillamente pone en la red una serie de datos de un controlador específico, ya es tarea del cliente tomar dichos datos y depende en gran manera del tipo de soporte lógico escogido para la aplicación. Ver figura 45.

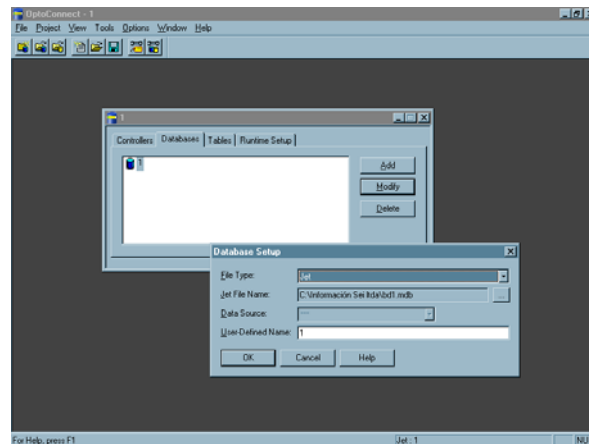
Figura 46. Entorno del configurador de Opto Server



Fuente: Autor.

4.2.4 Opto Connect. Es una herramienta de conectividad que enlaza en tiempo real información de controladores Opto 22 con Microsoft SQL Server y Bases de datos Access, con lo cuál se consigue un flujo bi-direccional entre ambas aplicaciones a muy alta velocidad, constituyéndose en una herramienta de gran flexibilidad que permite la implementación de extensas redes de trabajo e incluso entre locaciones remotas .

Figura 47. Ambiente típico de Opto Connect



Fuente: Autor.

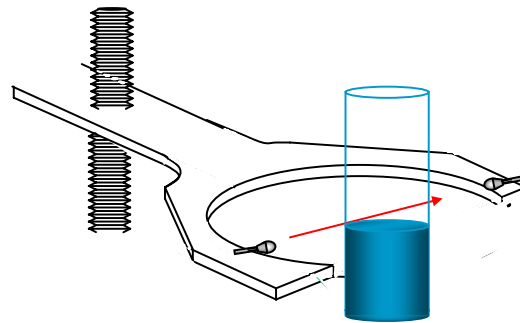
4.3 IMPLEMENTACION DE LA ESTRATEGIA PARA MEDIR LOS VOLUMENES SEPARADOS.

En el marco de la implementación de la estrategia, para medir los volúmenes de producción se utilizó la sensorica básica descrita con anterioridad, junto con el hardware de opto 22, tarjetas multifuncionales y dos tarjetas esclavo para cada uno de los niveles a medir.

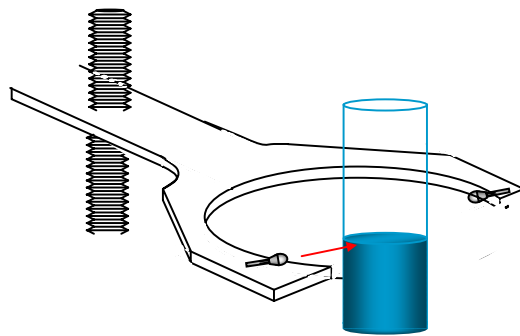
La estrategia obedece al principio de funcionamiento del sensor óptico láser seleccionado. Se aplica a la detección de un rayo de luz que es capaz de pasar a través del recipiente separador (Ver figura 47). Se deben implementar dos formas de tratar la señal: La primera es para el nivel de agua y se interpreta cuando la cantidad de energía que recibe el foto-sensor, esta por fuera y por encima del rango de la energía con la cual esta programado, esto se interpreta como que el nivel agua subió y obliga a buscar el nuevo nivel obedeciendo al controlador; la segunda es para el nivel de crudo y se interpreta cuando la cantidad de energía que recibe el foto-sensor, esta por fuera y por debajo del rango de la energía con la cual esta programado el foto-sensor, esto es interpretado como que el nivel de crudo subió y obliga a buscar el nuevo nivel, obedeciendo al controlador, el cual puede ser programado para que invierta las ordenes si se quiere dejar estático un nivel y evacuar fluido del recipiente a la misma tasa de inyección de la prueba.

Los motores paso a paso son los encargados de ayudar al conjunto del sensor óptico láser, a recuperar el punto de mira, girando en algún sentido para desplazar la platina móvil hacia arriba o hacia abajo, en busca del nivel, obedeciendo las órdenes del controlador.

Figura 48. No interrupción y interrupción del haz de luz del sensor óptico.



Posición de no interrupción del haz



Posición de interrupción del haz

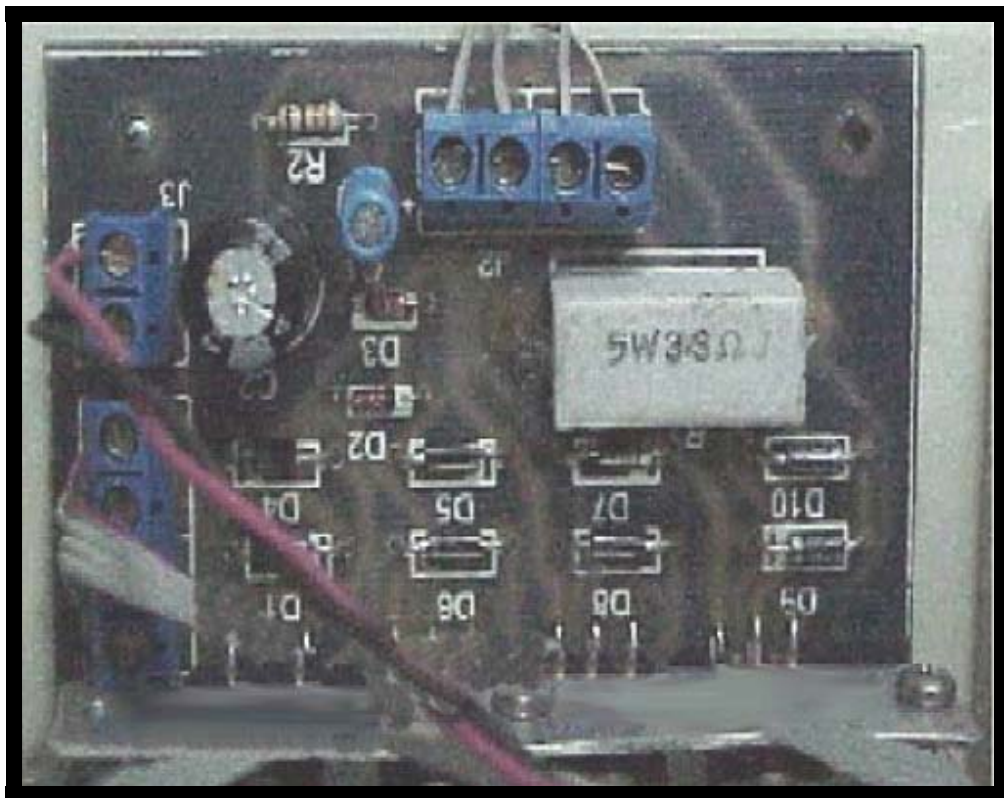
Fuente: Autor.

La estrategia obliga a ubicar sensores finales de carrera que en este caso son ópticos de tipo barrera, de forma que detectan cuándo un objeto (lámina solidaria a la platina móvil) está interrumpiendo el haz de infrarrojos. Los sensores devuelven un nivel lógico '1' cuando el haz no está interrumpido, y un '0' cuando algún objeto interrumpe el haz.

Los circuitos de los sensores ópticos están diseñados de forma que la luz ambiente interfiera lo menos posible, pero algunas condiciones extremas de iluminación podrían producir lecturas erróneas.

Para el control de los motores paso a paso se implemento una tarjeta esclava, (Ver figura 48 y anexo B) la cual cuenta con una serie de dispositivos electrónicos que tratan la señal y energizan o no a los motores para darle el sentido de giro de acuerdo a la secuencia lógica del controlador. El control realiza el conteo de los pasos del motor para luego convertirlos en volumen de acuerdo a la relación dada por el programador.

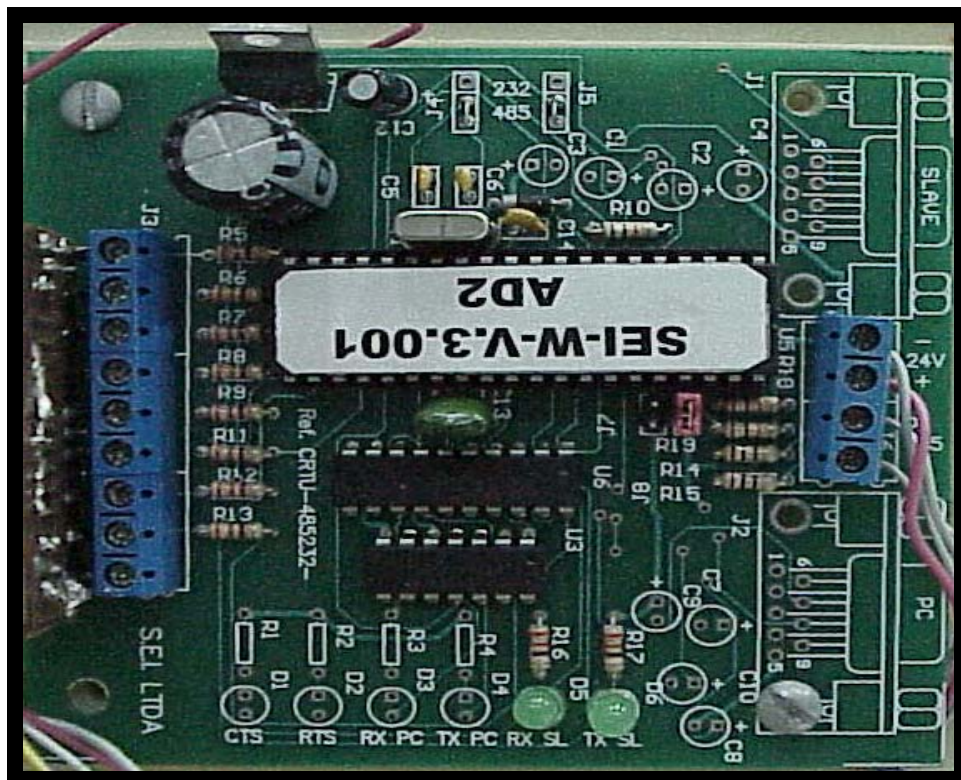
Figura 49. Tarjeta esclava para el control de los motores paso a paso.



Fuente: Autor.

La tarjeta maestra (ver Figura 49) recibe todas las señales provenientes de la tarjeta esclava, de los sensores láser del medidor de nivel, y de los sensores infrarrojos de final de carrera; además de los cables de alimentación de energía. Cada uno de los medidores de nivel cuenta para la realización de la medición, un procesador PIC-17F-87 el cuál se ocupa de testear el rayo de luz, realizar las correcciones en el brazo de medición (sentido de giro del motor) y codificar los datos expresándolos como enteros de 32 bit's para luego surtirlos a una red RS-485 del COM3 del controlador central Snap LCSX-PLUSS en protocolo modbus. Estos datos son posteriormente procesados y convertidos en variables manejables matemáticamente y tabulables con los que se harán los análisis de laboratorio.

Figura 50. Tarjeta maestra multifuncional.



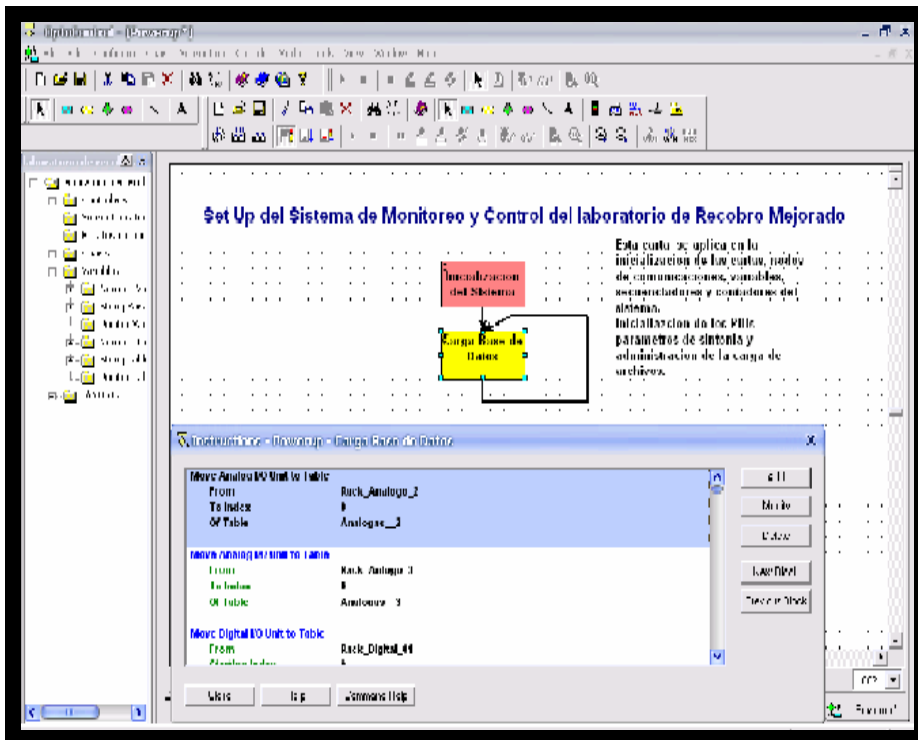
Fuente: Autor.

El análisis se realiza de acuerdo al control y a la programación del procesador SNAP LCSX PLUS de Opto 22 y obedeciendo su estrategia trazada en Opto Control con las siguientes cartas:

4.3.1 Power Up. Esta carta es designada por defecto por Opto Control, es la carta inicial y en la que se adjuntaron todo tipo de instrucciones, que involucran el arranque general del sistema así como la inicialización de variables, cartas y PID's. Algunas de estas instrucciones son ejecutadas solo una vez y en el momento de inicializar el sistema, por tal razón no se vuelve hacer referencia de ellas en ningún otro lugar de la estrategia. Sin embargo, en otros casos, como algunos cálculos matemáticos, que deben hacerse de manera permanente con cada nuevo dato que es muestreado, debe colocarse la instrucción en un bloque en el que el flujo lógico se repita constantemente.

Caso aparte lo constituye el manejo de la tabulación de datos. Con el fin de generar un archivo diferente para cada prueba, se creó un algoritmo que corre de manera continua en esta carta y que permite a partir de datos dados por el operador, estructurar una cadena de caracteres, con la cuál se carga el archivo de históricos cuando estos sean solicitados.

Figura 51. Carta power Up de la estrategia.

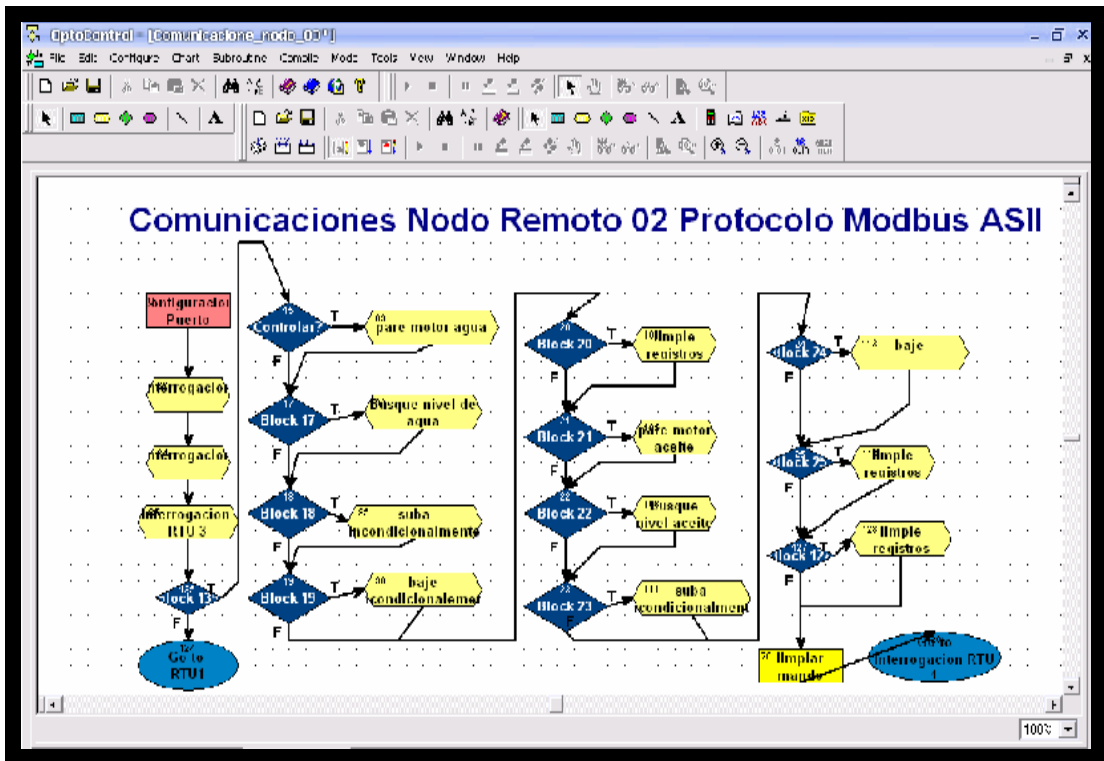


Fuente: Autor.

4.3.2 Comunicaciones Nodo Remoto 2. Esta carta está destinada para efectuar la comunicación con el conjunto de los medidores de nivel, en estándar RS-485 a 115.000 bps. El protocolo utilizado es Modbus RTU, con el cual se consigue efectuar el transporte de grandes volúmenes de información en tramas hexadecimales relativamente cortas. El nodo cuenta con dos entes esclavos referenciados con las direcciones modbus de 01 y 02.

De las tarjetas se obtienen los datos, y se fuerza a los niveles a subir incondicionalmente, a bajar incondicionalmente, a buscar el nivel, o borrar los registros y acumuladores, esto según cada caso.

Figura 52. Carta de comunicaciones nodo remoto 2.



Fuente: Autor.

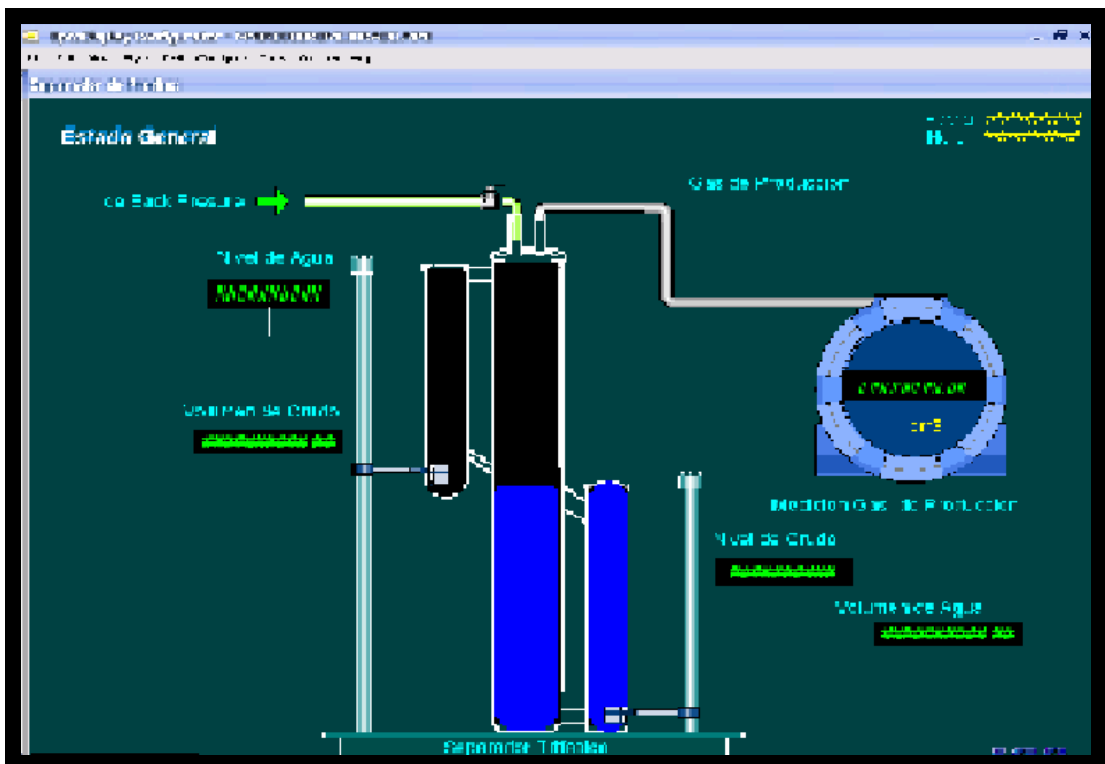
Cada interrogación generada desde esta carta cuenta con un tiempo de time out de 50 milisegundos. En caso de no existir una respuesta válida, el maestro efectuará dos intentos más, después de los cuáles determinará sencillamente que el esclavo no responde y pasará a la siguiente interrogación.

4.3.3 Conversiones nodo Remoto 2. Esta carta ejecuta tareas encaminadas a la conversión de las tramas Modbus recibidas y almacenadas en la tabla Respuestas Nodo Remoto 2, efectúa las conversiones de tramas string a enteros y de ahí ejecuta las conversiones a volúmenes de líquido.

El Volumen del gas no es necesario medirlo debido que se puede calcular por sustracción, esto es si se conoce la tasa de inyección de los fluidos y las condiciones de la roca (Volumen poroso), al medir el volumen de agua y crudo solo basta realizar una sustracción para calcular el volumen de gas; sin embargo para corroborar esta información el laboratorio cuenta con un gasómetro de alta precisión y para bajos caudales, muy apropiado para esta aplicación.

4.3.4 Interfaz Grafica. La presentación de los resultados se dan en pantallas diseñados en Opto display que buscan ofrecer la información en tiempo real del volumen separador de agua gas y crudo.

Figura 53. Interfaz del separador trifluídico.



Fuente: Autor.

El pantalla principal con información de los pasos del motor se observa en la figura 52 y la interfaz para el control del separador se ve en la figura 53.

Figura 54. Interfaz para el control de los niveles.



Fuente: Autor.

El sistema en términos generales permite una expansión e involucramiento de nuevos equipos de análisis o de supervisión.

5. PRUEBAS

Una vez terminado el montaje de las piezas y de los sistemas que conforman el separador trifluídico, se realizó el acondicionamiento dentro del laboratorio de recobro mejorado del I.C.P. con las conexiones y el cableado necesario para dar inicio a las pruebas y corroborar así el funcionamiento del separador trifluídico.

Las pruebas realizadas son tendientes a verificar el funcionamiento de los dispositivos y punto más críticos así como también de la de hallar la relación práctica entre los pasos del motor y el volumen medido.

El procedimiento a seguir para realizar las pruebas del separador trifluídico y el sistema implementado para medir los volúmenes separados fue el siguiente:

5.1 PRUEBAS DE SEPARACION

Se debe verificar que el recipiente diseñado, esta en la capacidad de separar efectivamente los fluidos y que soporta las presiones y fuerzas ejercidas durante las pruebas de recobro en el laboratorio. Para esto con la ayuda de una bomba inyectamos agua y después crudo controlando la presión hasta el tope máximo de 0.0344 Mpa a lo cual el recipiente respondió en forma esperada soportando la presión y separando efectivamente los fluidos.

5.2 PRUEBAS DEL SISTEMA MEDIDOR DE VOLÚMENES

Se inicia realizando los cálculos teóricos para relacionar los pasos del motor, el paso del tornillo y el volumen del recipiente. De acuerdo a esto los cálculos son:

Tabla 4. Datos teóricos para las pruebas.

Datos	Valor
Paso del tornillo	0.2 (cm)
Área transversal del separador	9.0792 (cm ²)
Pasos del motor	200(Pasos/rev)

Fuente: Autor.

Los cálculos se realizan para un volumen teórico de 1 cm³, y con los datos de la tabla 4 se hallan las siguientes relaciones:

- Altura (h): 0,4405 cm. Es la altura lineal, de 1cm³ de volumen en el recipiente de diámetro 1,7cm.
- Pasos/cm = 100(p/cm). Es el numero pasos que debe dar el motor paso a paso, para desplazar la placa 1 cm lineal en sentido vertical.
- Pasos/cm³=497(p/cm³). Es la relación teórica del número de pasos del motor, necesarios para medir un cm³ del fluido.

Los valores anteriores son los valores a tomar como referencia para las pruebas del comportamiento del sistema implementado, para medir los volúmenes, a excepción del numero de pasos por unidad de volumen ya que debido a la geometría del recipiente al ingresar al separador una unidad de volumen, este se distribuye por los vasos comunicantes disminuyendo la

altura ocupada por el volumen a su mitad, entonces la referencia a tomar en definitiva es 249 pasos por cm^3 .

Las pruebas del sistema implementado para medir los volúmenes se realizaron bajo tres posibilidades que son: agregando crudo, drenando Agua y agregando agua, esto busca identificar fallas y verificar el comportamiento, para así corroborar con los datos teóricos.

5.2.1 Agregando crudo. Esta prueba se realizó agregando un volumen conocido de crudo, medido en una probeta aforada para verificar el número de pasos ofrecido por el sistema. La tabla número 5 muestra el comportamiento del sistema medidor de volúmenes para esta situación. El sensor encargado de la medición es el superior ya que al agregar solo crudo el nivel de agua no varía.

Tabla 5. Comportamiento del sistema agregando crudo.

PRUEBA	VOLUMEN AGREGADO (cm^3)	PASOS DEL MOTOR MOSTRADOS	PROMEDIO PASOS	RELACION (p/cm^3)	CRUDO REGISTRADO (cm^3)
1		0,0			
2	1,9	588,0	588,0	309,5	2,2
3	2,0	1164,0	576,0	288,0	2,1
4	2,0	1692,0	528,0	264,0	2,0
5	2,0	2268,0	576,0	288,0	2,1
6	2,0	2808,0	540,0	270,0	2,0
PROMEDIO	9,9		561,6	283,9	10,5

La prueba muestra valores cercanos pero no muy satisfactorios, ya que la relación de pasos por cm^3 promedio fue de 283.9 y el crudo registrado fue de 10.5 cm^3 mientras el volumen real agregado fue de 9.9 cm^3 dando una lectura errada de 0.6 cm^3 en el total de la prueba. Estos datos erróneos se

creen fundamentar en el error humano, al tomar la medida en la probeta aforada, pero sobre todo el mayor error de lectura se debe al manchado del recipiente al recibir el crudo.

5.2.2 Drenando Agua. Esta prueba se realizo ubicando un nivel de referencia de agua y un nivel de referencia de crudo para proceder a drenar agua por su parte inferior y así inducir a variar los dos niveles tanto el de crudo en su parte superior como el de agua en su parte inferior; los datos son mostrados en la tabla numero 6.

Tabla 6. Comportamiento del sistema drenando agua.

PRUEBA	VOLUMEN DRENADO	PASOS NIVEL CRUDO	PASOS NIVEL AGUA	RELACION CRUDO (pasos/ml)	RELACION AGUA (pasos/ml)
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	2,00	501,00	486,00	250,50	243,00
3	2,10	528,00	548,00	251,43	260,95
4	1,90	486,00	476,00	255,79	250,53
5	2,00	493,00	552,00	246,50	276,00
6	2,10	527,00	570,00	250,95	271,43
TOTAL	10,10	2535	2632		
PROMEDIO				251,03	260,38

Los valores dados en esta prueba son confiables y están cerca de los valores teóricos, la inconsistencia se debe a errores humanos en el momento de tomar los volúmenes de los fluidos drenados y a la mancha que deja el crudo en el recipiente al momento de bajar su nivel.

5.2.3 Agregando Agua. Al agregar agua al recipiente se induce a los dos niveles a desplazarse hacia arriba, el volumen de crudo no varia pero si el volumen de agua. El comportamiento se muestra en la tabla numero 7.

Tabla 7. Comportamiento del sistema agregando agua.

PRUEBA	VOLUMEN INYECTADO	TOTAL PASOS NIVEL CRUDO	PASOS NIVEL CRUDO	TOTAL PASOS NIVEL AGUA	PASOS NIVEL AGUA	RELACION CRUDO (pasos/ml)	RELACION AGUA (pasos/ml)
1	0	0	0	0	0	0	0
2	2	528	528	507	507	264,0	253,5
3	2	1068	540	1009	502	270,0	251,0
4	2,2	1620	552	1538	529	250,9	240,5
5	1,8	2100	480	2000	462	266,7	256,7
6	2	2616	516	2498	498	258,0	249,0
TOTAL	10,00				2498		
PROMEDIO						261,9	250,1

Los valores están cercanos a los valores teóricos, pero se observa que el nivel de crudo deja mancha en el recipiente, lo cual puede inducir a errores del sensor óptico láser, que puede interpretar la mancha como si fuese el nivel de crudo y dar mal información.

5.3 LONGITUD DE NUCLEOS

La experiencia a lo largo de los años y los datos recopilados durante muchas pruebas realizadas en el laboratorio de recobro mejorado del I.C.P. permiten promediar algunos valores para el volumen poroso de acuerdo a la longitud del núcleo de la roca a estudiar. Este dato junto a la permeabilidad permiten calcular el volumen de gas conociendo los volúmenes de agua y crudo. Los datos se muestran en la tabla 8; los núcleos se muestran en la figura 9, al igual que la manga que los contiene y pueden variar en tamaño de acuerdo a la prueba y al pozo en particular.

Tabla 8. Volumen poroso de los núcleos según su longitud.

Longitud Núcleos (cm)	Vol Poroso(cm³)
35,0	79,3
40,0	89,2
50,0	109,0
55,0	118,9
58,0	124,8
60,0	128,8
68,0	144,6
100,0	208,0

De acuerdo a esto el separador diseñado permite realizar pruebas con núcleos de hasta 0.68 m de longitud, teniendo el recipiente una longitud efectiva de 0.35 m en el separador, por esto se deja la posibilidad de utilizar recipientes de mayor tamaño si las pruebas requieren colocar núcleos hasta su longitud máxima que es de 1 m.

6. CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó un separador trifluídico, capaz de separar efectivamente agua, gas y crudo utilizando un recipiente de vidrio y se implementó un sistema para la medición de los volúmenes separados, aplicando dispositivos mecánicos y electrónicos e incorporando la información al Software de supervisión Factory Floor de Opto 22.
- El diseño y la construcción de un separador trifluídico e implementación de un sistema para su medición, en el laboratorio de recobro mejorado del instituto Colombiano del Petróleo (I.C.P.), supera en desempeño y economía cualquier otra propuesta en este campo, evidenciando la importancia de la realización de proyectos de este tipo, por estudiantes que aporten su talento y conocimientos en la solución de problemas de personas y/o industria de nuestra región.
- A pesar que los elementos y materiales utilizados en la construcción del conjunto, cumplen de manera adecuada los requerimientos, es posible mejorar su comportamiento al utilizar materiales de mejor calidad, con procesos de manufactura que ofrezcan mejores acabados superficiales y mejores tolerancias, a pesar que esto eleve los costos.
- El sistema implementado para la nivelación del separador en su conjunto y permitir desplazamientos de los soportes superior e inferior, garantizan que la columna de líquido sea perpendicular a los sensores ópticos láser, encargados de la medición y así ofrecer información mas precisa del volumen de los fluidos.

- El volumen de gas se puede calcular por sustracción, al conocer los datos del volumen poroso de las rocas, los volúmenes de agua y crudo separados así como de la tasa de inyección del fluido desplazante.
- El separador trifluídico ofrece sencillez de montaje y transporte, además según lo observado durante las pruebas, su rigidez y la selección adecuada de los sensores ópticos láser, permiten afirmar que se soporta cierto nivel de vibración, que puede producir el tropiezo accidental del operario, sin inducir errores de lectura de los volúmenes de los fluidos.
- Durante la realización de las pruebas se pudo observar que el crudo al desplazarse hacia arriba manchaba el recipiente, dando posibilidad de lecturas erróneas del sensor óptico láser, para solucionar esto, se implementó la extracción de fluidos por la parte inferior del separador, a la misma tasa de fluido de ingreso, utilizando una bomba calibrada, esto lleva a que el nivel de crudo en la parte superior, no varíe y el nivel de agua baje; si es el caso de ingreso de crudo este se desplace hacia abajo posesionándose en la franja de posible mancha.

BIBLIOGRAFIA

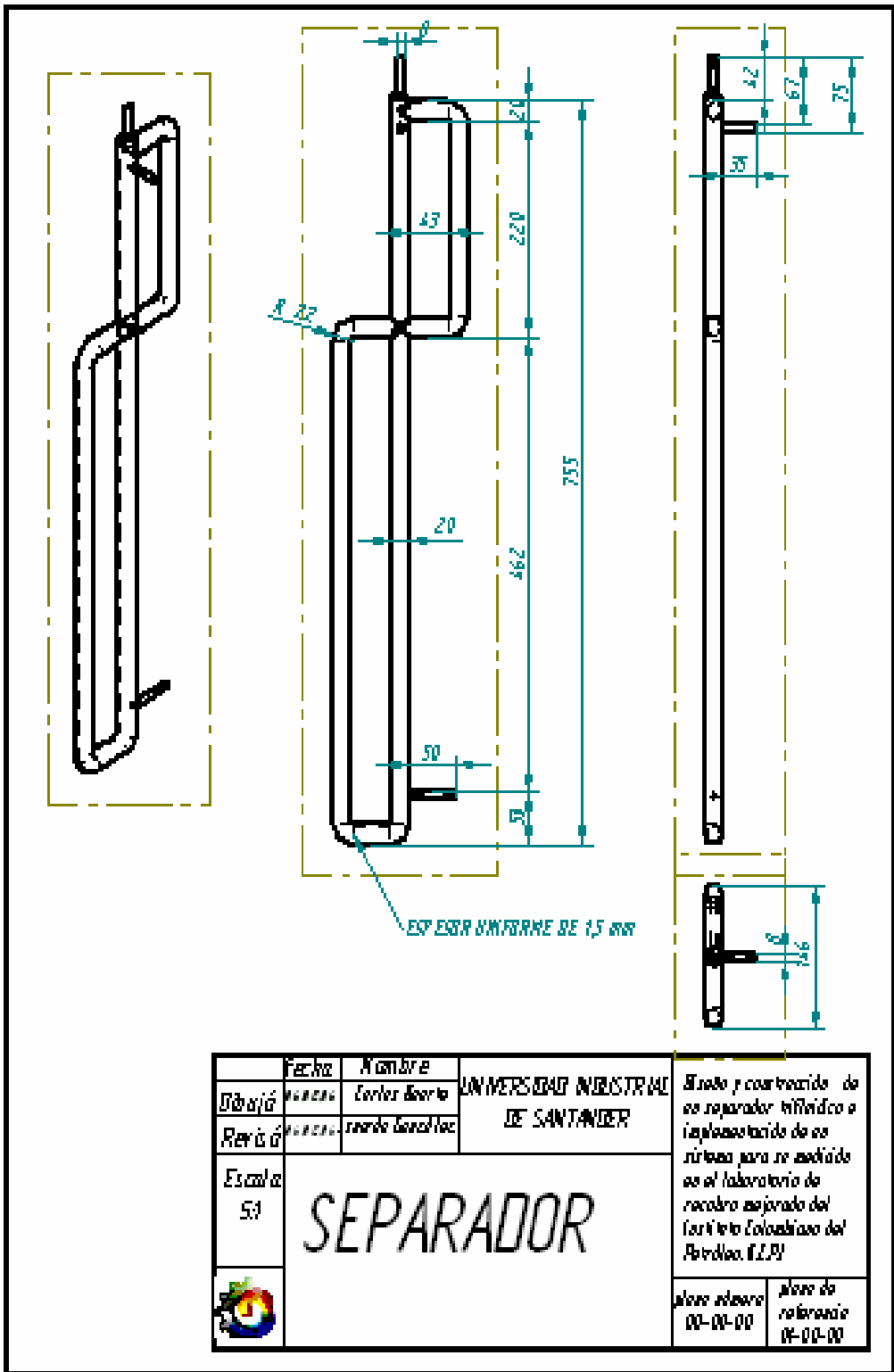
- AGUILLON, Javier y GARCIA, Fredy. Sistema experto para la selección técnica de un método de recobro mejorado para un campo de crudo. Bucaramanga: 2004. Trabajo de grado (ingeniero de petróleos). Universidad Industrial de Santander. Escuela de ingeniería de petróleos.
- AZCONA, Juan. P. Reservas de petróleo y gas. Disponible en: www.monografias.doc
- BOBERG, Thomas C. Thermal Methods of Oil Recovery. Ottawa: Exxon , 1988.
- CREUS, Antonio; Instrumentación industrial. 6a ed, Barcelona: Alfaomega. 2003.
- DAILI, W. James y HARLEMAN, R. Donald. Dinámica de los fluidos. México: Trillas, 1975.
- DIXON, Alan; y ANONAKOS, James. A practical approach to digital electronics. New York: Prentice-Hall. 2000.
- DURAN, Javier y DURAN, Alexander. Sistematización de algunos métodos de recobro mejorado para crudos pesados tales como combustión in situ, inyección de CO₂ e inyección de polímeros. Bucaramanga: 1994. Trabajo de grado. Ingeniero de petróleos. Universidad industrial de Santander.
- LAKE, Larry W. Enhanced Oil Recovery. s.l: Prentice Hall, 1996.

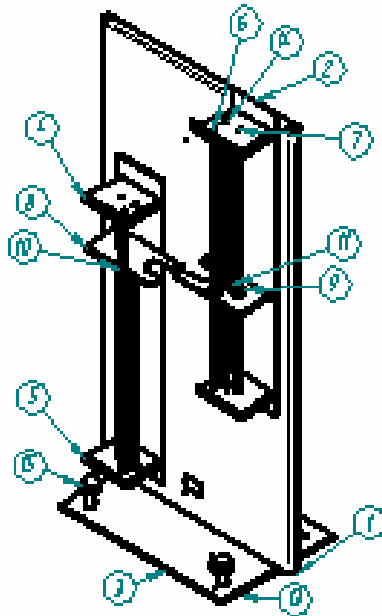
- LINDLEY, R. Joe. Oil production. Disponible en: www.netl.doe.gov
- MARKS. Manual del Ingeniero Mecánico. Mexico: McGraw-Hill. 1995
- NIGEL, Cross; Métodos de diseño. México: Limusa wiley. 1999.
- NORTON, Robert L. Diseño de maquinas. México: Prentice-hall.1999.
- OPTO 22. Opto 22 Products - Factory Floor Industrial Automation Software Suite.
- OPTO 22. Opto control, User's guide. Opto 22.
- PRATS, Michael. Termal recovery. New York: SPE, 1986.
- RODRIGUEZ, Irlenys. Motores Paso a Paso. Funcionamiento y Control a Través de un Pc. Disponible en: www.monografias.com
- SLIDER, H. Worldwide tactical petroleum reservor ingineering methods. New York: Interstate oil compact commission.1983.
- TABBER, J. y MARTIN, F. Technical Screening Guides For the Enhanced Oil Recovery of Oil. Richardson: SPE,1983.
- POTTER, Merle. Y WIGGERT, David. Mecánica de fluidos. México: Prentice Hall. 1998.
- <http://electronica.frba.utn.edu.ar/electrotecnia/tcampos/tcsemi12002/semi1tc.htm>
- <http://www.opto22.com/products/productDrillDown/Display.aspx?PartNumber=FACTORYFLOOR>

- www.gas-training.com/articulos/disenio_separadores.htm
- www.isa.cie.uva.es/dpt/vv/laboratorio.html
- www.softing.com/in/index.htm
- www.ni.com/dataacquisition/esa/
- www.sincron.com.co
- www.automatas.org
- www.todopic.com.ar
- <http://www.silge.com.ar>
- www.superrobotica.com


ANEXOS

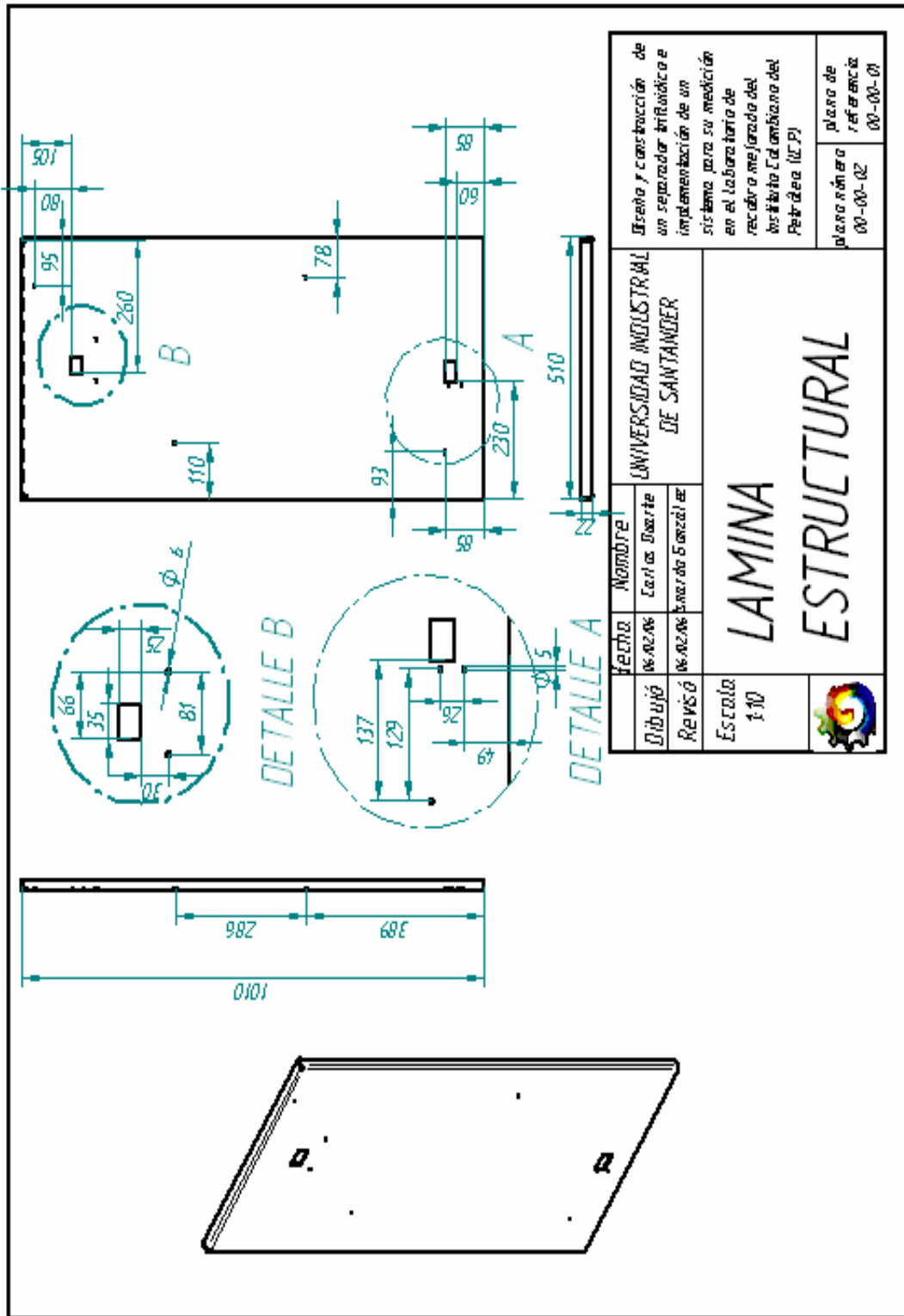
ANEXO A. PLANOS



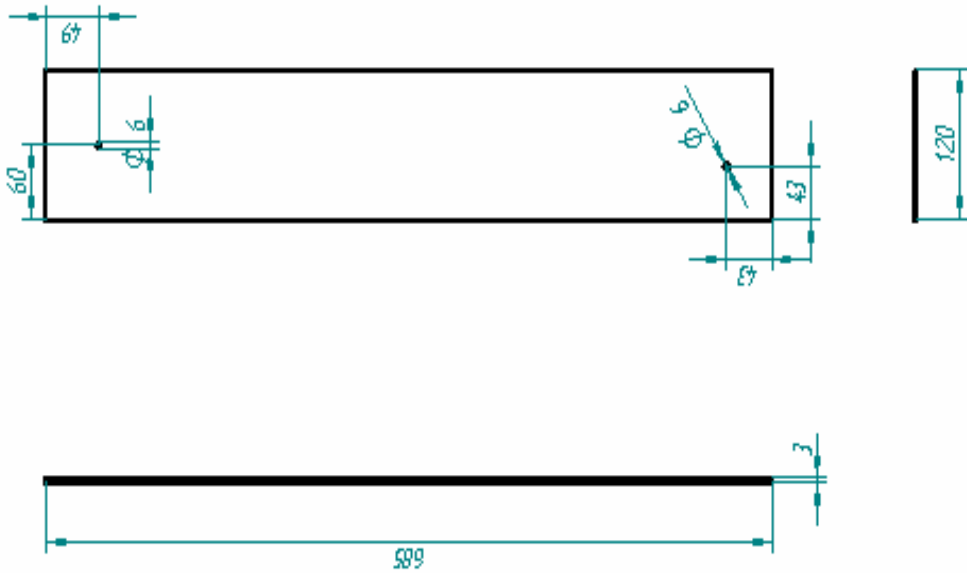



Ficha Número	Número de placa	Ficha	Material	Cantidad
1	00-00-02	placa arrocadora	acero	1
2	00-00-03	placa de vaina	aluminio	2
3	00-00-04	placa arrocadora	acero	1
4	00-00-05	placa de apoyo superior	aluminio	2
5	00-00-06	placa de apoyo lateral	aluminio	2
6	00-00-07	placa apoyo	acero	2
7	00-00-08	placa apoyo	acero	2
8	00-00-09	placa alendadora	aluminio	2
9	00-00-10	placa apoyo	bronce	2
10	00-00-11	placa apoyo	bronce	2
11	00-00-12	rueda principal	bronce	2
12	00-00-13	rueda auxiliar	P.T.C.	1
13	00-00-14	rueda de apoyo	P.T.C.	2
14	00-00-15	rueda auxiliar	acero	2
15	00-00-16	rueda de apoyo a lazo	P.T.C.	2

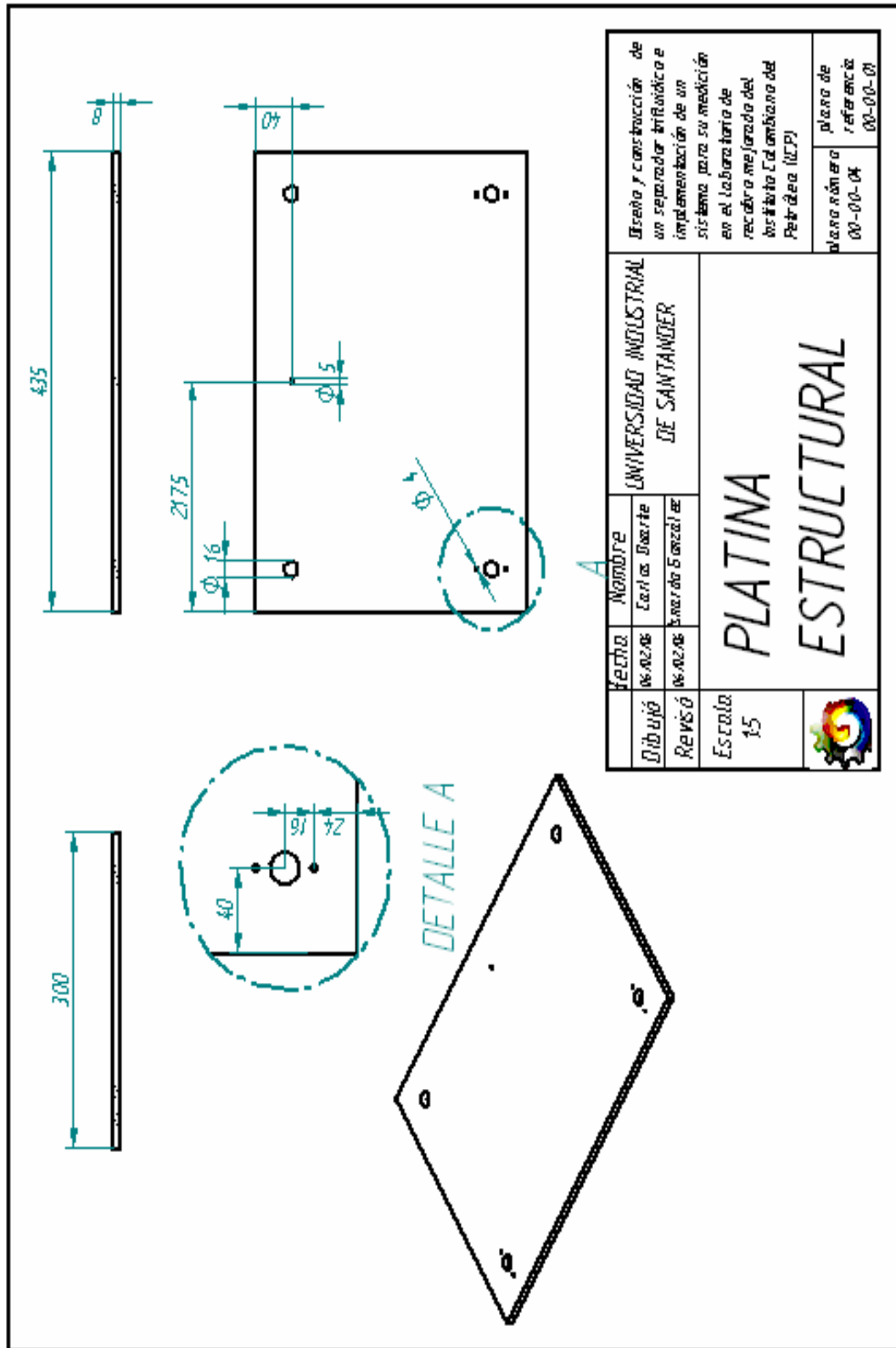
Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	Diseño y construcción de un separador térmico e implementado de su sistema para ser medido en el laboratorio de recursos mejorado del centro Colombiano del Petrolero, I.C.P.
Diseño	Carlos Barrio		
Revisó	Armando González		
Escala 1:10	CONJUNTO PRINCIPAL		
			placa número 00-00-01
			placa de referencia

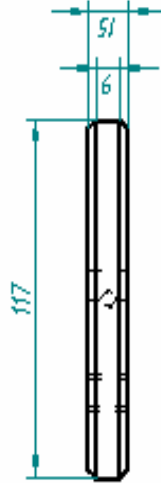
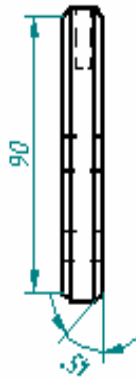


Fecha		Nombre		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	Diseño y construcción de un separador trifásico e implementación de un sistema para su medición en el Laboratorio de recarga mejorada del Sistema de Energía del Pedregal (IEP)	plano de referencia 00-001-02
Dibujó	W. A. M. S.	Caritas Duarte				
Revisó	W. A. M. S.	Enzo de S. Gonzalez				
Escala: 1:10				LAMINA ESTRUCTURAL		plano de referencia 00-001-02

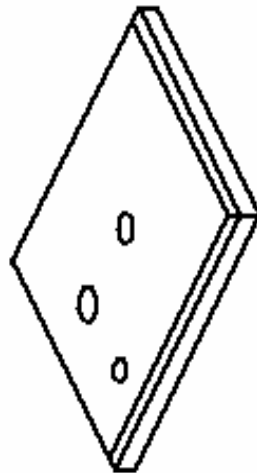
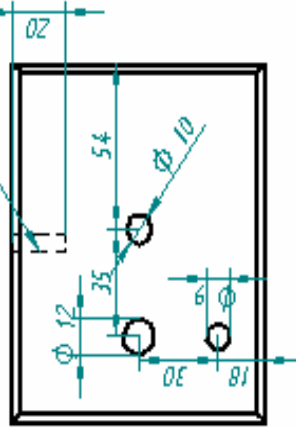



Dibujó	Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	Diseño y construcción de un separador trifásico e implementación de un sistema para su medición en el Laboratorio de recarga mejorada del batería Estándar del Peabón (U.P.)
Revisó	№. 22/26	Carlas Duarte		
Escala	№. 22/26	Unidad 5 onzas	PLATINA DE UNION	
15				
				

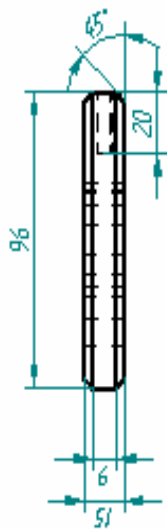




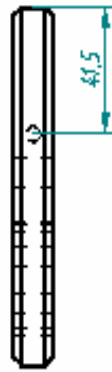
AGUJERO ROSCADO
PARA TORNILLO M6



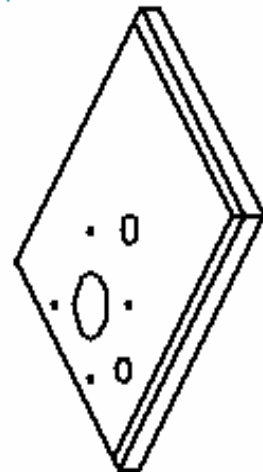
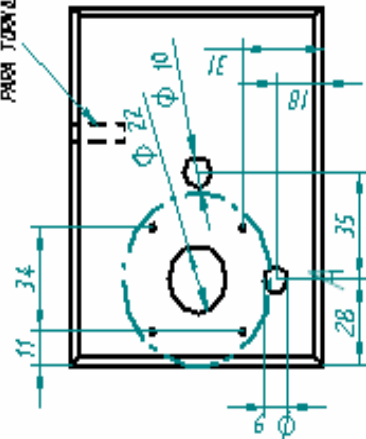
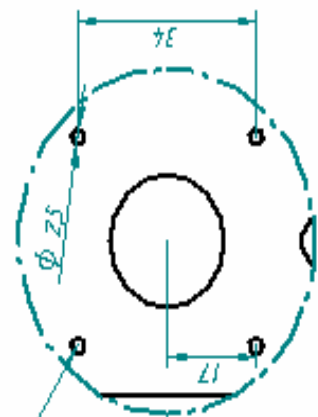
Dibujó	Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	Diseño y construcción de un separador trifásico e implementación de un sistema para su medición en el laboratorio de recable mejorado del Instituto Calambiano del Petróleo (ICP)
Revisó	06/02/06	Carli os Oswite Barrera Gonzalez		
Escala 1:2	PLATINA DE APOYO SUPERIOR			plano de referencia 00-00-07
				



AS WIERO ROSCADO PARA TORNILLO M3

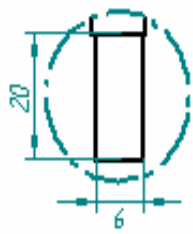


AS WIERO ROSCADO PARA TORNILLO M6

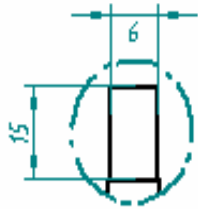


DETALLE A

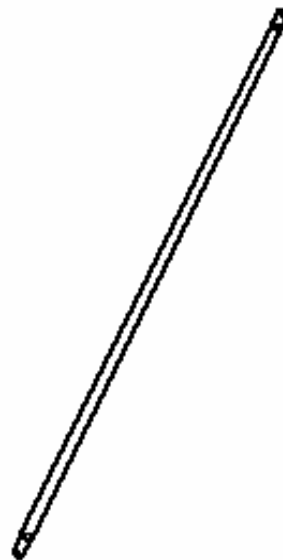
Dibujó	Revisó	Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	Diseño y construcción de un separador trifásico e implementación de un sistema para su medición en el laboratorio de recableo mejorado del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP)	plano de referencia 00-00-06	00-00-01
06.02.06	06.02.06	06.02.06	Carlos Iván Hernández				
Escala 1:2				PLATINA DE APOYO INFERIOR			




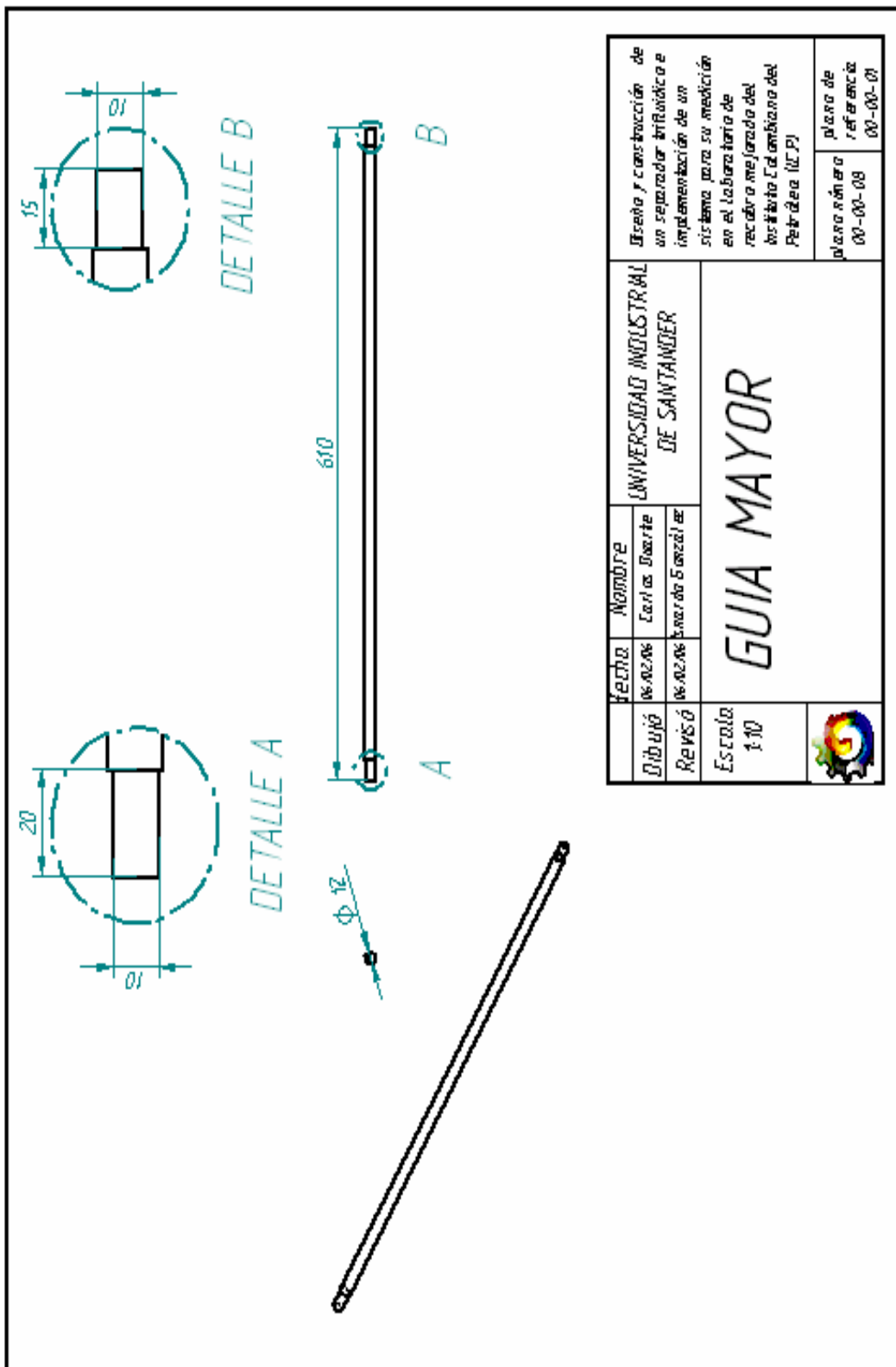
DETALLE A

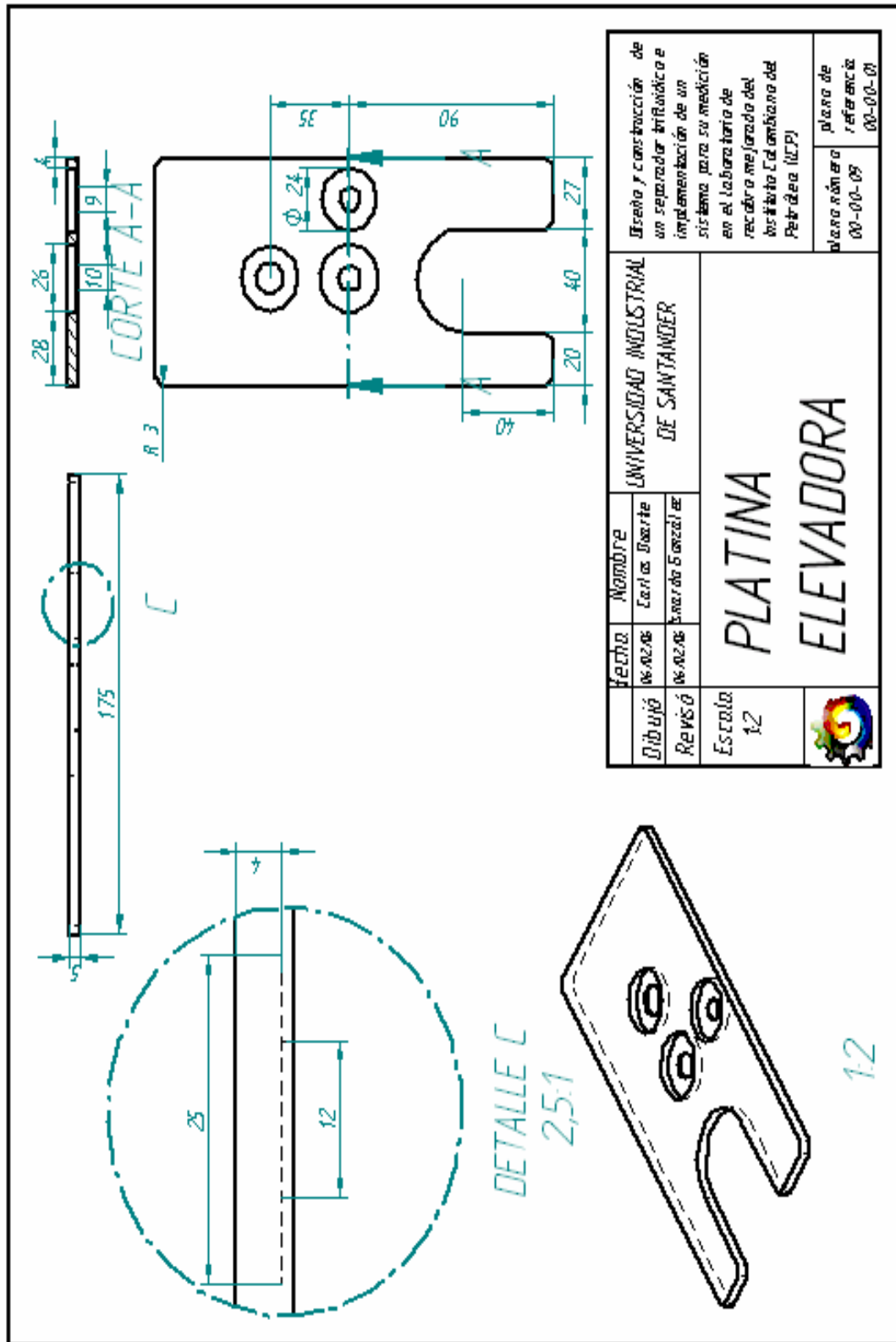


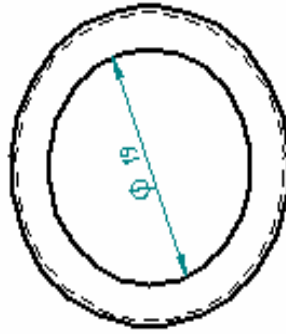
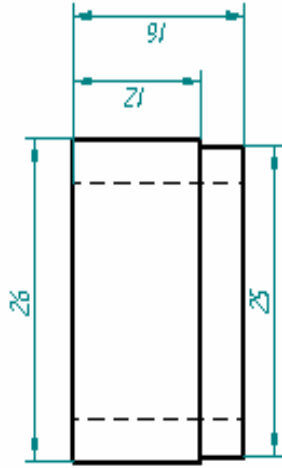
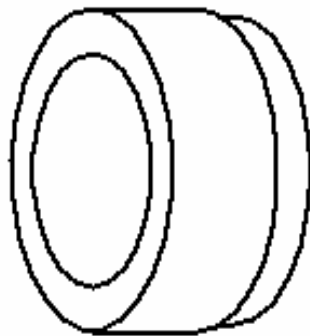
DETALLE B



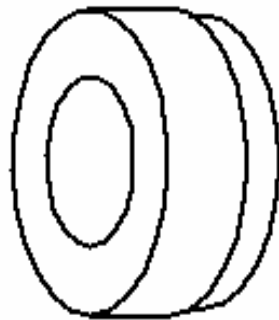
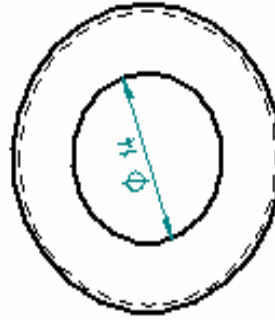
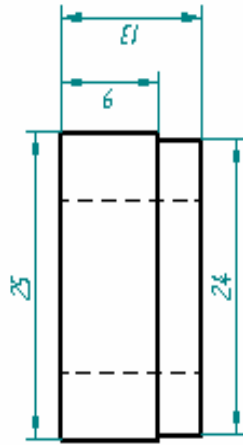
Fecha:	Nombre:	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	Diseño y construcción de un separador trifásico e implementación de un sistema para su medición en el laboratorio de recarga mejorada del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP)	plano de referencia 00-00-07
Dibujó:	Carlos Duarte			
Revisó:	Enrique Gonzalez	GUIA MENOR		
Escala:	1:5			
				
		plano de referencia 00-00-07		






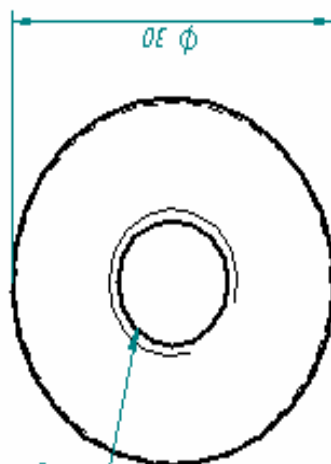
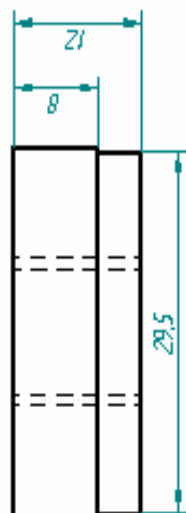


Dibujó	Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	Diseño y construcción de un separador trifásico e implementación de un sistema para su medición en el laboratorio de recubrimientos del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP)	plano número 00-00-10	plano de referencia 00-00-01
	Revisó	Caritas Duarte				
Escala	BUJE MAYOR					
2:1						

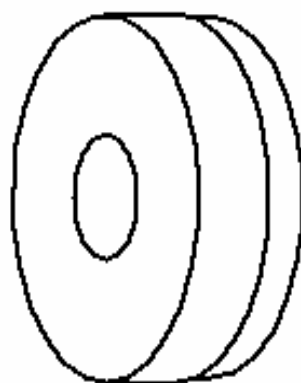


21

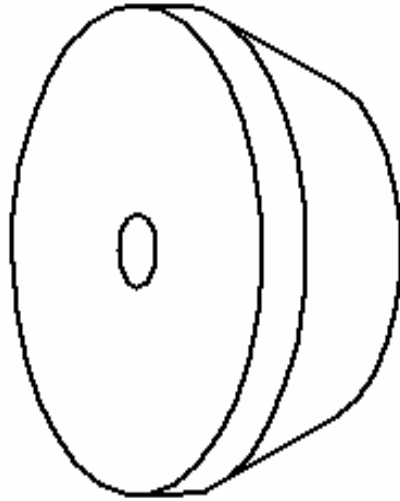
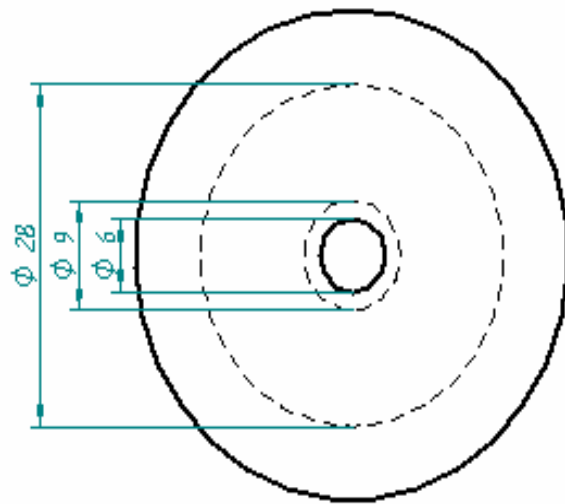
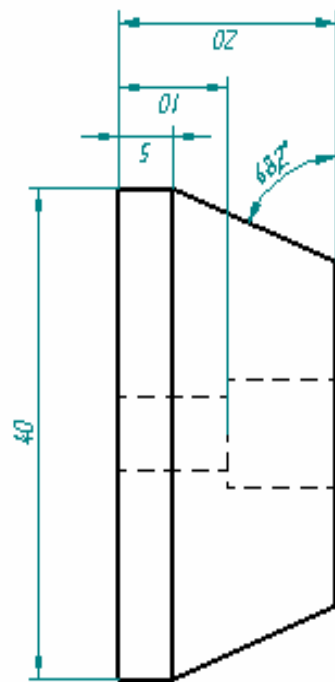
Dibujó	Revisó	Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	Diseño y construcción de un separador trifásico e implementación de un sistema para su medición en el laboratorio de recarga mejorada del busbato. Colombiano del Petróleo (ICP)	plano número 00-00-11	plano de referencia 00-00-01
Escaló	2:1	06/02/2016	Carolina Duarte				
BUJE MENOR							
							




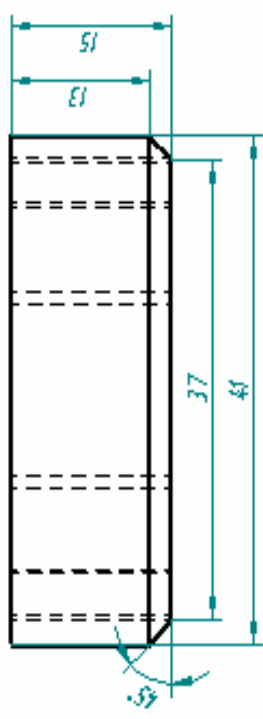
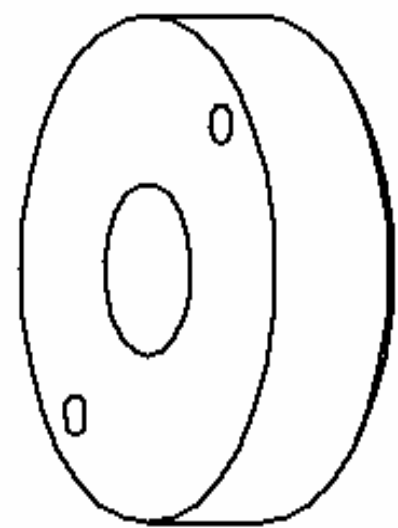
ROSCADO PARA TORNILLO M12



Dibujó	Revisó	Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	Diseño y construcción de un separador trifásico e implementación de un sistema para su medición en el laboratorio de medición mejorado del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP)	plano número 00-00-12	plano de referencia 00-00-01
Escaló	2:1	06/02/2016	Carla Duarte Moraña				
TUERCA PRINCIPAL							

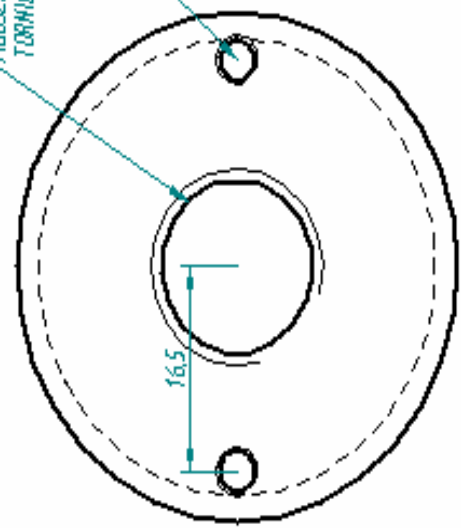


Dibujó	Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	Diseño y construcción de un separador trifásico e implementación de un sistema para su medición en el laboratorio de los títulos Calambina del Petróleo (ICP)	plano número 00-00-13	plano de referencia 00-00-01
Revisó	06/02/06	Carlos Duarte				
Escala	06/02/06	Enrique Sosa	APOYO CONICO			
2:1						



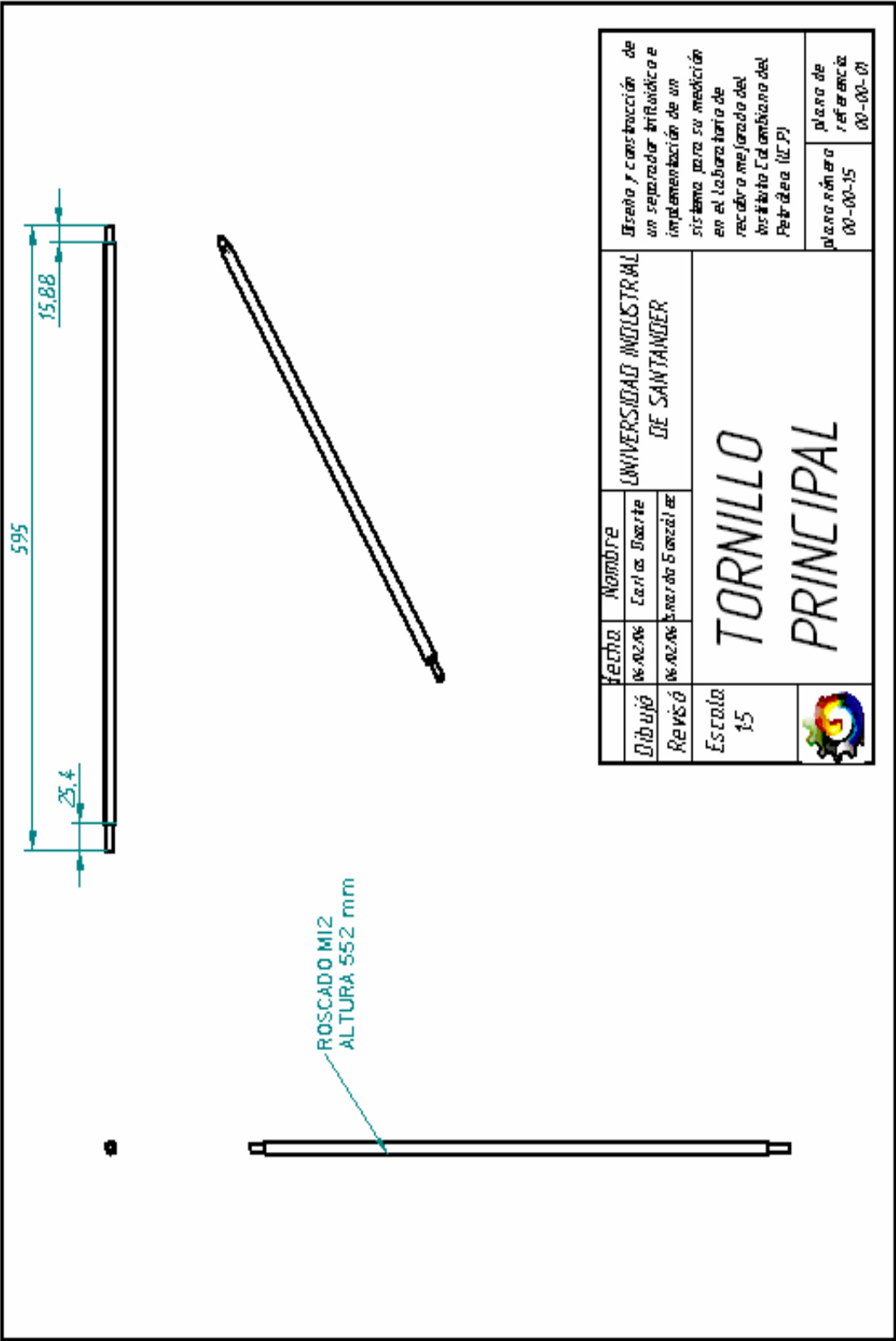
AGUERO ROSCADO PARA
TORNILLO M16

AGUERO ROSCADO PARA M3



Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	Diseño y construcción de un separador trifásico e implementación de un sistema para su medición en el Laboratorio de recarga mejorada del sistema Catambiano del Peabón (ICP)
16/02/06	Carlos Duarte		
Revisó	16/02/06	16/02/06	plano número 00-00-14
Escala	2:1	TUERCA DE APOYO	
Dibujó	16/02/06		

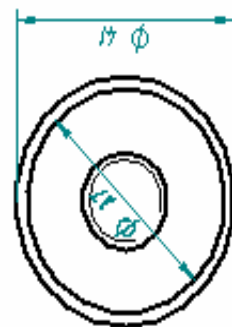
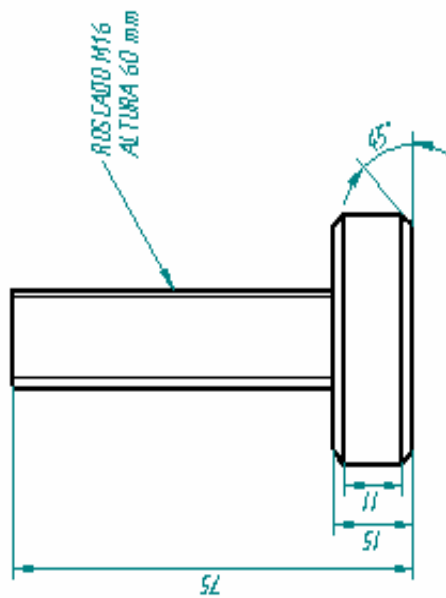
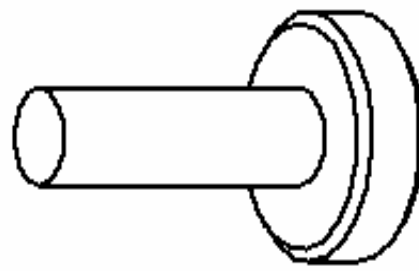




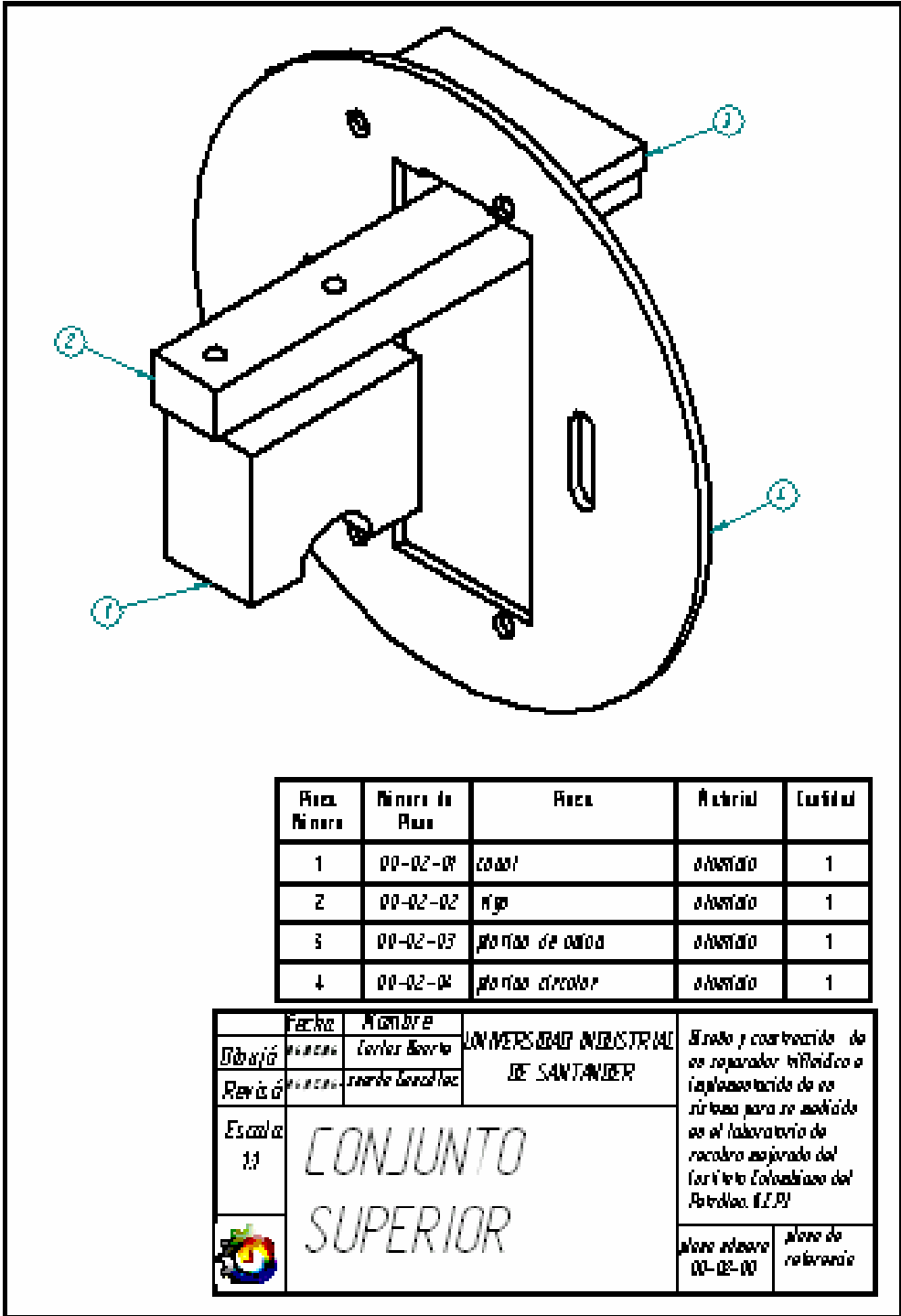
Dibujó	Revisó	Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	Diseño y construcción de un separador trifásico e implementación de un sistema para su medición en el laboratorio de recableo mejorado del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP)
Escalón	15				
				plano de referencia 00-00-01	

TORNILLO PRINCIPAL



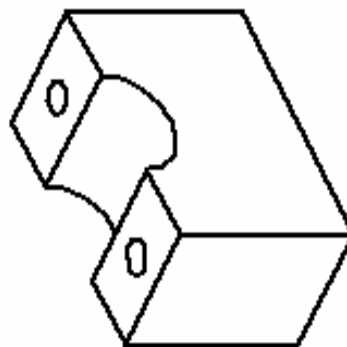
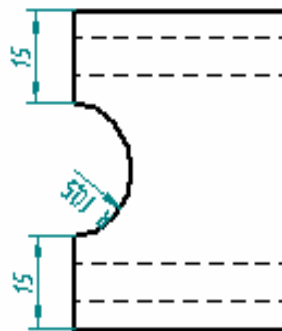
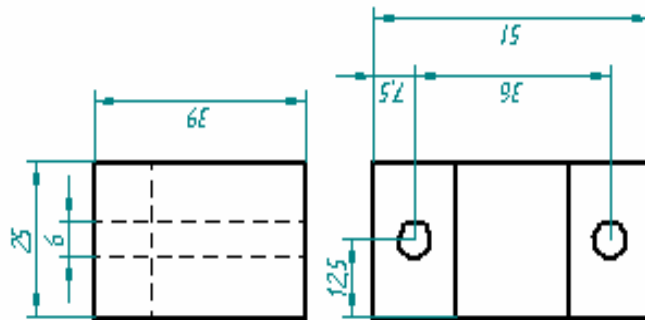


Dibujó	Revisó	Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTIAGO	Diseño y construcción de un separador tribológico e implementación de un sistema para su medición en el laboratorio de recubrimientos del Instituto Tecnológico del Petróleo (ITP)	plano de referencia 00-00-16 00-00-01
Escala	2:1	16/02/06	Carla Usarte			
TORNILLO PARA APOYO						

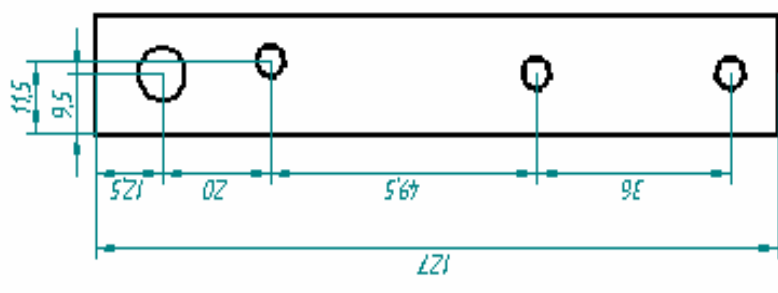
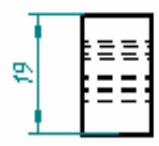
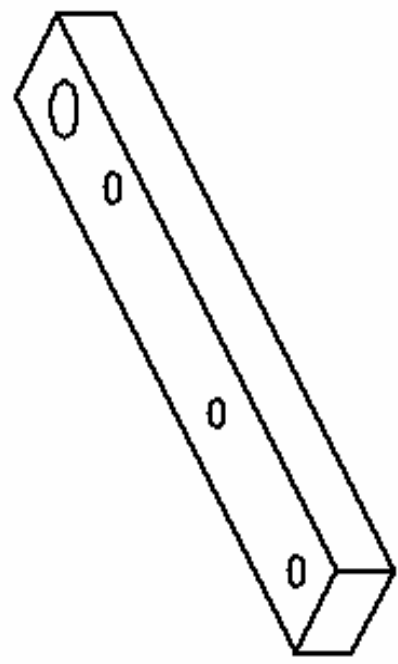
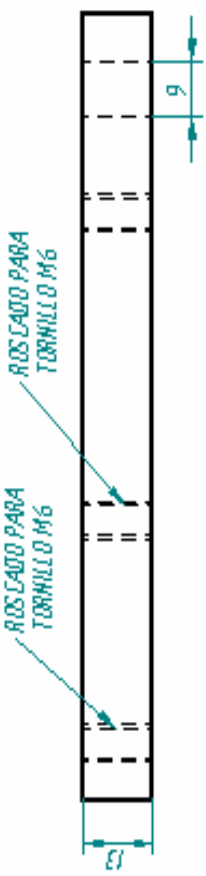


Flaca Número	Número de Flaca	Flaca	Materia	Cantidad
1	00-02-01	cajal	aluminio	1
2	00-02-02	ribo	aluminio	1
3	00-02-03	placas de calza	aluminio	1
4	00-02-04	placas circular	aluminio	1

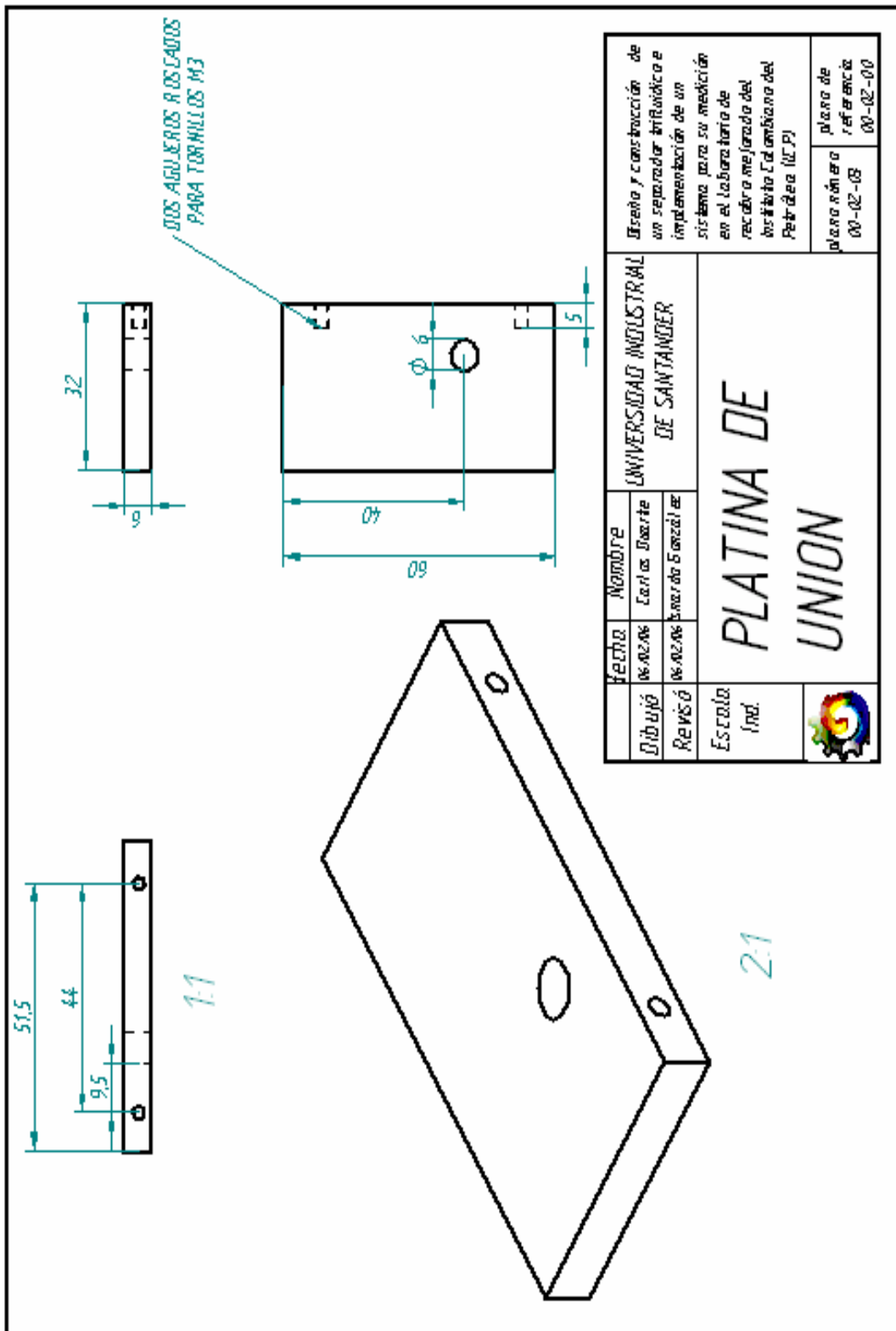
Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	Diseño y construcción de un reparador térmico e implementación de un sistema para su medición en el laboratorio de mecánica avanzada del Centro Colombiano del Petróleo (C.C.P.)
Dibujó	Carlos García		
Revisó	Carole González		
Escala	1:1		plano número 00-02-00 plano de referencia
 <h1 style="font-size: 2em; margin: 0;">CONJUNTO SUPERIOR</h1>			



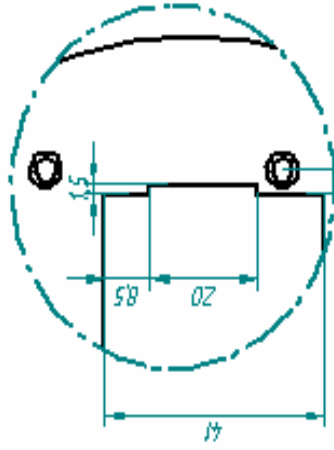
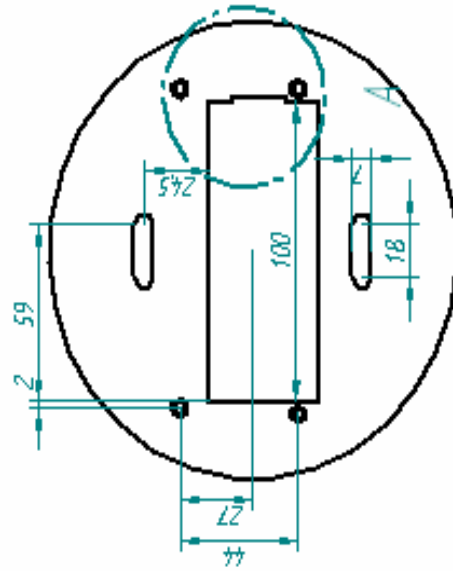
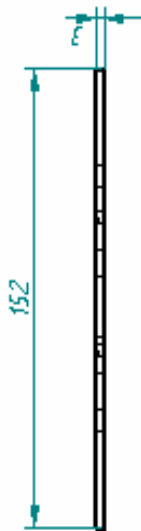
Dibujó	Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTIAGO	Diseño y construcción de un separador trifásico e implementación de un sistema para su medición en el laboratorio de recádra mejorada del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP)	plano de referencia 00-02-01
Revisó	06/02/06	Cecilia Duarte			
Escala	1:1	CANAL SUPERIOR			



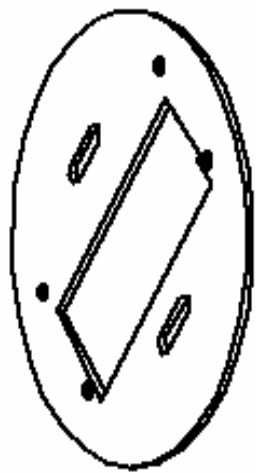
Dibujó	Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	Diseño y construcción de un separador trifásico e implementación de un sistema para su medición en el laboratorio de Instrucciones Técnicas del Peñón (ITP)	plano de referencia 00-02-02	plano de referencia 00-02-00
Revisó	16/02/06	Carlos Duarte				
Escala	16/02/06	Universidad Santander				
1:1			VIGA SUPERIOR			




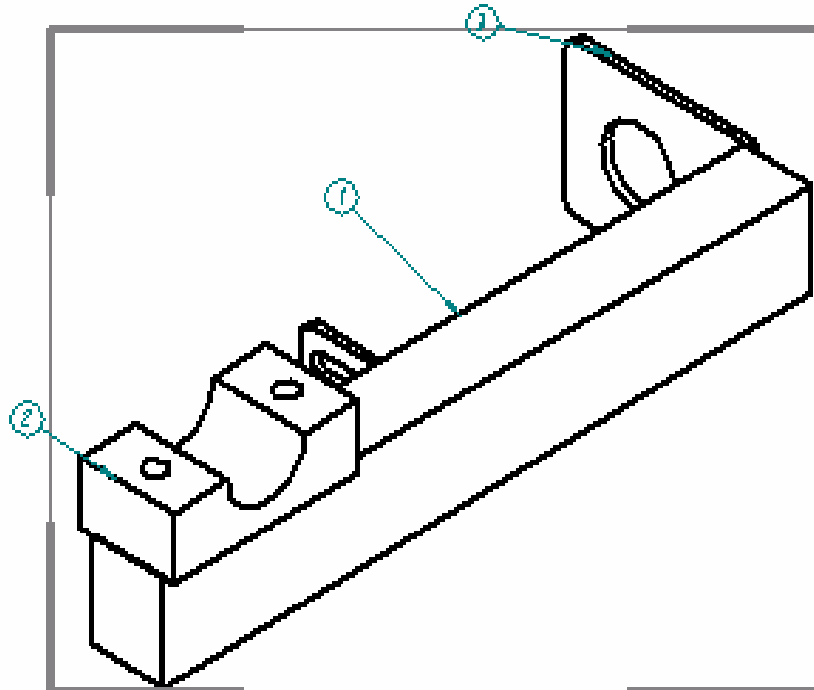
Fecha:		Nombre:		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	Diseño y construcción de un separador trifásico e implementación de un sistema para su medición en el Laboratorio de recubrimiento de la Facultad de Ingeniería (ICP)	plano de referencia 00-02-03 00-02-00
Dibujó:		Carilca Duarte				
Revisó:		Benedicto Gonzalez		PLATINA DE UNION 		
Escaló:		Ind.				



DETALLE A
1:1

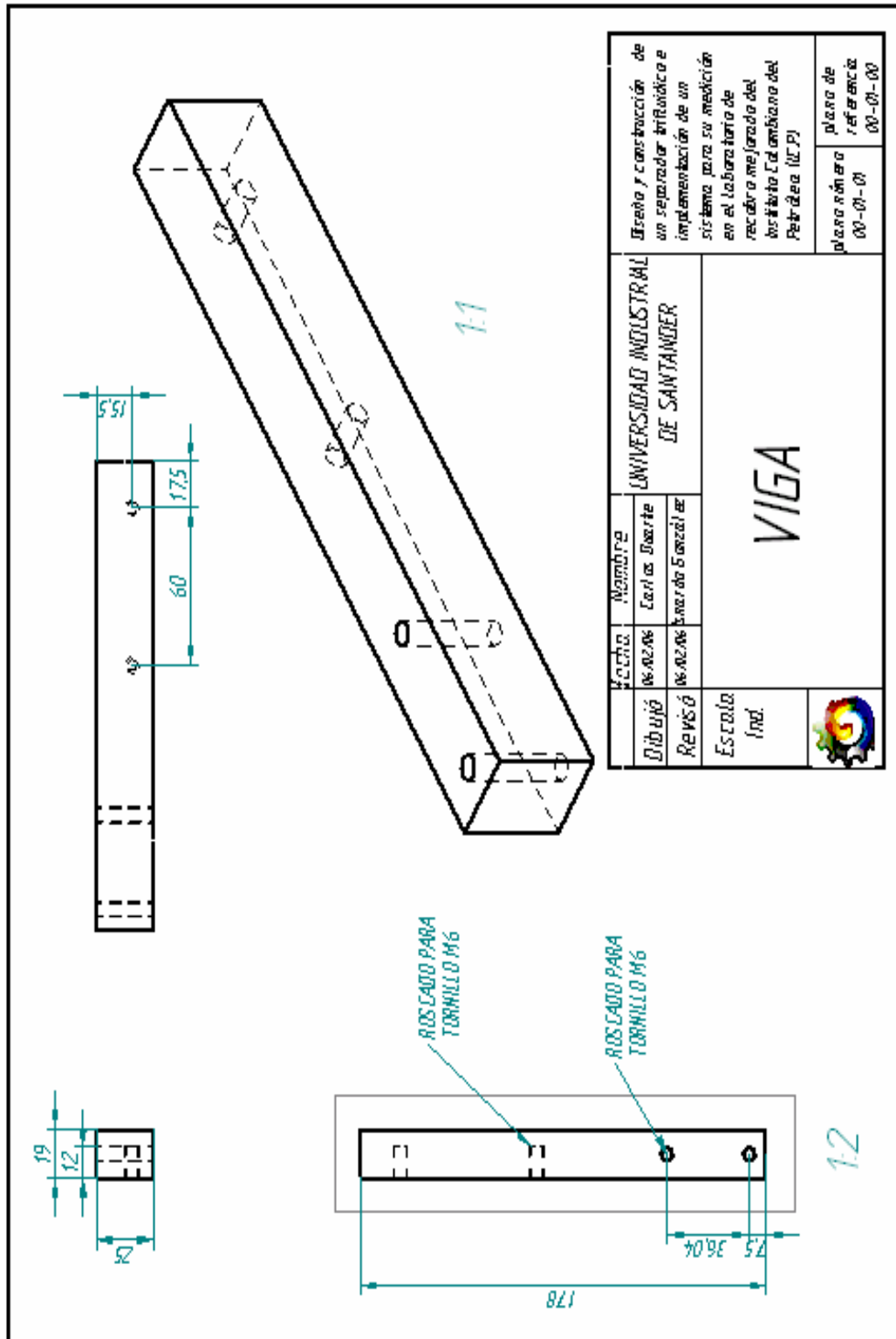


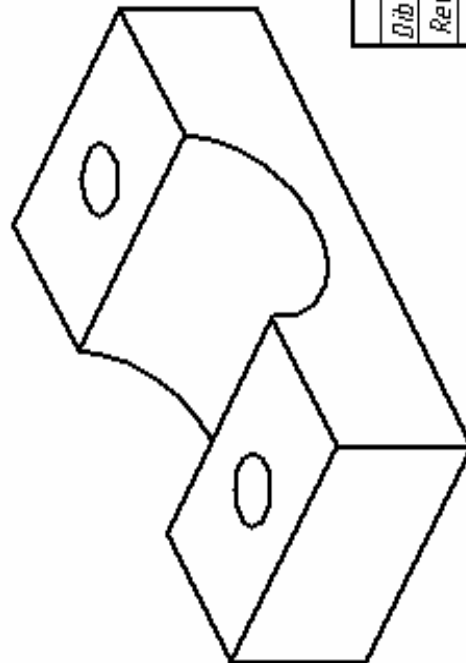
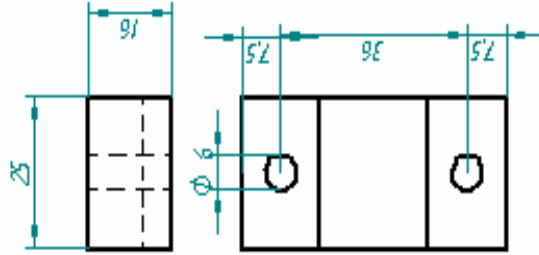
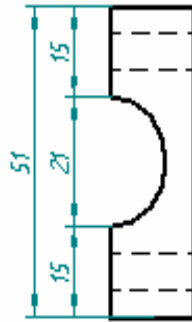
Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	Diseño y construcción de un separador trifásico e implementación de un sistema para su medición en el laboratorio de recubrimiento orgánico del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP)	plano de referencia 00-02-04 00-02-00
Dibujó	Carla Dazte			
Revisó	Isaac González			
Escala		PLATINA CIRCULAR		
1:2				



Parte Número	Número de Parte	Parte	Material	Cantidad
1	00-01-01	viga	aluminio	1
2	00-01-02	conal	aluminio	1
3	00-01-03	union	acero	1

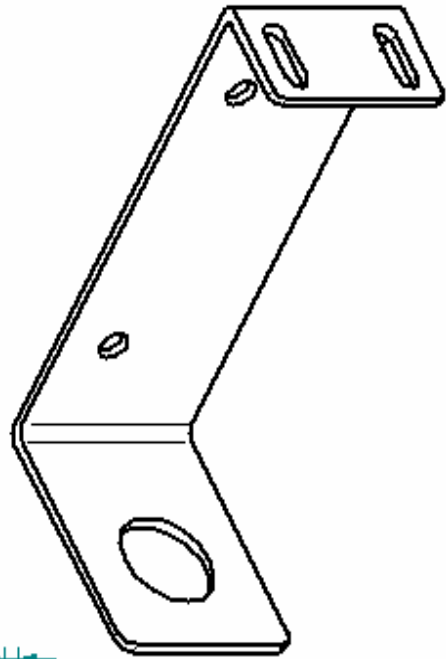
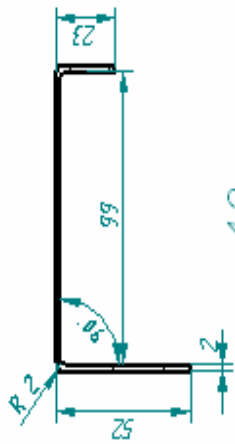
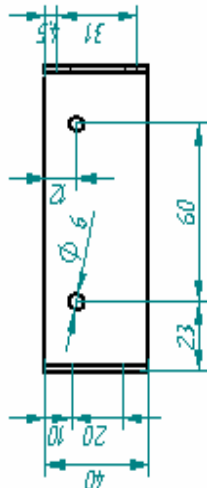
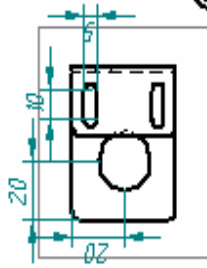
	Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	Diseño y construcción de un separador trifásico e implementación de su circuitos para su medición en el laboratorio de recursos energéticos del centro Colombiano del Petróleo (C.C.P.)
Dibujó	10/02/2010	Carlos Alberto		
Revisó	10/02/2010	Armando González		
Escuela	13		CONJUNTO INFERIOR	plano número 00-01-00
				plano de referencia





Dibujó	Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	Diseño y construcción de un separador trifásico e implementación de un sistema para su medición en el laboratorio de recórra mejorada del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP)	plano número 00-01-02
Revisó	06/02/06	Carlos Duarte			
Escaló	06/02/06	Gerardo González	CANAL		00-01-02
Ind.					

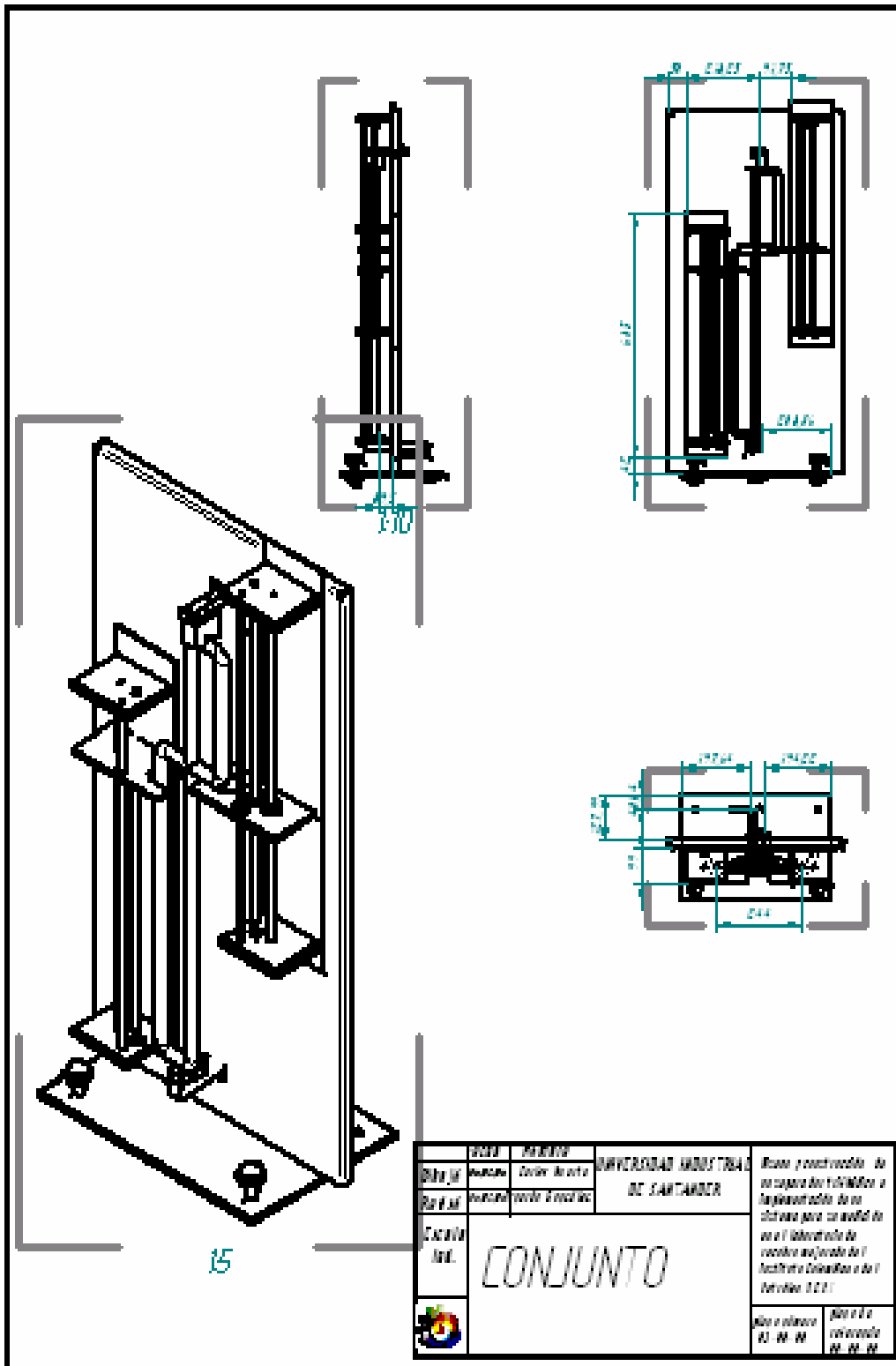




1:1

1:2

Fecha: 06/02/06 Dibujo: Carlos Duarte Revisó: Eduardo González		Nombre: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		Diseño y construcción de un separador friccional e implementación de un sistema para su medición en el laboratorio de recorte realizado al Instituto Colombiano del Petróleo (ICP)	
Escala: Ind.		PLATINA DE UNION		plano de referencia 00-01-03 00-01-00	
					



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	Nombre	Apellido	Apellido
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	Nombre	Apellido	Apellido
	Nombre	Apellido	Apellido
	<p>CONJUNTO</p>		<p>Fecha y construcción de este conjunto de tubos y fuerzas de la estructura para su uso en el laboratorio de resistencia de materiales de la Ingeniería Civil y de la Arquitectura</p>
	<p>Fecha y construcción del conjunto</p>	<p>Fecha y construcción del conjunto</p>	<p>Fecha y construcción del conjunto</p>

ANEXO C. TORNILLOS

Los tornillos sirven para unir la piezas la cabeza de los tornillos son redondas para dado.

Pieza	Cantidad	Longitud	Diámetro
Unión motor			
Paso a paso	8	45	3
Apoyo cónico	1	30	5
Soporte inferior	2	45	5
	2	15	6
Bastidor	6	15	5
	2	15	4
Apoyo	4	20	3
Soporte superior	2	45	5
	2	7	3
	1	15	5