



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS HIDROSTÁTICAS HASTA 30.000 PSI PARA SISTEMAS INDUSTRIALES

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MECÁNICA

DANNY FERNANDO ARIAS BEDÓN
danny.arias@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. RICARDO SOTO
ricardo.soto@epn.edu.ec

QUITO, MAYO 2017

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Danny Fernando Arias Bedón, bajo mi supervisión.

Ing. Ricardo Soto

**DIRECTOR DE
PROYECTO**

DECLARACIÓN

Yo, Danny Fernando Arias Bedón, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Danny Fernando Arias Bedón

DEDICATORIA

Mi proyecto lo dedico a mi querida esposa Raquel, así como a nuestro querido hijo Daniel, por todo su apoyo y fuerzas que me brindaron.

Danny Arias

AGRADECIMIENTO

Primero, agradezco a Dios por guiarme en todo momento para poder culminar mi carrera.

De una forma muy especial agradezco a mis padres por su empeño en verme crecer profesionalmente y como persona, a mi esposa Raquel e hijo Daniel quienes son un pilar fundamental en mi vida.

A mi Director, por el apoyo brindado con sus conocimientos profesionales en todo el proyecto.

Danny Arias

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
Pregunta de Investigación.....	2
Objetivo general	2
Objetivos específicos.....	2
1. MARCO TEÓRICO	2
1.1. Pruebas hidrostáticas.....	3
Procedimiento general para ensayo de pruebas hidrostáticas	3
Equipos existentes en el sector industrial	4
Ventajas y desventajas	5
Prueba hidrostática: normalización para realizar	6
Inspección por medio de pruebas hidrostáticas como medida de prevención	7
1.2. Equipos usados en las pruebas hidrostáticas	10
Bombas de desplazamiento positivo	10
Principio del desplazamiento positivo.....	10
Clasificación de las bombas de desplazamiento positivo	11
Bomba reciprocante de pistón	12
Bomba reciprocante de diafragma.....	12
Mecánico	12
Neumático	13
Bombas rotatorias de rotor simple y rotor múltiple	13
Aspas o paletas.....	13
Miembro flexible	14
Tornillo	14
Lóbulos	15
Engranés	15
Engranés externos	15
Engranés internos	16
1.3. Bomba neumática de pistón.....	16
Funcionamiento bomba neumática de pistón.....	16
Características	17
Relación de bomba “ratio”	18
Potencia neumática.....	18
1.4. Tubería	19
Espesor de tubería.....	19

2. METODOLOGÍA.....	21
2.1. Especificaciones del equipo.....	23
Casa de calidad.....	23
Criterio del usuario	23
Criterio de los ingenieros	24
Resultados y conclusiones	24
Especificaciones técnicas del equipo	25
Especificaciones consideradas del equipo	26
Resumen de las especificaciones técnicas	26
Análisis funcional del equipo.....	27
Desarrollo de los diagramas funcionales.....	28
Análisis de los diagramas funcionales.....	29
Definición de módulos.....	29
Alternativas de diseño para cada módulo	30
Módulo 1: Traslado del equipo.....	30
Levantar el equipo de prueba y colocarlo en el elemento a ensayar	31
Manualmente.....	31
Ruedas	31
Tecla manual.....	31
Colocar el equipo a una distancia adecuada para realizar el ensayo	32
Manualmente.....	32
Ruedas	32
Tecla Manual.....	32
Ventajas y desventajas del módulo 1	32
Las alternativas para el módulo 1 son:.....	33
Evaluación y selección de módulos.....	33
Módulo 2: Sellado del elemento	35
Accionamientos manuales con acoples rápidos	36
Accionamiento mecánico (Tornillo de potencia).....	36
Accionamiento hidráulico	36
Ventaja y desventajas del módulo 2	37
Evaluación y selección de accionamiento	37
Módulo 3: Alimentación y descarga de agua a presión	40
Bomba reciprocante de pistón	40
Bomba neumática	41
Bomba de paletas	41
Bomba de lóbulos.....	41

Ventajas y desventajas del módulo 3	41
Evaluación y selección de alternativa de bombas.....	42
Módulo 4: Estructura del equipo	45
Estructura de cuatro patas verticales	45
Estructura de cuatro patas horizontales	46
Estructura cerrada.....	46
Evaluación y selección de módulos.....	46
Conclusiones del diseño conceptual	48
2.2. Selección de equipos	49
Aspectos considerados en el diseño	49
Selección de bombas principales	50
Bomba Haskel.....	50
Selección de la bomba Haskel.....	51
Uso del programa de Haskel bomba 1	52
Interpretación de resultados bomba 1	52
Comprobación de resultados del programa Haskel ASF-B15	54
Diagrama de la bomba ASF-B15.....	54
Uso del programa de Haskel bomba 2	55
Interpretación resultados bomba 2	56
Comprobación de resultados del programa Haskel HSF-225	57
Diagrama de la bomba HSF-225	58
Filtro de aire	58
Selección del filtro de aire	59
Regulador de aire.....	61
Selección del regulador de aire	61
Tubing de baja presión (150 psi y 2.000 psi).....	62
Comprobación del tubing de baja presión	64
Tubing diámetro exterior ¼ in	64
Tubing diámetro externo ½ in	65
Verificación del tubing de baja presión mediante inventor.....	65
Tubing diámetro exterior ¼ in	65
Tubing diámetro externo ½ in	66
Tubing de alta presión (30.000 psi)	67
Comprobación del tubing seleccionado H.P.....	69
Tubing diámetro exterior ¼ in HP	69
Tubing diámetro externo ¾ in HP	70
Verificación del tubing de alta presión mediante inventor.....	70

Tubing diámetro exterior ¼ in HP	70
Tubing diámetro externo 3/8 in HP	71
Estructura del equipo	72
Verificación de esfuerzos mediante inventor.....	74
Manguera de 30.000 psi	77
Llantas para el transporte	77
Verificación de reacciones en las llantas mediante inventor	78
Simulación del banco de prueba hidrostática por medio de Automation Studio ...	79
Simulación neumática	79
Simulación accionamiento hidrostática.....	81
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	84
3.1. Especificaciones de diseño	84
Módulo 1: Traslado del equipo.....	84
Módulo 2: Sellado del elemento	84
Módulo 3: Carga y descarga de agua.....	84
Módulo 4: Estructura del equipo	85
Bombas neumáticas.....	85
Filtro de aire	86
Regulador de aire.....	87
Accesorios, válvulas y manómetros	87
Tubería	89
Estructura del equipo	90
3.2. Evaluación de costo del prototipo fabricado en Ecuador	91
Costo de materiales	91
Módulo 1: Posicionamiento del equipo.....	91
Módulo 2: Sellado del elemento	92
Módulo 3: Carga y descarga de agua.....	92
Módulo 4: Estructura del equipo	95
Costo de fabricación	95
Costo de diseño	96
Costo de imprevistos.....	96
Costo del proyecto	96
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	98
Referencias Bibliográficas.....	100
Anexos	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Cilindro de una bomba de desplazamiento positivo.....	11
Figura 1.2. Clasificación de las bombas de desplazamiento positivo	11
Figura 1.3. Bomba de desplazamiento positivo	12
Figura 1.4. Bomba reciprocante de diafragma mecánico	12
Figura 1.5. Bomba reciprocante de diafragma neumática.....	13
Figura 1.6. Bomba de aspas deslizantes	13
Figura 1.7. Bomba de tubo flexible.....	14
Figura 1.8. Bomba de tornillo	14
Figura 1.9. Bomba de lóbulos	15
Figura 1.10. Bomba de engranes externos.....	15
Figura 1.11. Bomba de engranes internos.....	16
Figura 1.12. Partes de una Bomba Haskel	17
Figura 2.1. Diagrama de la metodología usada.....	21
Figura 2.2. Flujograma del análisis de los elementos internos.....	22
Figura 2.3. Nivel 0. Modularidad del equipo de pruebas hidrostáticas	28
Figura 2.4. Nivel 1. Funciones del equipo de pruebas hidrostáticas	28
Figura 2.5. División modular de la fabricación del equipo de pruebas hidrostáticas ...	30
Figura 2.6. Estructura de cuatro patas verticales	45
Figura 2.7. Estructura de cuatro patas horizontales	46
Figura 2.8. Resultados de la Bomba 1	52
Figura 2.9. Grafica de la Bomba ASF-B15	53
Figura 2.10. Diagrama de la bomba ASF-B15.....	55
Figura 2.11. Resultados de la Bomba 2.....	55
Figura 2.12. Gráfica de la Bomba HSF-225	57
Figura 2.13. Diagrama de la bomba HSF-225.....	58
Figura 2.14. Filtro de Aire Comprimido	59
Figura 2.15. Descripción del filtro de aire.....	59
Figura 2.16. Selección del filtro de aire	60
Figura 2.17. Regulador de presión con y sin orificio de escape.....	61
Figura 2.18. Selección del DIAL de control.....	62
Figura 2.19. Diámetro de tubing baja presión	63
Figura 2.20. Herramienta para doblado	63
Figura 2.21. Análisis de esfuerzos tubería ¼ in	66
Figura 2.22. Análisis de esfuerzos tubería ½ in	67
Figura 2.23. Diámetro tubing alta presión	68
Figura 2.24. Herramientas especiales	68
Figura 2.25. Análisis de esfuerzos tubería ¼ in HP.....	71
Figura 2.26. Análisis de esfuerzos tubería 3/8 in.....	72
Figura 2.27. Resultado de deformaciones	76
Figura 2.28. Resultado de esfuerzos	76
Figura 2.29. Llantas rotantes.....	77
Figura 2.30. Cargas ejercidas a 45° de inclinación	78
Figura 2.31. Simulación accionamiento neumático	80
Figura 2.32. Comportamiento de los pistones	81
Figura 2.33. Simulación accionamiento hidrostático	81
Figura 2.34. Sistema hidrostático 1	82
Figura 2.35. Sistema hidrostático 2.....	83
Figura 3.1. Modelado de accesorios, válvulas y manómetros.....	89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Presiones máximas de equipos de desplazamiento positivo	4
Tabla 1.2. Ventajas y desventajas de las pruebas hidrostáticas	5
Tabla 1.3. Normas para Pruebas Hidrostáticas	6
Tabla 1.4. Inspecciones periódicas de los diferentes elementos a presión	8
Tabla 2.1. Ventajas y desventajas del módulo 1	32
Tabla 2.2. Evaluación de cada criterio	34
Tabla 2.3. Evaluación de las soluciones al desplazar equipo en corto tiempo	34
Tabla 2.4. Evaluación de las soluciones al menor número de operadores	34
Tabla 2.5. Evaluación de las soluciones a la complejidad en la operación	35
Tabla 2.6. Evaluación de las soluciones al precio.....	35
Tabla 2.7. Conclusiones del Módulo 1	35
Tabla 2.8. Ventajas y desventajas del módulo 2	37
Tabla 2.9. Evaluación de cada criterio	38
Tabla 2.10. Evaluación de las soluciones respecto al sellado rápido.....	38
Tabla 2.11. Evaluación de las soluciones respecto al sellado seguro.....	38
Tabla 2.12. Evaluación de las soluciones respecto a la facilidad en transportación....	39
Tabla 2.13. Evaluación de las soluciones respecto al costo del equipo	39
Tabla 2.14. Evaluación de las soluciones respecto a la facilidad en su operación.....	39
Tabla 2.15. Tabla de conclusiones del módulo 2	39
Tabla 2.16. Ventajas y desventajas del módulo 3.....	42
Tabla 2.17. Evaluación de cada criterio	43
Tabla 2.18. Evaluación de las soluciones respecto a elevar altas presiones.....	43
Tabla 2.19. Evaluación de las soluciones respecto al stock de repuestos.....	43
Tabla 2.20. Evaluación de las soluciones respecto a fácil transportación	44
Tabla 2.21. Evaluación de las soluciones respecto al costo.....	44
Tabla 2.22. Evaluación de las soluciones respecto al peso	44
Tabla 2.23. Tabla de conclusiones del módulo 3	44
Tabla 2.24. Ventajas y desventajas del módulo 4	46
Tabla 2.25. Evaluación de cada criterio	47
Tabla 2.26. Evaluación de las soluciones respecto a la facilidad en mantenimiento...	47
Tabla 2.27. Evaluación de las soluciones respecto a la fabricación económica	47
Tabla 2.28. Evaluación de las soluciones respecto a la instalación de ruedas.....	48
Tabla 2.29. Evaluación de las soluciones respecto al peso de la estructura	48
Tabla 2.30. Tabla de conclusiones del módulo 4	48
Tabla 2.31. Conclusiones diseño conceptual	49
Tabla 2.32. Especificaciones de la bomba	51
Tabla 2.33. Código de servicio Bomba 1.....	53
Tabla 2.34. Código de servicios Bomba 2.....	56
Tabla 2.35. Datos del filtro de aire comprimido	60
Tabla 2.36. Datos del DIAL de control.....	61
Tabla 2.37. Tubing a ser usado en bajas presiones	64
Tabla 2.38. Tubing a ser usado H.P.	69
Tabla 2.39. Peso de los accesorios, manómetro, válvulas	73
Tabla 2. 40. Reacciones de la superficie de contacto.....	79
Tabla 3.1. Bombas neumáticas	85
Tabla 3.2. Filtro de aire	86
Tabla 3.3. Regulador de aire	87
Tabla 3.4. Lista de accesorios, válvulas y manómetros.....	87
Tabla 3.5. Tubería de baja presión.....	89

Tabla 3.6. Tubería de baja presión.....	90
Tabla 3.7. Tubo cuadrado.....	90
Tabla 3.8. Costo módulo 1: Posicionamiento del elemento.....	91
Tabla 3.9. Módulo 2: Sellado del elemento.....	92
Tabla 3.10. Módulo 3: Carga y descarga de agua.....	93
Tabla 3.11. Módulo 4: Estructura del equipo.....	95
Tabla 3.12. Costo de fabricación.....	96
Tabla 3.13. Costos del prototipo.....	97

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo diseñar un banco de pruebas hidrostáticas para elementos que trabajan a presiones de hasta 30.000 PSI, que sea transportable y maniobrable, con la finalidad de realizar ensayos a elementos de gran tamaño en su sitio de trabajo, sin tener que desplazar el elemento. El equipo debe alcanzar las presiones de ensayo de las normas ASME, ASTM, ANSI, ISO y NRF como referencia, en caso de no contar con una norma como referencia se recomienda considerar la regla general establecida por Manuel Viejo (Viejo,2.005), la presión de ensayo debe ser el doble de la presión de trabajo y permanecer en dicha presión mínimo 30 minutos. El método usado para su desarrollo se ha implementado el manual de diseño concurrente de Carlos Rivas. La casa de la calidad permite determinar los requerimientos del usuario, para que este sea transportable y maniobrable, una vez obtenidos los elementos necesarios. El siguiente paso es seleccionar los materiales necesarios a usar, cada selección de los elementos se ha comprobado con métodos analíticos y métodos de elementos finitos. El modelado del banco de pruebas hidrostáticas ha permitido determinar una alternativa para poderlo transportar, por medio de una lista de elementos se puede realizar un presupuesto del prototipo, comparando con equipos importados se ha logrado tener un equipo 20% más económico.

Palabras clave: control, hermeticidad, hidrostática, neumática, portátil, presurización.

ABSTRACT

The present project aims to design a bank of hydrostatic tests for elements that work at pressures up to 30,000 PSI, which is transportable and maneuverable, with the purpose of carrying out tests to large items in your place of work, without having to move the item. The machine must meet the test pressures of ASME, ASTM, ANSI, ISO and NRF as a reference, in case you do not have a standard as a reference it is recommended that consideration be given to the general rule established by Manuel Viejo (Viejo, 2.005), the test pressure should be twice the working pressure and stay in this pressure at least 30 minutes. The method used for its development has been implemented concurrent design manual of Carlos Rivas. The house of quality allows you to determine the requirements of the user, so that it is transportable and maneuverable, once obtained

the necessary elements. The next step is to select the necessary materials to use, each selection of the elements has been tested with analytical methods and finite element methods. The modeling of the hydrostatic test bank has made it possible to determine an alternative so that it can be transported by means of a list of items you can make a budget of the prototype, comparing with imported equipment has managed to have a machine 20% cheaper.

Key words: control, tightness, hydrostatic, pneumatic, portable, pressurizing.

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS HIDROSTÁTICAS HASTA 30.000 PSI PARA SISTEMAS INDUSTRIALES

INTRODUCCIÓN

La prueba hidrostática es un tipo de ensayo no destructivo, mediante la cual se verifica la integridad física de los elementos que van a estar en contacto con líquidos o gases a presión. Este ensayo permite determinar la hermeticidad del elemento, para lo cual, se inyecta agua a una presión superior a la de operación en un tiempo pre-determinado.

Previamente se realiza un análisis para determinar el tiempo y presión de ensayo, dicha presión y tiempo varía de acuerdo a la norma que se vaya a tener como referencia. Las normas ASME, ASTM, ANSI, ISO, NRF, etc. cuentan con sus propios rangos de presión y tiempos de ensayo como referencia para determinar si el elemento puede garantizar una correcta operación. En un ensayo realizado si la presión es constante significa que no existen fugas, por lo tanto, existe una hermeticidad en el elemento ensayado.

En el caso de no contar con una norma como referencia, la recomendación es considerar la regla general establecida por Manuel Viejo (Bombas: teoría, diseño y aplicaciones), la cual establece que se debe realizar el ensayo a una presión al doble de la presión en su operación, por un periodo máximo de 30 minutos. En caso de existir un defecto, la fuga se evidenciará inmediatamente.

“En el caso de pequeñas presiones de prueba, hasta 100 lb/ptg^2 , se pueden utilizar sistemas hidroneumáticos, y en el caso de trabajos a presiones superiores a los 100 lb/ptg^2 se usan bombas de desplazamiento positivo.

Las fugas son detectadas visualmente o por instrumentos instalados en el elemento a ser ensayado. Los elementos que presentan fugas serán reparadas siguiendo un procedimiento, una vez reparada se debe probar su funcionalidad de las mismas o se las rechazarán definitivamente” (VIEJO, 2.005).

Pregunta de Investigación

¿Cómo diseñar un equipo de pruebas hidrostáticas que sea transportable, maniobrable y a su vez cumpla con las expectativas usuario con la finalidad de ser competitivos en el mercado?

Objetivo general

Diseñar y simular un banco de pruebas hidrostáticas hasta 30.000 PSI para sistemas industriales.

Objetivos específicos

- Diseñar un banco de pruebas hidrostáticas teniendo en consideración el costo y su fácil transporte.
- Implementar un dispositivo que permita controlar la descarga del banco de pruebas hidrostáticas.
- Implementar un dispositivo electrónico que permita visualizar los resultados obtenidos de la prueba y poderlos expresar en una gráfica.
- Obtener la simulación mecánica del banco de pruebas hidrostáticas usando la herramienta informática Inventor.

1. MARCO TEÓRICO

La presente sección se describe la necesidad de implementar pruebas hidrostáticas a elementos que trabajan a presión como una medida de inspección. Aquellos elementos que trabajan en condiciones extremas de presión su inspección es mucho más estricta y por norma se deben realizar inspecciones periódicas por lo cual la implementación de realizar pruebas hidrostáticas es fundamental.

1.1. Pruebas hidrostáticas

Un elemento fundido o fabricado que trabaje con líquidos o gases a presión debe ser sometido a una prueba hidrostática, con el propósito de determinar la hermeticidad. La prueba se realiza con agua a presión y conservando esta durante un determinado tiempo.

En el caso de no usar una norma como referencia en el libro de Manuel Viejo (Viejo, 2.005) se sugiere usar la regla general, la cual establece realizar el ensayo durante un periodo de 30 minutos al doble de presión de trabajo.

En caso de pequeñas presiones de pruebas (máximo 100 psi) es posible utilizar sistemas hidroneumáticos, pero en caso de presiones superiores se deberá utilizar una bomba de desplazamiento positivo.

Las pruebas hidrostáticas o también conocidas como pruebas de hermeticidad son consideradas pruebas no destructivas, mediante el cual podemos inspeccionar la integridad física de una pieza.

Procedimiento general para ensayo de pruebas hidrostáticas

Los procedimientos de pruebas hidrostáticas pueden variar según su aplicación o campo de acción. A continuación, se detalla paso a paso las actividades a realizarse en las pruebas hidrostáticas, las actividades están desarrolladas secuencialmente, pero pueden variar según el trabajo y si el proceso lo permite.

- a. Trasladar el equipo de pruebas hidrostáticas al sitio de trabajo, ubicándolo en un lugar cerca del elemento a ensayar.
- b. Una vez que los manómetros se encuentren correctamente instalados, se procederá a realizar una inspección, verificando que su certificado de calibración este correctamente colocado.
- c. Colocar el elemento a ser ensayado de forma que se pueda visualizar, de tal manera que se evidencien fugas o deformaciones al momento de llenarlo de agua.
- d. Instalar válvulas de venteo, manómetros, y temperatura siempre y cuando sea posible.
- e. Instalar conexiones bridadas o roscadas, tapar partes adicionales al elemento y líneas de agua.

- f. Llenar la línea de llenado con agua.
- g. Revisar que la línea de agua no esté con impurezas o fugas y que el líquido fluya normalmente.
- h. El elemento a ser ensayado deberá ser llenado lentamente y se dejarán abiertas las válvulas de venteo con la finalidad que todo el aire escape del interior, la misma que se encontrará ubicada en la parte superior del elemento a ser ensayado siempre y cuando sea posible.
- i. Verificar que la línea de suministro de agua potable está llena, asegurándose que se encuentre limpia y libre de obstrucciones. Se ventea nuevamente asegurándose que no se encuentre aire dentro del elemento a ser ensayado.
- j. Una vez realizada la inspección del literal anterior se procederá a dar presión con una bomba en el sistema de pruebas hidrostáticas.
- k. Verificar que la presión permanezca constante en un tiempo predeterminado.
- l. Una vez terminado el ensayo se dejará salir el agua que se encuentra a presión vaciando el agua del elemento a ser ensayado.
- m. Finalmente se aflojarán las mangueras del elemento.

Equipos existentes en el sector industrial

En la tabla 1.1 se detalla un resumen de algunas bombas en diferentes aplicaciones en pruebas hidrostáticas.

Tabla 1.1. Presiones máximas de equipos de desplazamiento positivo

DESCRIPCIÓN	PRESIÓN MÁXIMA		ACCIONAMIENTO	DIÁMETRO DE SALIDA
	BAR	PSI		
Bomba hidráulica manual	700	10.152,64	Fuerza a la manivela 38 - 45 Kg.	3/8"
Electro bomba compacta	700	10.152,64	Motor eléctrico monofásico 110 V y 220 V.	3/8"
Mini electrobombas ligeras y con correa transportadora	700	10.152,64	Motor eléctrico monofásico 110 V y 220 V.	3/8"
Bomba a gasolina	700	10.152,64	Motor 3,35 KW, motor de cuatro tiempos.	3/8"

Tabla 1.1. Presiones máximas de equipos de desplazamiento positivo (Continuación)

DESCRIPCIÓN	PRESIÓN MÁXIMA		ACCIONAMIENTO	DIÁMETRO DE SALIDA
	BAR	PSI		
Bomba hidroneumática	700	10.152,64	Motor neumático rotatorio 3 KW, consumo máximo de aire 2,4 m ³ /min con una presión de aire de 7 Bar.	3/8"
Bomba neumática	2000	29.007,55	Consumo de aire 212 scfm y 7 Bar.	1/2" - 1 1/8"
Bomba reciprocante	500	7.251,89	Motor 40 HP	1/2"

(Fuente: Propia, 2.016)

En el sector industrial se realizan pruebas hidrostáticas con equipos hidráulicos manuales, estos equipos son considerados como bombas de desplazamiento positivo. El rango de operación de una bomba hidráulica manual es de 1 – 700 Bar, su aplicación más común es para comprobar la hermeticidad en tanques. Las empresas que cuentan con sistemas automatizados de pruebas hidrostáticas son escasas debido a su alto costo y limitadas a ciertas aplicaciones.

Ventajas y desventajas

En la presente tabla 1.2. se detallan las ventajas y desventajas de la implantación de pruebas hidrostáticas.

Tabla 1.2. Ventajas y desventajas de las pruebas hidrostáticas

Ventajas	Desventajas
Contar con un reporte seguro del estado físico del elemento	Requiere una significativa inversión inicial
Controlar los mantenimientos o controlar la calidad de los elementos	Requiere un personal con conocimientos en lectura de pruebas hidrostáticas
Facilitar la inspección de desperfectos, y toma de decisiones en las líneas de producción	

(Fuente: Propia, 2.016)

Por lo expuesto anteriormente, la implementación de un equipo de pruebas hidrostáticas es justificada para determinar la hermeticidad en un elemento a presión y evitar paros innecesarios por fugas.

Prueba hidrostática: normalización para realizar

Con la finalidad de garantizar la integridad y hermeticidad de un elemento o sistemas de tuberías que manejan líquidos, gases, sustancias peligrosas en instalaciones terrestres e instalaciones marinas, incluyendo sus servicios auxiliares, es necesario usar una norma que permita tener una referencia para garantizar la operación del elemento. En la tabla 1.3., se detallan las normas más usadas para realizar las pruebas hidrostáticas en elementos y tuberías a presión.

Tabla 1.3. Normas para Pruebas Hidrostáticas

NORMA	DESCRIPCIÓN
ASME B31.3	Process Piping
ASTM E 1003-95	Standard Test Method for Hydrostatic Leak Testing
ASTM E 1316-05	Standard Terminology for Nondestructive Testing
NRF-150-PEMEX-2005 Rev. 0	Pruebas Hidrostáticas de Tuberías y Equipos
NRF-035-PEMEX-2005	Sistemas de Tuberías en plantas Industriales- Instalación y Pruebas
ISO 15156-2001	Petroleum and natural gas industries
ANSI/ASME B16.48	Steel line blanks
MSS SP-61	Hydrostatic Testing of Steel Valves “Pruebas Hidrostáticas de válvulas de acero).Abarca las válvulas de compuerta de cuña y de retención
API 598	Valve Inspection and Test”(inspección y pruebas de válvulas)
NOM-001-SEMARNAT-1996(1)	Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas residuales aguas y bienes nacionales
NOM-001-STPS-1993	Relativas a las condiciones de seguridad e higiene en los edificios, locales, instalaciones y áreas de los centros de trabajo.
NOM-002-STPS-1993	Relativas a las condiciones de seguridad para la prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo.
NOM-005-STPS-1993	Relativas a las condiciones de seguridad en los centros de trabajo para el almacenamiento, transporte y manejo de sustancias inflamables y combustibles.
NOM-008-STPS-1993	Relativas a las condiciones de seguridad e higiene para la producción, almacenamiento y manejo de explosivos en los centros de trabajo.
NOM-009-STPS-1993	Relativas a las condiciones de seguridad e higiene para el almacenamiento, transporte y manejo de sustancia corrosivas, irritantes y tóxicas en los centros de trabajo.
NOM-010-STPS-1993	Relativas a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se produzcan, almacenen o manejen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral.

Tabla 1.3. Normas para Pruebas Hidrostáticas (Continuación)

NORMA	DESCRIPCIÓN
NOM-012-STPS-1993	Relativas a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se produzcan, usen, manejen, almacenen o transporten fuentes generadoras o emisoras de radiaciones ionizantes.
NOM-016-STPS-1993	Relativas a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo, referente a ventilación.
NOM-017-STPS-1993	Relativa al equipo de protección personal para los trabajadores en los centros de trabajo.
NOM-022-STPS-1993	Relativas a las condiciones de seguridad en los centros de trabajo en donde la electricidad estática representa un riesgo.
NOM-024-STPS-1993	Relativas a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se generen vibraciones.
NOM-025-STPS-1993	Relativas a los niveles y condiciones de iluminación que deben tener los centros de trabajo.
NOM-028-STPS-1993	Seguridad-Código de colores para la identificación de fluidos conducidos en tuberías.
NOM-114-STPS-1993	Sistema para la identificación y comunicación de riesgos por sustancias químicas en los centros de trabajo.
NOM-001-SEMP-1994	Instalaciones destinadas al suministro y uso de la energía eléctrica.
Código ASME Secc. V cap. X	
NRF-028-PEMEX-2004	Diseño y construcción de recipientes a presión.
Especificación Q-201	

(Fuente: Estructplan On Line, Aparatos sometidos a presión)

Inspección por medio de pruebas hidrostáticas como medida de prevención

Con la finalidad de proporcionar una idea más amplia para las diferentes aplicaciones de pruebas hidrostáticas se ha desarrollado una tabla, permitiendo tener un enfoque más claro respecto a las inspecciones que se deben realizar a distintos elementos que se usan comúnmente en la industria.

En la tabla 1.4. se detalla en resumen las inspecciones periódicas de las diferentes aplicaciones a presión.

Tabla 1.4. Inspecciones periódicas de los diferentes elementos a presión

TIPO DE APARATO	CAMPO DE APLICACIÓN	INSPECCIONES PERIÓDICAS	TIPO DE PRUEBAS
Aparatos en los que se desarrolla presión (Sin instrucción técnica complementaria)	A partir de $P > 0,5 \text{ kg/cm}^2$ (Si $P \leq 2 \text{ kg/cm}^2$ y $V < 10 \text{ dm}^3 \rightarrow$ excluidos)	Cada 5 años Si $P \cdot V \geq 10$ (Por una entidad de inspección y control)	<ul style="list-style-type: none"> • Prueba hidrostáticas • Inspección interior • Inspección exterior • Timbrado de la válvula de seguridad
Tuberías de conducción de fluidos (Sin instrucción técnica complementaria)	Tuberías cuando: $P \text{ (kg/cm}^2) \cdot D \text{ (diámetro interior en cm)} \geq 100$ y, además, $P > 4 \text{ kg/cm}^2$	Cada 10 años (Por una entidad de inspección y control - empresa mantenedora)	<ul style="list-style-type: none"> • Prueba hidrostáticas • Inspección interior • Inspección exterior • Timbrado de la válvula de seguridad
Recipientes sometidos a presión (Sin instrucción técnica complementaria) Autoclaves, etc.	A partir de $P > 1 \text{ kg/cm}^2$ (Si $P \leq 2 \text{ kg/cm}^2$ y $V < 10 \text{ dm}^3 \rightarrow$ excluidos)	Cada 10 años Si $P \cdot V \geq 10$ (Por una entidad de inspección y control)	<ul style="list-style-type: none"> • Prueba hidrostáticas • Inspección interior • Inspección exterior • Timbrado de la válvula de seguridad
Calderas Economizadores Precalentadores Sobrecalentadores Recalentadores	<ul style="list-style-type: none"> • Calderas de agua o a vapor sobrecalentado con $P > 0,5 \text{ bar}$ y $P \text{ (N/mm}^2) \cdot V \text{ (m}^3) \geq 0,005$ • Calderas de agua caliente de uso industrial con potencia $> 200.000 \text{ kcal/h}$ • Calderas de agua caliente de uso doméstico cuando $P \text{ (bar)} \cdot V \text{ (m}^3) > 10$ • Calderas de fluido térmico con potencia $> 25.000 \text{ kcal}$ y presión $< 10 \text{ bar}$ (circulación forzada) o presión $< 5 \text{ bar}$ (resto) • Precalentadores y economizadores. • Recalentadores de vapor y sobrecalentadores y 	Al cabo de 5, 10, 13, 16 años, etc. Si $P \cdot V \geq 25$ (Por una entidad de inspección y control)	<ul style="list-style-type: none"> • Prueba hidrostáticas • Inspección interior • Inspección exterior • Pruebas de funcionamiento con Timbrado de la válvula de seguridad
Tuberías para fluidos relativos a calderas	<ul style="list-style-type: none"> • Vapor saturado y caldera con potencia $> 200.000 \text{ kcal/h}$ • Agua sobrecalentada y caldera con potencia $> 200.000 \text{ kcal/h}$ • Agua caliente y caldera con potencia $> 500.000 \text{ kcal/h}$ • Fluido térmico y caldera con potencia $> 25.000 \text{ kcal/h}$ • Combustibles líquidos y gaseosos 	Cada 5 años (Por una entidad de inspección y control)	<ul style="list-style-type: none"> • Prueba hidrostáticas • A los 10 años, inspección completa con desmontaje total o parcial de la calorifugación en caso de dudas
Extintores de incendios	Extintores fijos o móviles: <ul style="list-style-type: none"> • polvo o halón $\leq 100 \text{ kg}$ • agua o espuma $\leq 100 \text{ l}$ • de $\text{CO}_2 \leq 10 \text{ kg}$ 	Cada 5 años (Entidad de control e inspección o por fabricantes) Cada año (mantenedor)	<ul style="list-style-type: none"> • Prueba hidrostáticas <p>Nota: las pruebas las suele hacer el recargador en sus Instalaciones</p>

Tabla 1.4. Inspecciones periódicas de los diferentes elementos a presión (Continuación)

TIPO DE APARATO	CAMPO DE APLICACIÓN	INSPECCIONES PERIÓDICAS	TIPO DE PRUEBAS
Botellas/botellones de gases licuados, disueltos y comprimidos a presión	"Botellas y botellones de acero soldado y sin soldadura, de acetileno disuelto y de aleación de aluminio, bloques de botellas, botellones criogénicos" con $P \geq 0,5$ bar (incluidos los elementos de cierre, de seguridad y auxiliares)	<ul style="list-style-type: none"> • Cloro: 2 años (Por una entidad de inspección y control) • Acetileno: 3 años (Por una entidad de inspección y control) • Resto: según TPC (Entidad de control e inspección) 	<ul style="list-style-type: none"> • Según la norma 7 de la ITC <p>Nota: las pruebas se suelen hacer en las instalaciones del gasista</p>
Aparatos a presión que pertenecen a instalaciones frigoríficas	Recipientes a presión que no sean elementos dinámicos con $V > 15$ dm ³ y $P > 1$ bar	<p>Primera: a los 10 años Resto: cada 5 años</p> <p>Si $P \cdot V \geq 40$ (Por una entidad de inspección y control)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión exterior • Revisión interior • Desmontaje y tarado de elementos de seguridad • Desmontaje, revisión y pruebas de limitadores de presión • Prueba hidráulica en caso de daño o reparación, o tras más de 2 años sin funcionar
Depósitos criogénicos	Recipientes de almacenaje y utilización de gases criogénicos: $450 \text{ l} < V < 2.000.000 \text{ l}$ con $P > 1$ bar	<p>Cada 5 años Si $P \cdot V > 30.000$ inflamables (Por entidad de inspección y control)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si $P \cdot V > 45.000$ comburentes (Por entidad de inspección y control) • Si $P \cdot V > 55.000$ inertes (Por entidad de inspección y control) 	<ul style="list-style-type: none"> • Cada cinco años, pruebas de estanquidad y verificación del sistema de seguridad • Cada quince años, prueba neumática a 1,1 Pms <p>Nota: las pruebas las suele hacer el gasista in situ</p>
Calderas de agua caliente	<ul style="list-style-type: none"> • Calderas de agua de calefacción o agua caliente sanitaria de uso no industrial con P (bar) – V (m³) ≤ 10 • Calderas de calefacción o agua caliente sanitaria de uso industrial con potencia ≤ 200.000 kcal/h 	Disponer del registro de tipo	
Intercambiadores de calor	Intercambiadores con el potencial de riesgo P (bar) · V (dm ³) y el grupo de fluido siguientes: <ul style="list-style-type: none"> • $PR > 10.000$ y fluidos del grupo A o B • $2.500 < PR \leq 10.000$ y fluidos de los grupos A o B • $500 < PR \leq 2.500$ y fluidos de los grupos A o B 	Tramitación según RD 2135/1980	Autorización de puesta en servicio
	<ul style="list-style-type: none"> • $PR > 10.000$ y fluido del grupo A 	<p>Cada 3 años</p> <p>Cada 10 años</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Inspección exterior por parte del usuario • Prueba de presión por parte de una entidad de inspección y control reglamentario
	<ul style="list-style-type: none"> • $PR > 10.000$ y fluidos del grupo B • $2.500 < PR \leq 10.000$ y fluidos del grupo A 	<p>Cada 4 años</p> <p>Cada 10 años</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Inspección exterior por parte del usuario • Prueba de presión por parte de una entidad de control e inspección reglamentario

Tabla 1.4. Inspecciones periódicas de los diferentes elementos a presión (Continuación)

TIPO DE APARATO	CAMPO DE APLICACIÓN	INSPECCIONES PERIÓDICAS	TIPO DE PRUEBAS
	<ul style="list-style-type: none"> • $500 < PR \leq 2.500$ y fluidos del grupo A • $2.500 < PR \leq 10.000$ y fluidos del grupo B • $PR > 10.000$ y fluidos del grupo C 	<p>Cada 5 años</p> <p>Cada 10 años</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Inspección exterior por parte del usuario • Prueba de presión por parte de una entidad de control e inspección reglamentario
	<ul style="list-style-type: none"> • $PR \leq 500$ y fluidos del grupo A • $500 < PR \leq 2.500$ y fluidos del grupo B 	<p>Cada 5 años</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Inspección exterior por parte del usuario
Aparatos para la preparación rápida de café	$V \geq 4$ litros con potencia $> 1,5$ kW y P (bar) · V (dm ³) ≤ 300 y presión máxima de la caldera < 2 bar	<p>5 años</p> <p>(Por entidad de inspección y control)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Inspección y pruebas
Aire comprimido	Recipientes y depósitos auxiliares: pulmones, separadores, intercambiadores del sistema de compresión con $P > 0,5$ bar y $P \cdot V > 0,02$	<p>Cada 10 años</p> <p>(Por entidad de inspección y control)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Inspección interior • Inspección exterior • Prueba hidráulica

(Universidad Politécnica De Catalunya, CODIGO IdP/022, FECHA: Julio 2003)

1.2. Equipos usados en las pruebas hidrostáticas

En una prueba hidrostática se requiere contar con una bomba que inyecte agua y eleve la presión. Las bombas usadas son bombas de desplazamiento positivo, estas deben elevar la presión mínima a 2 veces la presión de trabajo del elemento ensayado.

Cuando los equipos de pruebas hidrostáticas requieren alcanzar presiones superiores a los 10.000 psi se usan dos bombas, una bomba tiene un alto caudal y baja presión permitiendo llenar el elemento de agua hasta su borde. La otra bomba tiene una elevada presión en su descarga y un bajo caudal, permitiendo alcanzar la máxima presión deseada.

Bombas de desplazamiento positivo

Son bombas usadas para modificar la ubicación de un fluido, por ejemplo, sacar el fluido desde un pozo profundo. El fluido desplazado incrementa su presión, las paredes ejercen una presión sobre el fluido con el movimiento del embolo.

Principio del desplazamiento positivo

En el interior de la carcasa, el émbolo se traslada con movimientos uniformes al fluido, velocidad (V), hay fluido a presión (P).

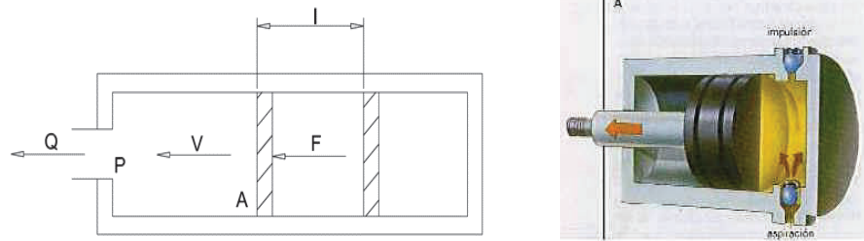


Figura 1.1. Cilindro de una bomba de desplazamiento positivo
(Zubicaray, 2.004)

En la figura 1.1. se ilustra gráficamente el comportamiento de una bomba de desplazamiento positivo. El movimiento del émbolo se debe a la fuerza que ejerce F_N ; la cantidad de fluido que se traslada por el orificio es proporcional a la distancia que recorre l . El volumen que desplaza el émbolo es Al , donde A es el área transversal del émbolo. Como el fluido es incompresible, el fluido que saldrá por el orificio también es Al .

Clasificación de las bombas de desplazamiento positivo

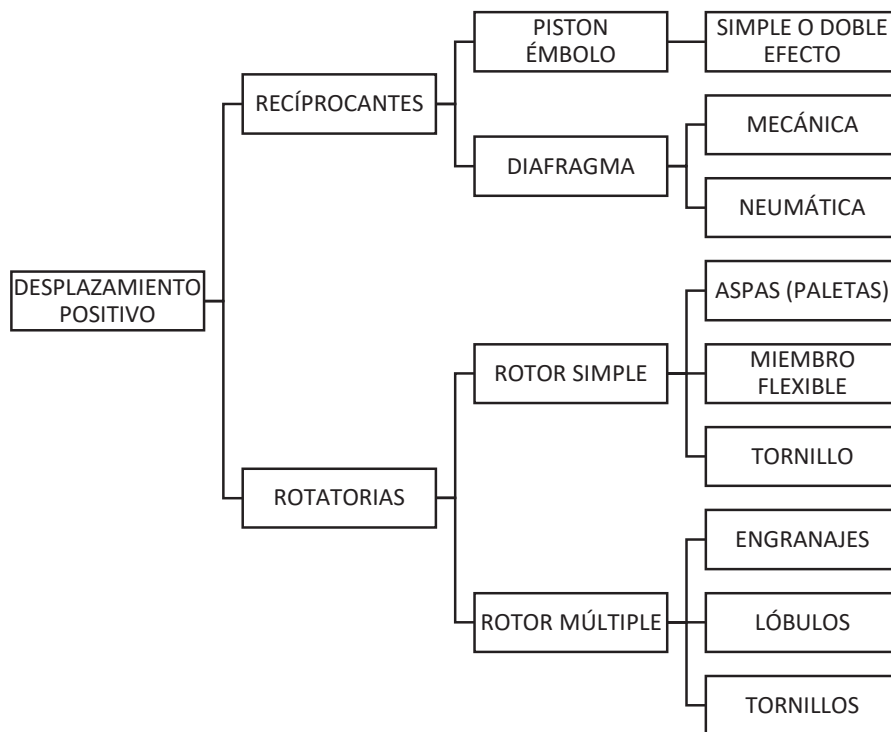


Figura 1.2. Clasificación de las bombas de desplazamiento positivo
(Fuente: Mott, 1.996)

Bomba recíprocante de pistón

Son bombas que cuentan en su interior con uno o varios pistones o émbolos y tienen un movimiento alternado de vaivén. El movimiento de vaivén se produce por manivela, cigüeñal y por una biela.

En la figura 1.3. se puede visualizar una representación gráfica de una bomba recíprocante. El ingreso y la descarga de fluido son controladas por válvulas de retención.

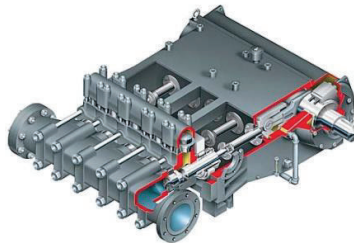


Figura 1.3. Bomba de desplazamiento positivo
(Fuente: Mott, 1.996)

Bomba recíprocante de diafragma

La bomba recíprocante de diafragma es un tipo de bomba de desplazamiento positivo, el aumento de presión se lo realiza por el empuje de paredes elásticas o membranas en su interior. De acuerdo a su accionamiento se clasifican en mecánico y neumático.

Mecánico

En la figura 1.4. se puede visualizar la representación gráfica de una bomba recíprocante de diafragma mecánico. La diferencia que existe entre las bombas mecánicas con las bombas de pistón es en la cámara de compresión de volumen variable, el cual se obtiene por el cambio de forma del diafragma, más no del movimiento del pistón.

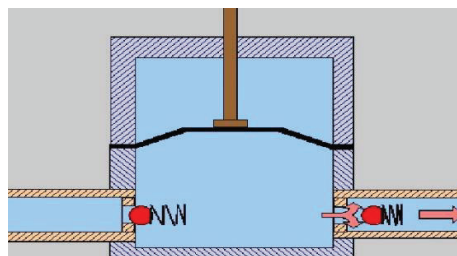


Figura 1.4. Bomba recíprocante de diafragma mecánico
(Fuente: Mott, 1.996)

Neumático

En la figura 1.5. se puede visualizar la representación gráfica de una bomba recíprocante de diafragma neumático. El tipo de bombas neumáticas regularmente tienen dos diafragmas opuestos, los cuales interactúan con una válvula neumática de dos posiciones. Si se ubica la válvula neumática en cierta posición esta permite el paso de aire comprimido al deformar el diafragma y purifica el aire del otro diafragma; si cambiamos de posición cambiara de sentido la disposición del aire.

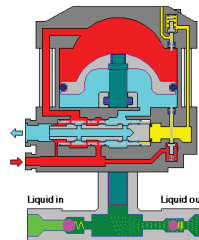


Figura 1.5. Bomba recíprocante de diafragma neumática
(Fuente: CD Haskel, 2.011)

Bombas rotatorias de rotor simple y rotor múltiple

La bomba rotatoria es un tipo de bomba de desplazamiento positivo, la cual impulsan el fluido con aspas o paletas, pistones, levas, segmentos, tornillos, lóbulos.

Aspas o paletas

En la figura 1.6. se ilustra una bomba de aspas deslizantes. Estas bombas usan paletas que ejercen presión contra el armazón por fuerza centrífuga al momento que el rotor gira. El fluido comprimido entre las dos paletas es conducido y ejerce fuerza hacia la descarga que emite la bomba.



Figura 1.6. Bomba de aspas deslizantes
(Fuente: Zubicaray, 2.004)

Miembro flexible

En la figura 1.7. se ilustra una bomba de miembros flexibles. Las bombas tipo miembro flexible, poseen un segmento rotatorio, el cual no tiene contacto alguno con el fluido. Es usado para evitar fugas y solo se usa para caudales muy pequeños. El punto débil de esta bomba se encuentra en el tubo flexible.



Figura 1.7. Bomba de tubo flexible
(Fuente: Zubicaray, 2.004)

Tornillo

Las bombas de tornillo poseen entre uno a tres tornillos enroscados a conveniencia, los cuales ruedan en una caja fija. En la figura 1.8. se ilustra una bomba tipo tornillo.

Las bombas de un tornillo poseen el rotor en forma espiralada, dicho rotor gira de forma excéntrica dentro de un estator de hélice cubierta o interna. Generalmente la hélice se compone de hule de consistencia blanda o dura, la cual dependerá de la densidad de líquido que se utilice, mientras que el rotor está conformado por metal.

En cuanto a bombas de dos tornillos, estas poseen un engrane loco, mientras que las de tres tornillos tienen dos engranes locos. El paso de líquido es establecido entre las roscas de los tornillos y a lo extenso del eje. Si utilizamos tornillos con roscas opuestas evitaremos la contra tracción axial en la bomba.

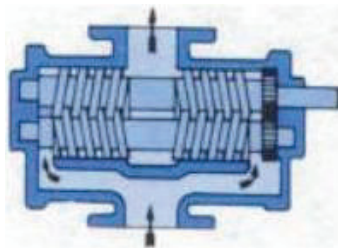


Figura 1.8. Bomba de tornillo
(Fuente: Zubicaray, 2.004)

Lóbulos

Los lóbulos son bombas que se asemejan a las bombas de tipo engranes en la figura 1.9. se ilustra una bomba de lóbulos debido a su mecanismo de acción. Los lóbulos tienen dos o más rotores que los podemos encontrar seccionados en dos o más lóbulos en cada rotor. Para que exista rotación positiva por engranes externos los rotores son sincronizados. El flujo lobular no será igual de constante como el del tipo engrane ya que el líquido es descargado en menor cantidad si utilizamos la bomba de engranes. Puede existir combinaciones de bombas de engranes y lóbulos.

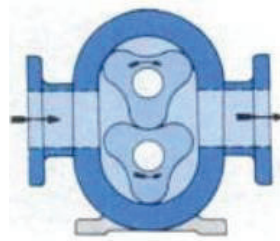


Figura 1.9. Bomba de lóbulos
(Fuente: Zubicaray, 2.004)

Engranes

Existen dos tipos: Bombas de engranes externos e internos.

Engranes externos

Es la bomba rotatoria más simple, formada por dos engranajes que giran en sentido opuesto. Mientras los dientes de los engranajes se apartan en el sitio de succión de la bomba, el contenido líquido ocupa el espacio entre ellos, dicho líquido se transporta en sentido circular hacia afuera y es extraído cuando nuevamente se engranan los dientes.

Los engranes se pueden presentar con dientes simples, dientes dobles o dientes de involuta. En la figura 1.10. se ilustra una bomba de engranes externos.

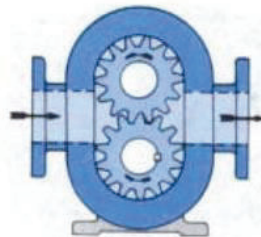


Figura 1.10. Bomba de engranes externos
(Fuente: Zubicaray, 2.004)

Engranés internos

Los engranes internos poseen un rotor con dientes que están internamente cortados, los cuales encajan en un engranaje loco, que esta externamente cortado. En la figura 1.11. se ilustra una bomba de engrane interno.

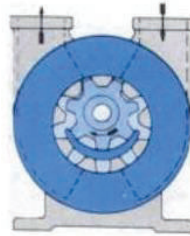


Figura 1.11. Bomba de engranes internos
(Fuente: Zubicaray, 2.004)

1.3. Bomba neumática de pistón

Una bomba neumática de pistón es un equipo liviano que usa la energía neumática para elevar la presión de un gas o líquido. Su principal fuente de energía es el aire comprimido para el accionamiento de sus pistones.

Funcionamiento bomba neumática de pistón

Una bomba neumática de pistón está formada por dos pistones de distinto diámetro. Un pistón tiene contacto con el fluido, su diámetro es menor que el pistón que tiene contacto con el aire comprimido. La característica principal de los dos pistones es contar con una baja resistencia en la superficie de desplazamiento, con el propósito de moverse fácilmente. En la figura 1.12. se detallan las partes de una bomba neumática de la marca Haskel.

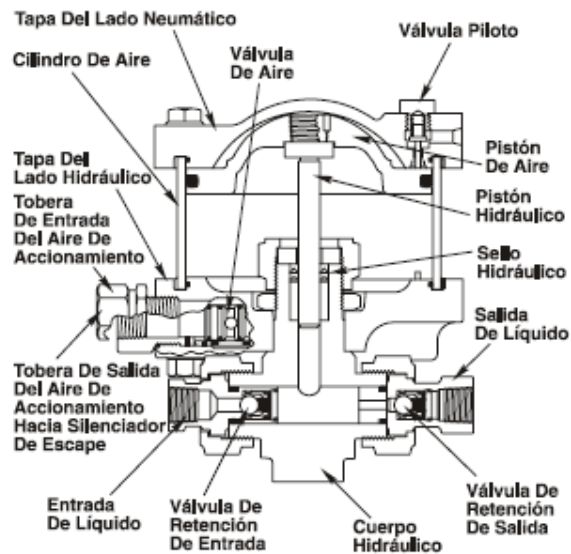


Figura 1.12. Partes de una Bomba Haskel
(Fuente: Haskel, 2.015)

Cada pistón trabaja sobre un cilindro, el pistón de mayor diámetro trabaja en el cilindro de aire y el pistón de menor diámetro trabaja en el cilindro hidráulico. El cilindro hidráulico es donde el pistón tiene contacto con el fluido. La acción de succión y descarga que realizan los pistones se realiza por medio de una válvula piloto que está instalada en la parte superior de la bomba.

Características

- Capacidad para mantener su equilibrio ("stall") a una presión determinada, esta acción no consume energía ni genera calor.
- Está descartada la generación de calor, llama o chispas.
- Cuenta con un infinito rango de presiones y de caudales a la salida.
- Su capacidad máxima de presión es de 100,000 psi (7.000 bar).
- Cuenta con accesorios para su control automático de fácil instalación.
- Capacidad de arranque/detenerse continuamente sin limitación ni efectos adversos.
- La sección neumática no necesita un engrasador externo en la línea, lo que redundaría en ahorro de producción y evita la contaminación por vapor de aceite en su entorno.
- Fiable, fácil mantenimiento, compacta y robusta.
- Kits de reducción de ruido para modelos seleccionados.

- La corredera no equilibrada de ciclación proporciona una respuesta inmediata ante un cambio de presión de salida.
- Se puede usar gas proveniente de botellas, de evaporadores de gas líquido o gas natural como alternativa al aire de pilotaje.

Relación de bomba “ratio”

El diámetro del pistón hidráulico determina la relación ("ratio") de la bomba, su principal función es succionar el fluido hacia el cuerpo hidráulico a través de la válvula check de entrada y descarga a través de la válvula check de salida a una mayor presión.

Para entender esto lo expresaremos en una fórmula matemática.

$$r = \frac{P_o}{P_a} \quad (\text{EC. 1.1})$$

Donde:

r: Relación de área

Po: Presión de descarga de la bomba (psi)

Pa: Presión de aire comprimido (psi)

Potencia neumática

La potencia neumática consumida por una bomba es igual al producto de la fuerza por la velocidad. El pistón neumático se encuentra dentro de un recipiente cilíndrico.

La fuerza ejercida por el pistón neumático es igual al producto de la presión introducida y la superficie útil del pistón. El volumen que se crea por unidad de tiempo, al recorrer el pistón, es ocupado por el caudal.

La fórmula que ayudará a encontrar la potencia neumática es:

$$N = \frac{P \cdot Q}{1714} \quad (\text{EC. 1.2})$$

Donde:

- P: Presión (psi) o (atm)
Q: Caudal del fluido (GPM)
N: Potencia neumática (HP)

1.4. Tubería

Una tubería es un conducto que permite transportar un fluido o gas, suelen construirse con distintos materiales. Se debe considerar que las tuberías también son usadas para trasportar materiales no propiamente fluidos, estos pueden ser alambres, cereales, pet, maíz, mezclas de hormigón, etc.

Las tuberías tienen distintas denominaciones de acuerdo al fluido que se está transportando. Cuando se trasporta petróleo se utiliza la denominación específica de oleoducto, si se transporta gas utiliza la denominación específica de gasoducto.

Las tuberías están fabricadas con distintos espesores y diámetros de acuerdo al tipo de fluido, caudal, velocidad y presión que se esté trabajando. El espesor de una tubería está relacionado directamente a la presión que trabaje la tubería. La velocidad del fluido y el caudal están relacionadas directamente al diámetro de la tubería.

Espesor de tubería

El espesor de una tubería sometida a presiones internas está en función de los esfuerzos permisibles del material de la tubería a la temperatura de operación, presión de diseño, diámetro externo de la tubería, factor de calidad en junta longitudinal, factor de corrección con base en el tipo de material como de temperatura y la tolerancia a la corrosión. (MOTT, 2.006)

Usando la fórmula de tubos rectos bajo presiones internas de la norma ASME se tiene (ASME B31.3, 2.006):

$$e_{min} = \frac{D_{ext.} - 2 \cdot c_o}{2} \left(1 - e^{-\frac{p}{S}} \right) \quad (\text{EC. 1.3})$$

Donde:

D_{ext} : Diámetro externo (in)

C_o : es 0, cuando no se tiene especificaciones de mecanizado, erosión o corrosión

ρ : Presión de diseño (psi)

S: Esfuerzo permisible en tensión (psi o Mpa)

2. METODOLOGÍA

La presente sección se describen todos los pasos que se siguieron para poder llegar a determinar las especificaciones técnicas de diseño. En la figura 2.1. se desarrolla un flujograma de la metodología.

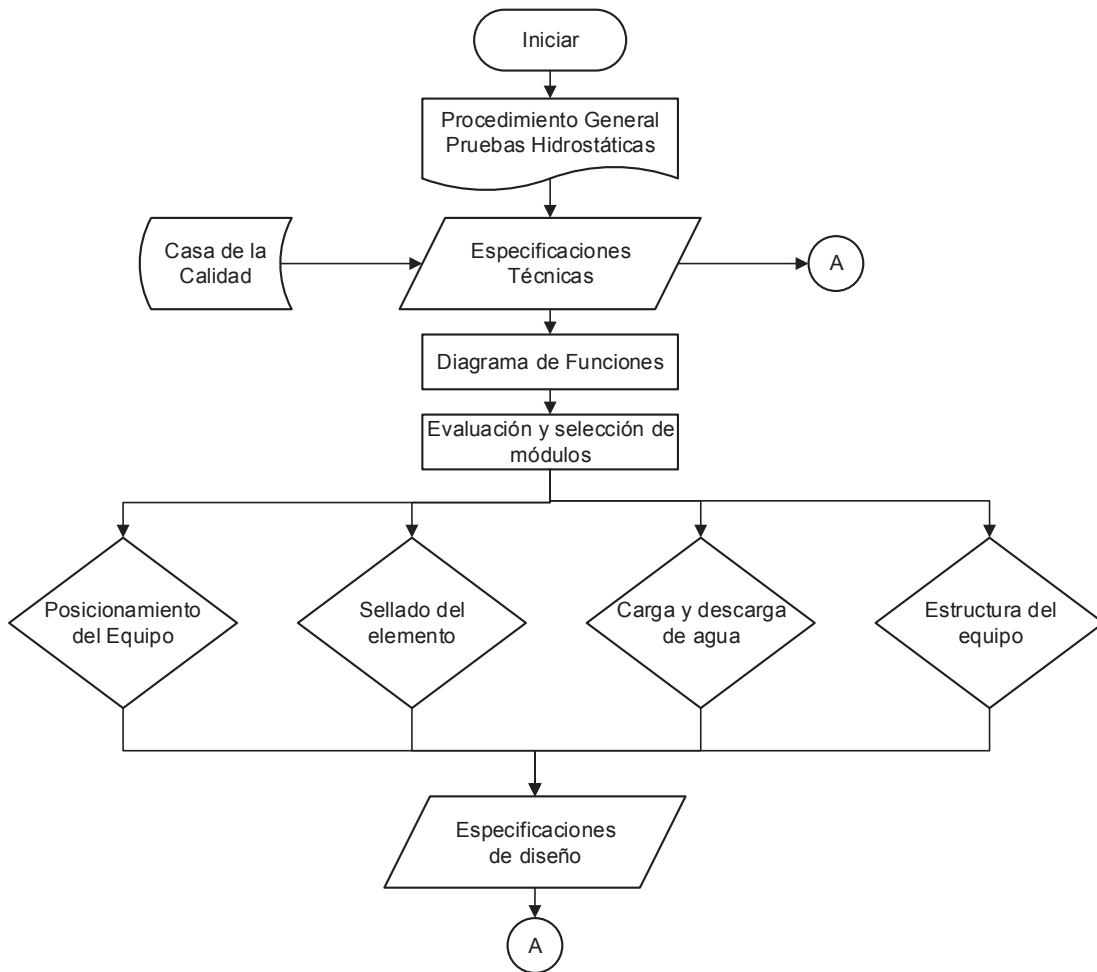


Figura 2.1. Diagrama de la metodología usada
(Fuente: Propia, 2.016)

El símbolo circulas con referencia con la letra A es un conector al siguiente diagrama, se requiere la información para poder realizar el análisis de selección de los equipos.

La presente sección se describen todos los pasos que se siguieron para determinar los elementos necesarios del banco de pruebas hidrostáticas y realizando un análisis en cada caso. En la figura 2.2., se desarrolla un flujoograma del análisis de los elementos internos.

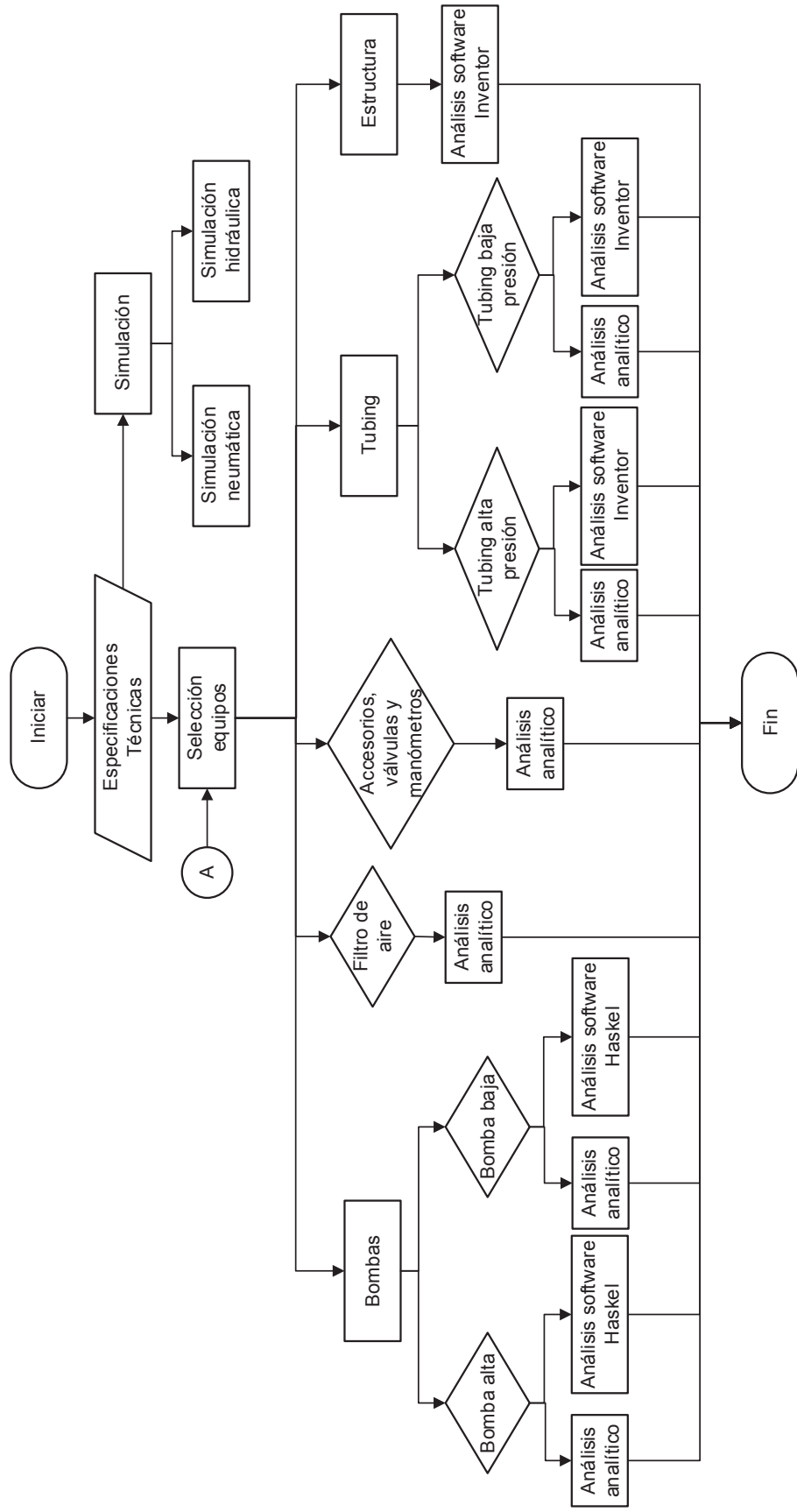


Figura 2.2. Flujoograma del análisis de los elementos internos
(Fuente: Propia, 2.016)

2.1. Especificaciones del equipo

Para determinar las especificaciones de diseño del banco de pruebas hidrostáticas una herramienta implementada en el proyecto es la casa de la calidad. Con la ayuda de la casa de la calidad se puede determinar los criterios del usuario y combinarlos con el criterio del ingeniero y obtener los datos relevantes a considerarse.

Casa de calidad

La casa de la calidad es una herramienta utilizada para entender las necesidades del usuario, con el propósito de poderlas convertir en un servicio o equipo que cumpla con las necesidades que se requieran. La casa de la calidad son matrices interrelacionadas, que empiezan determinando las necesidades del usuario, posteriormente van paso a paso hasta llegar a cumplir con las características del control del proceso.

La casa de la calidad fue creada en Kobe, Japón, a inicios de los 70's, esta fue utilizada por TOYOTA en la mitad de la época mencionada. La casa de la calidad permite dar más información a la matriz general, incluyendo datos técnicos de la competencia, encuestas recolectadas por los clientes y los factores de importancia.

Criterio del usuario

Los requerimientos y necesidades del usuario, se han podido obtener de 15 empresas en Quito y Guayaquil. Empresas como Induacero, Escorpmech, Diafigo, Ecuatepi, Fundiec, Acindec, Minga, Extintec, Danielcom, Inkatonsa, Veripet con la finalidad de garantizar una buena calidad en sus productos, realizan pruebas de ensayos no destructivas a los tanques de GLP, tanques de gasolina, soldadura de tubería, válvulas, hidrantes.

Se obtuvo los requerimientos de las empresas de Quito y Guayaquil para transformarlas en un equipo de pruebas hidrostáticas, entre los más importantes están:

- Ser económico.
- Permita trabajar con distintos rangos de presión a la descarga.
- Ser compacto.
- Facilidad de control remoto.

- Liviano y fácil de transportar.
- Resistente al medio ambiente e inoxidable.
- Llenado rápido.
- Repuestos accesibles y económicos en el mercado local.
- Los equipos principales requieren poca lubricación para su operación.
- Silencioso.
- Corto tiempo de ensayo entre uno y otro sea el menor posible.

Criterio de los ingenieros

Los criterios del usuario se deben expresar en datos técnicos, para lo cual se detallan las ideas anteriores en información para su análisis.

- | | |
|--|----------------------|
| • Costo | usd |
| • Capacidad | psi |
| • Tamaño | m |
| • Control remoto (grado de automatización) | semiautomático |
| • Peso | kg |
| • Material | Acero inoxidable |
| • Velocidad de llenado | cm ³ /min |
| • Disponibilidad de repuestos | |
| • Lubricación | seco |
| • Nivel de ruido | dB |
| • Tiempo de trabajo | min |

Resultados y conclusiones

El desarrollo de la casa de la calidad se encuentra elaborado en el anexo I. Siguiendo los pasos del manual de diseño concurrente de Carles Riba se elaboró la matriz de la casa de la calidad.

En la columna de las necesidades del usuario se procedió a calificar tomando en consideración la diferencia entre un equipo manual y el equipo de Danielcom. El equipo manual lo poseen la mayoría de empresas que realizan pruebas hidrostáticas y el equipo de Danielcom realiza sus ensayos con bombas neumáticas.

Algunas industrias cuentan con equipos manuales o equipos automáticos. Los equipos automáticos son costosos y cumplen con funciones determinadas con un rango de operación limitado, mientras que los equipos manuales son económicos.

Los resultados obtenidos en la casa de la calidad, anexo I, muestra que se debe concentrar los esfuerzos en cuatro puntos: debe ser liviano, contar con un amplio rango de presión, debe ser compacto para su fácil transporte y que no se oxide, dichos puntos ubicados en orden de importancia concentran el 52,98 % de las mejoras. Adicional se debe considerar los costos, materiales y otras especificaciones.

Al revisar los compromisos técnicos se ha observado que no se tiene una limitación en las especificaciones, por esta razón se tiene un grado de libertad. Cabe resaltar que uno de sus compromisos es:

El equipo debe ser compacto, entre más largo, alto y ancho será dificultoso su transportación y el peso del equipo incrementará, al igual que su tiempo de transporte.

Adicional otro compromiso que tiene relación con la solución de los primeros, es contar con ruedas para facilitar su transporte y reducir el tiempo en su traslado de un sitio a otro.

Especificaciones técnicas del equipo

Una de las definiciones que describe el manual de diseño concurrente de Carles Riba, está en las especificaciones técnicas del producto, definiendo la expresión conjunta de prestaciones, características o determinaciones, las cuales guían el desarrollo y el diseño. Se explica por medio de la especificación que compone la guía y referencia el diseño y desarrollo. El método del desarrollo de la función de calidad permite tener una mayor eficacia a definir las áreas específicas del producto con el desarrollo previo de la casa de la calidad.

Con la casa de la calidad se pudo obtener las especificaciones técnicas del producto a ser desarrollado, estas serán tabuladas de acuerdo al manual de diseño concurrente de Carles Riba.

Especificaciones consideradas del equipo

En el sector industrial las empresas cuentan con equipos y herramientas básicas para su operación, un equipo muy importante para el accionamiento del banco de prueba hidrostática es la unidad de aire comprimido. La característica de la unidad de aire comprimido debe tener mínimo una presión de 100 psi y un caudal de aire comprimido 12 scfm.

Uno de los requerimientos del cliente es contar con un equipo que cuente con un amplio rango de operación en presión y caudal. La presión de operación máxima del banco de pruebas hidrostáticas es 30.000 psi, de acuerdo a las curvas características de una bomba se tiene que a mayor presión el caudal disminuye y al requerir mayor caudal se tendrá menor presión.

La bomba al contar con una alta presión el caudal disminuye y se perderá demasiado tiempo en el llenado del elemento a ensayar, como una solución se considerará una segunda bomba que tenga un alto caudal y una baja presión. Se considera una presión de 2.000 PSI en la segunda bomba para cubrir un rango de aplicaciones para tanques de GLP, soldadura en tubería, válvulas, etc.

El suministro de agua para el ensayo de una prueba hidrostática es obtenido de un tanque principal. El suministro de agua estará dentro de un tanque de almacenamiento a una presión atmosférica de 14,7 psi (1 atm), el agua puede ser tratada o agua pura sus condiciones dependerán el tipo de ensayo que se vaya a realizar.

Resumen de las especificaciones técnicas

Presión máxima de trabajo (Bomba 1):	30.000 psi
Presión máxima de trabajo (Bomba 2):	2.000 psi
Presión de aire:	120 psi
Caudal de aire:	12 scfm
Presión de agua:	14,7 psi

Análisis funcional del equipo

Como breve antecedente al método del análisis funcional, cabe mencionar que este fue propuesto inicialmente por Lawrence D. Miles con el objetivo primordial de reducir costos, identificando las funciones de un sistema y evaluando las prestaciones a conseguir.

Con la ayuda del método del análisis funcional se tendrá un listado de funciones principales del equipo, las cuales serán la razón por la cual el usuario (cliente) verá la necesidad de adquirir este producto, en el presente caso es un banco de pruebas hidrostáticas con un rango de operación de 14,7 – 30.000 psi. Las funciones secundarias permitirán que las funciones principales se cumplan adecuadamente.

Con las funciones secundarias del equipo se podrá plantear posibles soluciones viables que permita una adecuada operación en el equipo. Las funciones secundarias han sido desglosadas en módulos, con el objeto de agruparlas.

El desglose de los módulos se desarrolló con los diagramas de funciones de la figura 2.4., en los que se detallará cada función encontrada, pueden tener más de 2 entradas o salidas: señal, energía, materia.

El diagrama de flujo se puede expresar por niveles, conocido como un diagrama de flujo de datos.

En el Nivel 0 de la figura 2.3., se tiene el diagrama de contexto, donde se especifica todas las interacciones que realiza un sistema.

En el Nivel 1 de la figura 2.4., se describe el proceso de funcionamiento del proceso principal. En este nivel los procesos no suelen interrelacionarse directamente, ya que entre ellos existe una conexión externa. Estos niveles pueden seguir consecutivamente hasta cuando sean necesarios.

Desarrollo de los diagramas funcionales

NIVEL 0:

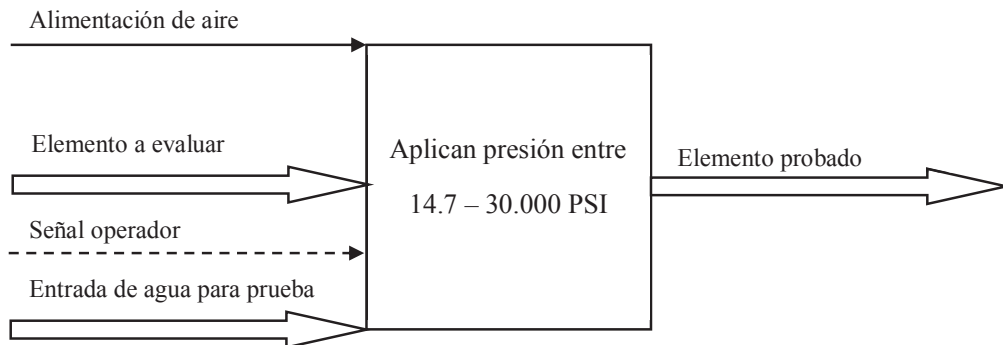


Figura 2.3. Nivel 0. Modularidad del equipo de pruebas hidrostáticas
(Fuente: Propia, 2.016)

NIVEL 1:

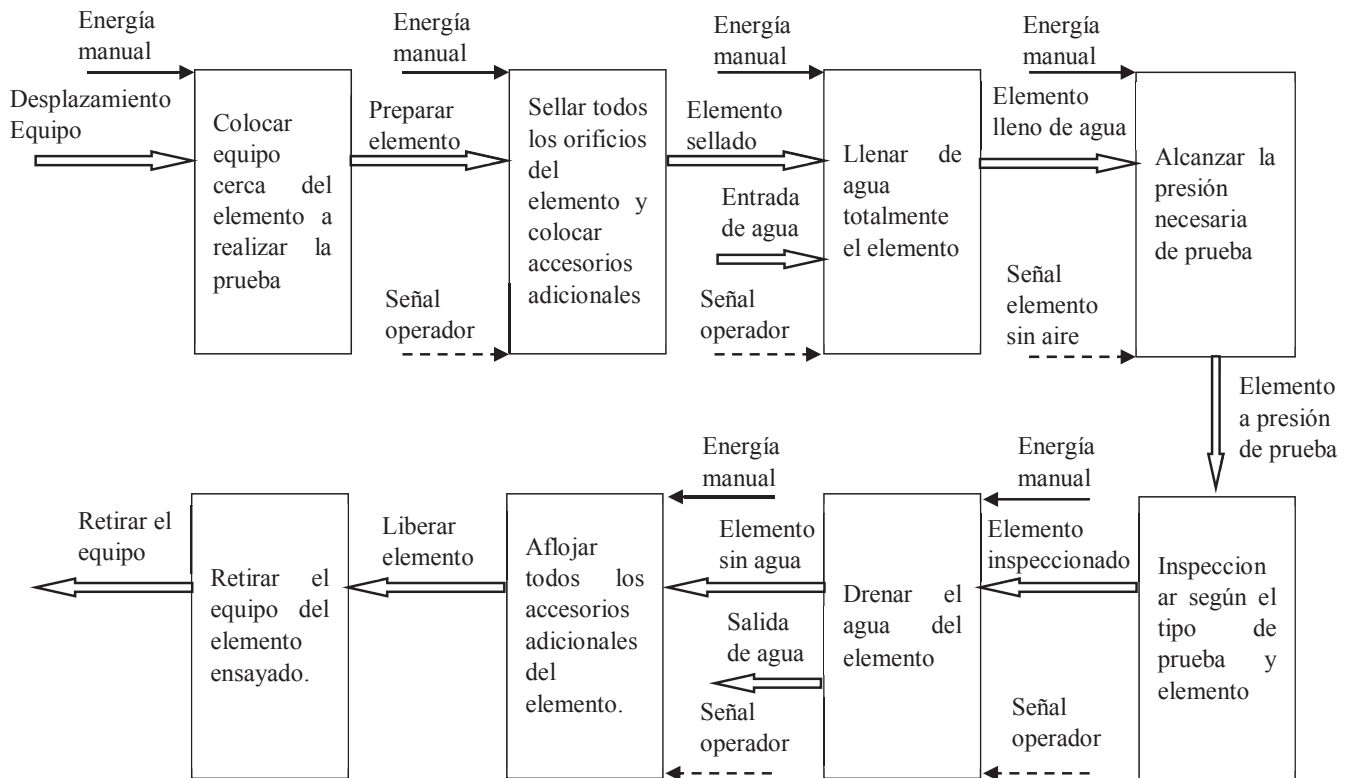


Figura 2.4. Nivel 1. Funciones del equipo de pruebas hidrostáticas
(Fuente: Propia, 2.016)

Análisis de los diagramas funcionales

En la figura 2.3., en el nivel 0 se presenta la estructura funcional de un banco de pruebas hidrostáticas para realizar ensayos a diferentes presiones, los factores involucrados para desempeñar su funcionalidad son la materia, energía y señales que el equipo necesita en su operación. En este caso se tiene un elemento a ser probado, agua en un tanque reservorio y una línea externa de agua con la finalidad de poder realizar el ensayo. Como requerimiento del usuario el banco de pruebas hidrostáticas debe ser portátil, maniobrable y sus controles fáciles de operar.

En la figura 2.4., en el nivel 1, se realiza una segregación de todas las funciones que se requiere para la obtención del producto final. De acuerdo al procedimiento general para ensayos de pruebas hidrostáticas descrito al inicio de la sección se ha desarrollado cada función; tomando en consideración cada función se ha descrito flujos.

Definición de módulos

El uso de los módulos es una herramienta que ayuda a deducir fácilmente el proceso a realizar, y así dar solución al mismo. Para realizar este procedimiento se dividió en 4 módulos o funciones principales.

Estos módulos o funciones son:

- **Módulo 1:** Posicionamiento del equipo
- **Módulo 2:** Sellado del elemento
- **Módulo 3:** Carga y descarga de agua
- **Módulo 4:** Estructura del equipo

MODULO 4

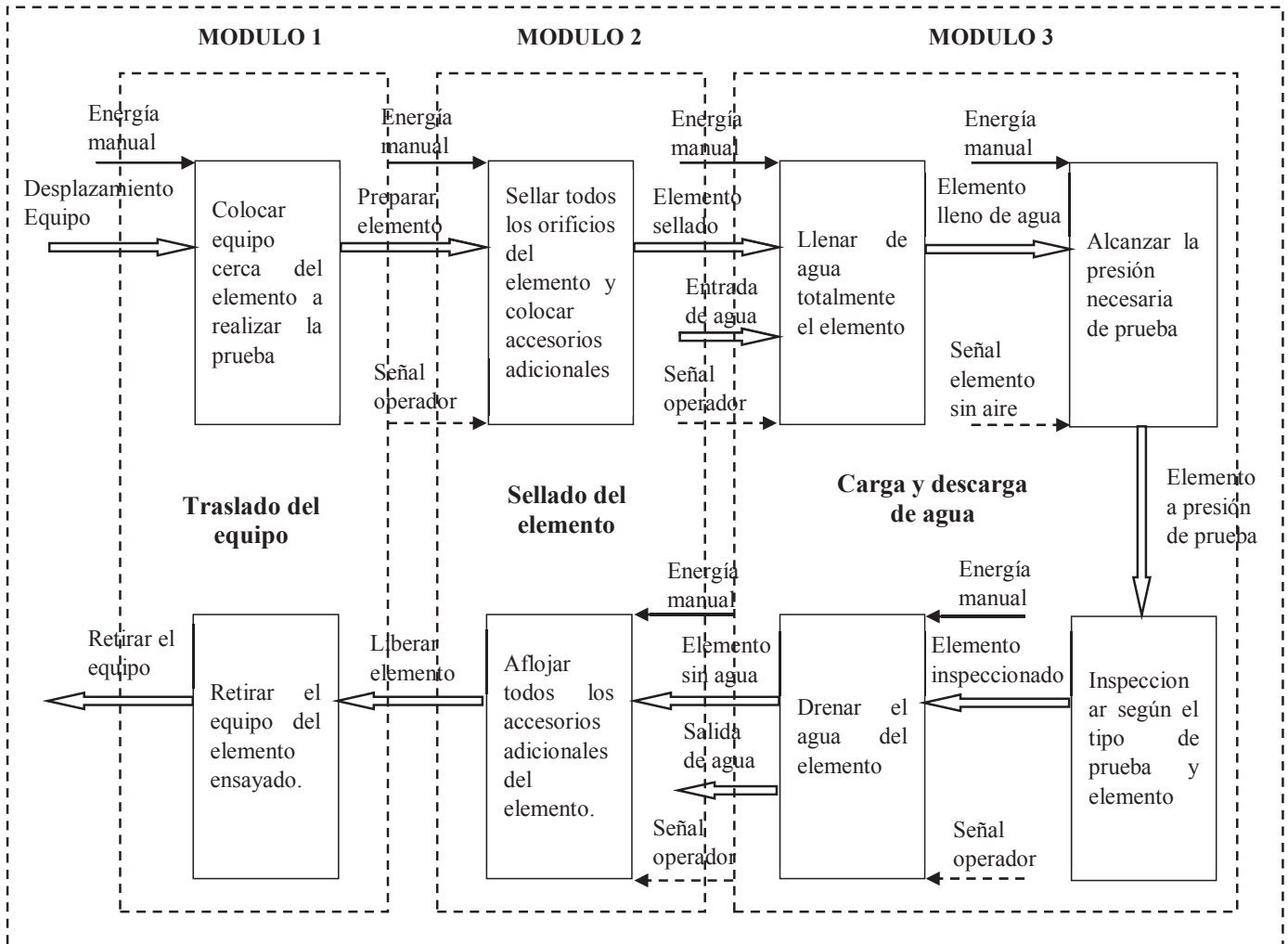


Figura 2.5. División modular de la fabricación del equipo de pruebas hidrostáticas
(Fuente: Propia, 2.016)

Alternativas de diseño para cada módulo

Partiendo de las funciones de cada módulo descritas en la figura 2.5., se busca encontrar una mejor alternativa con la finalidad de brindar la mejor solución a las mismas.

Módulo 1: Traslado del equipo

El presente modulo tiene como propósito obtener un método adecuado para el traslado conveniente que satisfaga las necesidades del usuario. Las funciones que cumplen este módulo son:

- Levantar el equipo de pruebas y colocarlo en el elemento a ensayar.
- Retirar el equipo después del ensayo realizado.
- Colocar el equipo a una distancia adecuada para realizar el ensayo.
- Asegurar que el equipo se encuentre en la posición segura para realizar la prueba.

Las dos primeras funciones y las dos siguientes son semejantes entre sí por lo que al obtener las soluciones de las dos primeras se tendrá las soluciones de las dos siguientes.

Levantar el equipo de prueba y colocarlo en el elemento a ensayar

La forma más fácil y rápida para realizar este tipo de trabajo es manipulándolo manualmente; en el presente caso se tienen dos alternativas de solución.

Manualmente

Estos equipos no cuentan con ningún tipo de sistema de rodamiento, para poderlos desplazar con facilidad, lo más común es tener un cubo formado con perfiles. El desplazamiento de estos equipos se lo debe realizar mínimo con dos personas.

Ruedas

Esta alternativa brinda la facilidad de mantener el equipo elevado y reducir el esfuerzo físico, tiene maniobrabilidad para poderlo colocar en un sitio deseado de trabajo.

Tecla manual

Esta alternativa permite levantar el equipo y colocarlo en el sitio donde se encuentra el elemento a ser ensayado. En sitios elevados el tecla ayuda a elevar el equipo sin ningún problema y con el menor esfuerzo físico, pero se requiere mayor tiempo para preparar el equipo a elevar.

Colocar el equipo a una distancia adecuada para realizar el ensayo

El equipo debe colocarse a una distancia adecuada y segura al momento de realizar la prueba con la finalidad que el mismo se mantenga estable y el elemento ensayado sea visible al operador. Para este problema se presentan las siguientes soluciones:

Manualmente

Es la más usada, el equipo es trasladado de un sitio a otro hasta encontrar la posición idónea para realizar el ensayo.

Ruedas

El operador inclina el equipo sobre el eje de las ruedas y coloca el equipo a una distancia idónea para después buscar la posición correcta.

Tecle Manual

Sostendrá el equipo hasta determinar el sitio adecuado para realizar el ensayo al elemento.

Ventajas y desventajas del módulo 1

En la tabla 2.1., se describen las ventajas y desventajas del módulo 1.

Tabla 2.1. Ventajas y desventajas del módulo 1

	Actividad	Ventajas	Desventajas
Levantar el equipo de prueba y colocarlo en el elemento a ensayar	Manualmente	No tiene contacto con el piso al momento de trasladarlo de un sitio a otro	Requiere de más operadores para su traslado
		Desplazamiento del equipo es rápido y se lo coloca en un sitio adecuado	Afectaciones en la salud física del operador
	Ruedas	Absorber el peso del equipo directamente disminuyendo el esfuerzo físico	Requieren mantenimiento
		Disminuir el tiempo para colocarlo en un sitio deseado	Superficie de desplazamiento disminuida
	Tecle manual	Esfuerzo físico reducido	Maniobrar con cautela pesos elevados

Tabla 2.1. Ventajas y desventajas del módulo 1 (Continuación)

	Actividad	Ventajas	Desventajas
		Alcanzar grandes alturas	Requiere mayor tiempo para preparar el equipo a elevar
Colocar el equipo a una distancia adecuada para realizar el ensayo	Manualmente	Maniobrar con facilidad y desplazar rápidamente el equipo	Requiere esfuerzo físico
		En sitios regulares el equipo está estable en su superficie	En sitios irregulares el equipo no es estable en su superficie
	Ruedas	Requiere un operador para colocar el equipo en sitio	Desplazamiento en sentido de las ruedas
		Requiere un operador para colocar el equipo en sitio	Desplazamiento en sentido de las ruedas
	Teclé manual	Requiere un operador para colocar el equipo en sitio	Retracción en su desplazamiento
		Colocar el equipo en sitios elevados	Precaución con equipos suspendidos

(Fuente: Propia, 2.016)

Las alternativas para el módulo 1 son:

- Solución A: El traslado y la ubicación a una distancia segura se lo realiza de punto a punto manualmente.
- Solución B: El traslado y la ubicación a una distancia segura se lo realiza de punto a punto con la ayuda de ruedas en el equipo.
- Solución C: El traslado y la ubicación a una distancia segura se lo realiza de punto a punto con la ayuda de un teclé manual.

Evaluación y selección de módulos

Para determinar la alternativa más apropiada, se consideró el método ordinal corregido de criterios ponderados, obtenido del manual de diseño concurrente de Carles Riba.

Los criterios de valoración más importantes son:

- Desplazar el equipo al sitio del ensayo, permitiendo aprovechar el tiempo de ensayo a ensayo.
- Menor número de operadores, permitirá optimizar el trabajo de los demás operadores.
- Complejidad en la operación, esto influye en el tiempo involucrado por cada operador para realizar el ensayo.

- Costo, el más económico y cumple con las necesidades del proyecto.

La evaluación de los criterios y las alternativas se desarrollarán a continuación.

Tabla 2.2. Evaluación de cada criterio

CRITERIO	<i>Desplazar equipo en corto tiempo</i>	<i>Menor número de operadores</i>	<i>Complejidad en la operación</i>	<i>Precio</i>	$\sum + 1$	ponderación
<i>Desplazar equipo en corto tiempo</i>		0,5	1	0	2,5	0,25
<i>Menor número de operadores</i>	0,5		1	0,5	3	0,30
<i>Complejidad en la operación</i>	0	0		0,5	1,5	0,15
<i>Precio</i>	1	0,5	0,5		3	0,30
				Suma	10	1

(Fuente: Propia, 2.016)

Precio = Menor número de operadores > Desplazar equipo en corto tiempo >
Complejidad en la manipulación

A continuación, se evalúa cada una de las soluciones según los criterios:

Tabla 2.3. Evaluación de las soluciones al desplazar equipo en corto tiempo

	<i>Solución A</i>	<i>Solución B</i>	<i>Solución C</i>	$\sum + 1$	ponderación
<i>Solución A</i>		0,5	1	2,5	0,42
<i>Solución B</i>	0,5		1	2,5	0,42
<i>Solución C</i>	0	0		1	0,17
			Suma	6	1,00

(Fuente: Propia, 2.016)

Solución A = Solución B > Solución C

Tabla 2.4. Evaluación de las soluciones al menor número de operadores

	<i>Solución A</i>	<i>Solución B</i>	<i>Solución C</i>	$\sum + 1$	ponderación
<i>Solución A</i>		0	0	1	0,17
<i>Solución B</i>	1		0,5	2,5	0,42
<i>Solución C</i>	1	0,5		2,5	0,42
			Suma	6	1,00

(Fuente: Propia, 2.016)

Solución B = Solución C > Solución A

Tabla 2.5. Evaluación de las soluciones a la complejidad en la operación

	<i>Solución A</i>	<i>Solución B</i>	<i>Solución C</i>	$\Sigma + 1$	ponderación
<i>Solución A</i>		0,5	0	1,5	0,25
<i>Solución B</i>	0,5		0	1,5	0,25
<i>Solución C</i>	1	1		3	0,50
			Suma	6	1,00

(Fuente: Propia, 2.016)

Solución C > Solución A = Solución B

Tabla 2.6. Evaluación de las soluciones al precio

	<i>Solución A</i>	<i>Solución B</i>	<i>Solución C</i>	$\Sigma + 1$	ponderación
<i>Solución A</i>		0	0	1	0,17
<i>Solución B</i>	1		0,5	2,5	0,42
<i>Solución C</i>	1	0,5		2,5	0,42
			Suma	6	1,00

(Fuente: Propia, 2.016)

Solución B = Solución C > Solución A

Tabla 2.7. Conclusiones del Módulo 1

	<i>Desplazar equipo en corto tiempo</i>	<i>Menor número de operadores</i>	<i>Complejidad en la manipulación</i>	<i>Precio</i>	$\Sigma + 1$	Prioridad
<i>Solución A</i>	0,10	0,05	0,04	0,05	0,24	3,00
<i>Solución B</i>	0,10	0,13	0,04	0,13	0,39	1,00
<i>Solución C</i>	0,04	0,13	0,08	0,13	0,37	2,00

(Fuente: Propia, 2.016)

En conclusión, al análisis del módulo 1 de acuerdo a la tabla 2.7., el mejor criterio de evaluación es la solución B, usar ruedas.

Módulo 2: Sellado del elemento

Esta función describe la acción de conectar el elemento a ser ensayado al equipo para empezar a llenar de agua, o a su vez, para vaciar el agua una vez terminado el ensayo. La principal función de este módulo es:

- Acoplar el elemento a ser ensayado en corto tiempo.
- Desacoplar del elemento a ser ensayado en corto tiempo.

Como las funciones son de la misma naturaleza, pero con funciones contrarias, al resolver la primera función se puede satisfacer la segunda función.

Al realizar un análisis funcional de la figura 2.3., se puede observar que esta acción está limitada al accionamiento que se vaya a usar, este puede ser semiautomático o manual.

Los accionamientos empiezan con una señal del operador, cuando son semiautomáticas los equipos están limitados a la presión de trabajo mientras que los accionamientos manuales no están limitados a la presión, únicamente al tipo de equipo que se cuente.

Los diferentes tipos de accionamientos que se puede tener son:

- Accionamiento manual con acoples rápidos
- Accionamientos mecánicos
- Accionamientos hidráulicos

Accionamientos manuales con acoples rápidos

Es un dispositivo que ayuda a realizar una conexión rápida a un elemento a ser ensayado. Su diseño de trabajo está limitado a la presión de trabajo.

Accionamiento mecánico (Tornillo de potencia)

Este mecanismo cuenta con un tornillo de potencia que es usado como elemento de avance, mordaza, prensa, etc. En este tipo de aplicación, es usado como mordaza para ajustar las caras del elemento a ser ensayado y hacer sello, su limitación es el tamaño del elemento.

Accionamiento hidráulico

Su principal funcionamiento es usar la fuerza ejercida por un cilindro hidráulico sobre una placa con el propósito de realizar una presurización en el elemento a ser ensayado. Para controlar la fuerza ejercida por el cilindro hidráulico sobre la placa es necesario contar con un sensor o dispositivo que permita medir la presión en el lado del cierre del cilindro.

Ventaja y desventajas del módulo 2

En la tabla 2.8., se describen las ventajas y desventajas del módulo 2 para el sellado del elemento a ser ensayado.

Tabla 2.8. Ventajas y desventajas del módulo 2

	Ventajas	Desventajas
Accionamientos manuales con acoples rápidos	Cuentan con una válvula check en su interior para conservar la presión	No son económicos y requieren de un acople especial
	Fácil de transportar y operación	No requieren mantenimiento, es recomendable contar con un respaldo
Accionamiento mecánico (Tornillo de potencia)	Permite controlar el paso y la fuerza de presión	Eficiencia baja por rozamiento en el tornillo y mantenimientos periódicos
	Económico en su construcción	Estructura pesada y complicada de transportar
	Sencillo para elaborar su diseño y construcción	Requiere equipos adicionales para ejercer la presión
	El operador tiene el control directo de la presión ejercida sobre el elemento a trabajar	
Accionamiento hidráulico	Permite alcanzar fuerzas altas rápidamente	Requiere equipos adicionales para ejercer la presión
	Sistemas fáciles de encontrar en el mercado	Todos sus elementos deben ser adquiridos y son costosos
		Uso de aceite hidráulico
		Mantenimientos costoso

(Fuente: Propia, 2.016)

Evaluación y selección de accionamiento

Los criterios de valoración más importantes de los accionamientos son:

- Que el sellado del elemento se lo realice de manera rápida.
- Que el sellado sea seguro, la presión interna generada en el elemento no sea un determinante para que el elemento se libere de su acople.
- Facilidad en su transportación.
- Costo del equipo.
- Facilidad en su operación.

La evaluación de los criterios y las alternativas se desarrollarán a continuación.

Tabla 2.9. Evaluación de cada criterio

CRITERIO	Sellado rápido	Sellado seguro	Facilidad en transportación	Costo del equipo	Facilidad en su operación	$\Sigma + 1$	ponderación
Sellado rápido		0,5	0	1	0	2,5	0,17
Sellado seguro	0,5		1	0	0,5	3	0,20
Facilidad en transportación	1	0		0,5	0,5	3	0,20
Costo del equipo	0	1	0,5		0,5	3	0,20
Facilidad en su operación	1	0,5	0,5	0,5		3,5	0,23
					Suma	15	1

(Fuente: Propia, 2.016)

Facilidad en su operación > Sellado seguro = Facilidad en transportación = Costo del equipo
> Sellado rápido

A continuación, se evalúa cada una de las soluciones según los criterios:

Tabla 2.10. Evaluación de las soluciones respecto al sellado rápido

	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma + 1$	Ponderación
Solución A		1	1	3	0,50
Solución B	0		0,5	1,5	0,25
Solución C	0	0,5		1,5	0,25
			Suma	6	1,00

(Fuente: Propia, 2.016)

Solución A > Solución B = Solución C

Tabla 2.11. Evaluación de las soluciones respecto al sellado seguro

	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma + 1$	ponderación
Solución A		0	0	1	0,17
Solución B	1		0,5	2,5	0,42
Solución C	1	0,5		2,5	0,42
			Suma	6	1,00

(Fuente: Propia, 2.016)

Solución B = Solución C > Solución A

Tabla 2.12. Evaluación de las soluciones respecto a la facilidad en transportación

	<i>Solución A</i>	<i>Solución B</i>	<i>Solución C</i>	$\Sigma + 1$	ponderación
<i>Solución A</i>		1	1	3	0,50
<i>Solución B</i>	0		1	2	0,33
<i>Solución C</i>	0	0		1	0,17
			Suma	6	1,00

(Fuente: Propia, 2.016)

Solución A > Solución B > Solución C

Tabla 2.13. Evaluación de las soluciones respecto al costo del equipo

	<i>Solución A</i>	<i>Solución B</i>	<i>Solución C</i>	$\Sigma + 1$	ponderación
<i>Solución A</i>		0,5	0	1,5	0,25
<i>Solución B</i>	0,5		0,5	2	0,33
<i>Solución C</i>	1	0,5		2,5	0,42
			Suma	6	1,00

(Fuente: Propia, 2.016)

Solución C > Solución B > Solución A

Tabla 2.14. Evaluación de las soluciones respecto a la facilidad en su operación

	<i>Solución A</i>	<i>Solución B</i>	<i>Solución C</i>	$\Sigma + 1$	ponderación
<i>Solución A</i>		1	1	3	0,50
<i>Solución B</i>	0		0,5	1,5	0,25
<i>Solución C</i>	0	0,5		1,5	0,25
			Suma	6	1,00

(Fuente: Propia, 2.016)

Solución A > Solución B = Solución C

Tabla 2.15. Tabla de conclusiones del módulo 2

	<i>Sellado rápido</i>	<i>Sellado seguro</i>	<i>Facilidad en transportación</i>	<i>Costo del equipo</i>	<i>Facilidad en su operación</i>	$\Sigma + 1$	prioridad
<i>Solución A</i>	0,08	0,03	0,10	0,05	0,12	0,27	1,00
<i>Solución B</i>	0,04	0,08	0,07	0,07	0,06	0,26	2,00
<i>Solución C</i>	0,04	0,08	0,03	0,08	0,06	0,24	3,00

(Fuente: Propia, 2.016)

En conclusión, al análisis del módulo 2 de acuerdo a la tabla 2.15., el mejor criterio de evaluación es la solución A, usar accionamiento manual con acoples rápidos.

Módulo 3: Alimentación y descarga de agua a presión

Una vez instalado el acople rápido del elemento al equipo, por medio de una señal el operador empezará a llenar de agua hasta eliminar todo el aire que se encuentre dentro del elemento. Una vez que el elemento se encuentre sin aire, se podrá proceder a elevar la presión hasta la presión requerida o la presión de inspección que se está usando. Al alcanzar la presión requerida se espera un determinado tiempo y se procede a inspeccionar al elemento ensayado, en el caso de no encontrar una despresurización del elemento se entiende que el elemento no tiene fallas y se despresuriza el elemento.

Por lo tanto, las funciones que realiza este módulo son:

- Realizar el llenado de agua teniendo mucho cuidado en sacar todo el aire del elemento.
- Alcanzar la presión necesaria de acuerdo a la norma que se esté usando para el ensayo.
- Realizar una inspección cuidadosa, tomando en cuenta las recomendaciones que tiene la norma que se esté usando.
- Despresurizar para dejar sin agua el elemento.

Al analizar detenidamente el módulo en cuestión, se debe considerar componentes para la alimentación de agua a presión, para lo cual se detallan las siguientes alternativas:

- Bomba recíprocante de pistón
- Bomba neumática
- Bomba de paletas
- Bomba de lóbulos

Bomba recíprocante de pistón

Este tipo de alternativa de bomba cuenta con un alto caudal y elevar la presión de acuerdo a la cantidad de cabezas que se tenga en el equipo. Las bombas recíprocantes están construidas en versiones tanto verticales como horizontales. Las bombas de diseño vertical tienen una potencia de 1.500 HP mientras que las bombas recíprocantes de diseño

horizontal alcanzan una potencia de 2.000 HP, este tipo de bombas están conformadas de 2 o 3 pistones.

La presión máxima determinada en bombas reciprocantes depende de la potencia y esta es proporcional a la potencia disponible en el cigüeñal.

Bomba neumática

Este tipo de alternativa de bomba cuenta con un alto caudal y baja presión o un bajo caudal y una alta presión. Son accionadas con aire comprimido, su relación de ratio de conversión de presión determina la presión requerida por la presión de accionamiento de la bomba. Una bomba neumática de 2 HP de doble membrana puede alcanzar una presión de 100.000 psi sin ningún problema de acuerdo al fluido que se lo vaya a usar.

Bomba de paletas

Este tipo de alternativa permite tener un alto caudal, pero una baja presión, son bombas que no elevan altas presiones. Su máxima presión es de 1.000 psi aproximadamente.

Bomba de lóbulos

Este tipo de alternativa tiene alto caudal, 8.800 GPM aproximadamente y una presión máxima de 16 Bar. Se encuentran diseñadas bajo la norma Estándar API-676. Con fluidos limpios puede tener una eficiencia del 80%.

Ventajas y desventajas del módulo 3

En la tabla 2.16., se describen las ventajas y desventajas del módulo 3 para la carga y descarga de agua del elemento ensayado.

Tabla 2.16. Ventajas y desventajas del módulo 3

	Ventajas	Desventajas
Bomba reciprocante de pistón	Alcanza la presión requerida	A mayor potencia mayor tamaño
	Cuentan con un flujo constante para elevar a presiones variables	Su accionamiento tiene muchas partes móviles
	Se accionan manualmente o por motor	Requiere mantenimiento frecuente
		Costo elevado
Bomba neumática	No requiere lubricación para trabajar	Requieren presión y caudal de aire comprimido constante
	Mantienen presión fija sin consumir energía o generar calor	Requieren un caudal y presión mínimo para su operación
	El caudal es variable	A mayor presión menor caudal y viceversa
	Pequeñas para transportar y fácil mantenimiento	
	Son económicas	
Bomba de paletas	Sentido del flujo es independiente del sentido de rotación del eje	Costo elevado
	Fácil mantenimiento	Accionamiento con motor eléctrico
	Gran poder de succión	
	Volumen de trabajo es variable	
Bomba de lóbulos	Son bombas autocebadas	Alto costo
	Pueden rotar en seco por corto tiempo	Pesadas y difíciles de transportar
	Taños pequeño	

(Fuente: Propia, 2.016)

Evaluación y selección de alternativa de bombas

Los criterios de valoración más importantes de las bombas son:

- Elevar altas presiones del fluido a la presión requerida.
- Stock de repuestos, el proveedor deberá suministrar los repuestos en caso de emergencia.
- Facilidad en su transporte, su diseño debe ser compacto para que no ocupe mucho espacio.
- Costo del equipo, económico y accesible para el cliente.
- Peso del equipo.

La evaluación de los criterios y las alternativas se desarrollarán a continuación.

Tabla 2.17. Evaluación de cada criterio

CRITERIO	<i>Elevar alta presión</i>	<i>Stock de repuestos</i>	<i>Facilidad en su transportación</i>	<i>Costo del equipo</i>	<i>Peso del equipo</i>	$\Sigma + 1$	Ponderación
<i>Elevar alta presión</i>		0	1	1	1	4	0,27
<i>Stock de repuestos</i>	1		0	1	1	4	0,27
<i>Facilidad en su transportación</i>	0	1		0,5	1	3,5	0,23
<i>Costo del equipo</i>	0	0	0,5		0	1,5	0,10
<i>Peso del equipo</i>	0	0	0	1		2	0,13
				Suma		15	1,00

(Fuente: Propia, 2.016)

Elevar alta presión = Stock de repuestos > Facilidad en su transportación > Peso del equipo > Costo del equipo

Tabla 2.18. Evaluación de las soluciones respecto a elevar altas presiones

	<i>Solución A</i>	<i>Solución B</i>	<i>Solución C</i>	<i>Solución D</i>	$\Sigma + 1$	Ponderación
<i>Solución A</i>		1	1	0	3	0,30
<i>Solución B</i>	0		1	1	3	0,30
<i>Solución C</i>	0	0		0	1	0,10
<i>Solución D</i>	1	0	1		3	0,30
				Suma	10	1

(Fuente: Propia, 2.016)

Solución A = Solución B = Solución D > Solución C

Tabla 2.19. Evaluación de las soluciones respecto al stock de repuestos

	<i>Solución A</i>	<i>Solución B</i>	<i>Solución C</i>	<i>Solución D</i>	$\Sigma + 1$	ponderación
<i>Solución A</i>		0	0	0	1	0,10
<i>Solución B</i>	1		1	1	4	0,40
<i>Solución C</i>	1	0		0,5	2,5	0,25
<i>Solución D</i>	1	0	0,5		2,5	0,25
				Suma	10	1

(Fuente: Propia, 2.016)

Solución B > Solución C = Solución D > Solución A

Tabla 2.20. Evaluación de las soluciones respecto a fácil transportación

	<i>Solución A</i>	<i>Solución B</i>	<i>Solución C</i>	<i>Solución D</i>	$\Sigma + 1$	ponderación
<i>Solución A</i>		0	0,5	0,5	2	0,20
<i>Solución B</i>	1		1	1	4	0,40
<i>Solución C</i>	0,5	0		0,5	2	0,20
<i>Solución D</i>	0,5	0	0,5		2	0,20
				Suma	10	1,00

(Fuente: Propia, 2.016)

Solución B > Solución A > Solución C > Solución D

Tabla 2.21. Evaluación de las soluciones respecto al costo

	<i>Solución A</i>	<i>Solución B</i>	<i>Solución C</i>	<i>Solución D</i>	$\Sigma + 1$	ponderación
<i>Solución A</i>		1	1	0	3	0,30
<i>Solución B</i>	0		1	1	3	0,30
<i>Solución C</i>	0	0		0	1	0,10
<i>Solución D</i>	1	0	1		3	0,30
				Suma	10	1,00

(Fuente: Propia, 2.016)

Solución A = Solución B = Solución D > Solución C

Tabla 2.22. Evaluación de las soluciones respecto al peso

	<i>Solución A</i>	<i>Solución B</i>	<i>Solución C</i>	<i>Solución D</i>	$\Sigma + 1$	ponderación
<i>Solución A</i>		1	1	0,5	3,5	0,35
<i>Solución B</i>	0		0	0	1	0,10
<i>Solución C</i>	0	1		0	2	0,20
<i>Solución D</i>	0,5	1	1		3,5	0,35
				Suma	10	1,00

(Fuente: Propia, 2.016)

Solución A = Solución D > Solución C > Solución B

Tabla 2.23. Tabla de conclusiones del módulo 3

	<i>Desplazar equipo en corto tiempo</i>	<i>Menor número de operadores</i>	<i>Complejidad en la manipulación</i>	<i>Precio</i>	$\Sigma + 1$	prioridad
<i>Solución A</i>	0,08	0,03	0,05	0,03	0,18	3,00
<i>Solución B</i>	0,08	0,11	0,09	0,03	0,31	1,00
<i>Solución C</i>	0,03	0,07	0,05	0,01	0,15	4,00
<i>Solución D</i>	0,08	0,07	0,05	0,03	0,22	2,00

(Fuente: Propia, 2.016)

En conclusión, al análisis del módulo 3 de acuerdo a la tabla 2.23., la solución D es la que más se ajusta a los mejores criterios de evaluación, por lo tanto, se debe usar una bomba neumática.

Módulo 4: Estructura del equipo

Todos los equipos necesarios para poder realizar el ensayo de pruebas hidrostáticas deben ir colocados sobre una estructura con la finalidad de estabilizar el cuerpo y poder tener una estructura sólida para poderlo transportar.

Las funciones que relacionan este módulo es:

- Dar soporte de todos los componentes.
- Proporcionar estabilidad al momento de la operación del equipo.
- Soportar las cargas generadas al momento de su transporte.

Al analizar detenidamente el módulo en cuestión, se puede tener las siguientes alternativas:

- Estructura de cuatro patas verticales.
- Estructura de cuatro patas horizontales.
- Estructura cerrada.

Estructura de cuatro patas verticales

La estructura está diseñada para que todos los accesorios necesarios se coloquen de forma vertical, en la figura 2.6., se detalla un esquema de la estructura. Se debe considerar que la estructura no sea muy ancha ni profunda.

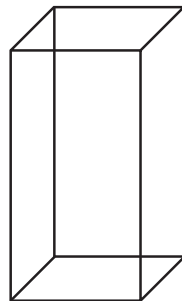


Figura 2.6. Estructura de cuatro patas verticales
(Fuente: Propia, 2.016)

Estructura de cuatro patas horizontales

La estructura está diseñada para que sus accesorios sean colocados en forma horizontal. En la figura 2.7., se detalla un esquema de la estructura, esta estructura debe ser más ancha y profunda, más no se considera su altura.

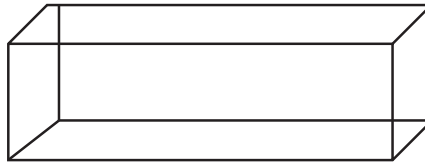


Figura 2.7. Estructura de cuatro patas horizontales
(Fuente: Propia, 2.016)

Estructura cerrada

La estructura está cubierta en sus cuatro lados, esto ayuda a proteger a los equipos del medio externo en donde se encuentre.

Ventaja y desventajas del módulo 4

Tabla 2.24. Ventajas y desventajas del módulo 4

	Ventajas	Desventajas
Estructura de cuatro patas verticales	Accesibilidad a los componentes internos	Las columnas no deben ser muy altas
	Facilita para su transportación	Alto esfuerzo en los extremos
	Área de la base pequeña	
Estructura de cuatro patas horizontales	Mayor área en la base	Difícil para transportar un solo operador
	Estabilidad en la superficie	Difícil para su accesibilidad en los elementos internos
Estructura cerrada	Protege los elementos internos	Mayor peso
		Limitación en la accesibilidad de los elementos internos

(Fuente: Propia, 2.016)

Evaluación y selección de módulos

Para la evaluación de este módulo se tienen algunos criterios importantes.

- Facilidad en el mantenimiento.
- Fabricación económica.
- Instalación de ruedas para su movilidad.
- Peso de la estructura.

La evaluación de los criterios y las alternativas se desarrollarán a continuación.

Tabla 2.25. Evaluación de cada criterio

CRITERIO	<i>Facilidad mantenimiento</i>	<i>Fabricación económico</i>	<i>Instalación de ruedas</i>	<i>Peso de la estructura</i>	$\Sigma + 1$	ponderación
<i>Facilidad mantenimiento</i>		0,5	1	0	2,5	0,25
<i>Fabricación económico</i>	0,5		0,5	0,5	2,5	0,25
<i>Instalación de ruedas</i>	0	0,5		1	2,5	0,25
<i>Peso de la estructura</i>	1	0,5	0		2,5	0,25
				Suma	10	1

(Fuente: Propia, 2.016)

Peso de la estructura > Facilidad mantenimiento = Fabricación económico > Instalación de ruedas

A continuación, se evalúa cada una de las soluciones de acuerdo a las alternativas:

Tabla 2.26. Evaluación de las soluciones respecto a la facilidad en mantenimiento

	<i>Solución A</i>	<i>Solución B</i>	<i>Solución C</i>	$\Sigma + 1$	ponderación
<i>Solución A</i>		1	1	3	0,50
<i>Solución B</i>	0		1	2	0,33
<i>Solución C</i>	0	0		1	0,17
			Suma	6	1,00

(Fuente: Propia, 2.016)

Solución A = Solución B > Solución C

Tabla 2.27. Evaluación de las soluciones respecto a la fabricación económica

	<i>Solución A</i>	<i>Solución B</i>	<i>Solución C</i>	$\Sigma + 1$	ponderación
<i>Solución A</i>		0,5	1	2,5	0,42
<i>Solución B</i>	0,5		1	2,5	0,42
<i>Solución C</i>	0	0		1	0,17
			Suma	6	1,00

(Fuente: Propia, 2.016)

Solución A = Solución B > Solución C

Tabla 2.28. Evaluación de las soluciones respecto a la instalación de ruedas

	<i>Solución A</i>	<i>Solución B</i>	<i>Solución C</i>	$\sum + 1$	ponderación
<i>Solución A</i>		0,5	0,5	2	0,33
<i>Solución B</i>	0,5		0,5	2	0,33
<i>Solución C</i>	0,5	0,5		2	0,33
			Suma	6	1,00

(Fuente: Propia, 2.016)

Solución A = Solución B = Solución C

Tabla 2.29. Evaluación de las soluciones respecto al peso de la estructura

	<i>Solución A</i>	<i>Solución B</i>	<i>Solución C</i>	$\sum + 1$	ponderación
<i>Solución A</i>		0,5	1	2,5	0,42
<i>Solución B</i>	0,5		1	2,5	0,42
<i>Solución C</i>	0	0		1	0,17
			Suma	6	1,00

(Fuente: Propia, 2.016)

Solución A = Solución B > Solución C

Tabla 2.30. Tabla de conclusiones del módulo 4

	<i>Desplazar equipo en corto tiempo</i>	<i>Menor número de operadores</i>	<i>Complejidad en la manipulación</i>	<i>Precio</i>	$\sum + 1$	prioridad
<i>Solución A</i>	0,13	0,10	0,08	0,10	0,42	1,00
<i>Solución B</i>	0,08	0,10	0,08	0,10	0,38	2,00
<i>Solución C</i>	0,04	0,04	0,08	0,04	0,21	3,00

(Fuente: Propia, 2.016)

En conclusión, al análisis del módulo 4 de acuerdo a la tabla 2.30., la solución que se ajusta a los mejores criterios de evaluación es la solución A, por lo tanto, se debe usar una estructura de cuatro patas verticales.

Conclusiones del diseño conceptual

Finalmente, una vez realizado un análisis de cada módulo es necesario realizar un análisis global, el propósito es determinar el alcance del diseño del equipo de pruebas hidrostáticas permitiéndonos obtener especificaciones técnicas para dar forma al banco de pruebas hidrostáticas.

En el módulo 1, después de su análisis la mejor alternativa para trasladar el equipo es el uso de ruedas con la finalidad de distribuir la carga sobre la plataforma que va a transportar el equipo.

En el módulo 2, al realizar un análisis de la mejor alternativa para conectar el elemento a ser ensayado al equipo, la mejor opción es un accionamiento manual con acople rápido.

En el módulo 3, se realizó un análisis con las alternativas que más se acogen a las necesidades del usuario y como resultado se obtuvo la implementación de una bomba neumática.

En el módulo 4, se analizó el diseño estructural más apropiado para su maniobrabilidad y movilidad. Como resultado se obtuvo que la estructura vertical sea la más apropiada para el tipo de equipo que se va a utilizar.

Tabla 2.31. Conclusiones diseño conceptual

CONCLUSIONES DISEÑO CONCEPTUAL	
Modulo	Solución
Módulo 1	Uso de llantas para su traslado
Módulo 2	Accionamiento manual con acople rápido
Módulo 3	Se seleccionan los componentes en la siguiente sección
Módulo 4	Estructura vertical

(Fuente: Propia, 2.016)

2.2. Selección de equipos

En la presente sección se seleccionan los elementos de acuerdo a las especificaciones de diseño de la sección anterior.

Aspectos considerados en el diseño

En la presente sección se busca obtener un diseño adecuado a los requerimientos del usuario, y que este tenga una apariencia amigable con la finalidad de llamar la atención del cliente. Para proceder con el diseño del banco de pruebas hidrostáticas se debe seleccionar los equipos principales y luego todos sus periféricos que ayudan a controlar el equipo.

A continuación, se presenta una breve introducción de los equipos más importantes para su dimensionamiento.

En el módulo 1, se detalló la mejor alternativa para el desplazamiento del equipo tomando en consideración el menor esfuerzo físico y su maniobrabilidad. En este caso se seleccionarán llantas las cuales soportarán el peso del equipo y ayuden a desplazarse en superficies deformes.

En el módulo 2, se detalla la mejor alternativa para sellar el elemento. El acople rápido permitirá disminuir los tiempos que se generan de un ensayo tras otro.

En el módulo 3, se detalla la mejor alternativa de bombas con la finalidad de elevar la presión del agua en el elemento a ser analizado. Para la despresurización se ha considerado una válvula de aguja con el objeto de controlar la presión.

En el módulo 4, se detalla la mejor alternativa del diseño de la estructura, esta se encuentra ligada al módulo 1 el cual debe ser liviano para ser maniobrable.

De acuerdo a los módulos la selección de los equipos no se los realizará de acuerdo a su orden, daremos importancia a los equipos principales para poder continuar con los equipos secundarios.

Selección de bombas principales

En la selección se dará prioridad a las bombas de pruebas hidrostáticas, estas ayudarán a llenar de agua el elemento a ser ensayado y alcanzar la presión deseada. De acuerdo al criterio de valoración que se realizó en la sección anterior. la mejor alternativa es contar con una bomba neumática.

Con el propósito de cumplir con uno de los requerimientos del cliente se ha seleccionada la marca Haskel, por contar con un proveedor en el Ecuador, Danielcom Equipment Supply S.A. es representante exclusivo, al no existir competencia en el mercado no se ha realizado una selección de alternativas.

Bomba Haskel

Las bombas Haskel son bombas neumáticas que tienen una gran gama de modelos y aplicaciones, su ventaja con las demás bombas se basa en no lubricar el aire que acciona

la bomba. Por las características de diseño de estos equipos la fricción es mínima y en el momento del montaje tiene un lubricado especial.

Selección de la bomba Haskel

Para el sistema de pruebas hidrostáticas es necesario contar con dos bombas, una para el llenado y otra para ejercer presión, la bomba de llenado tiene mayor caudal que presión mientras que la segunda bomba debe elevar la presión con un bajo caudal.

Por medio del software “Haskel_Liquid_Pumps” se determina una bomba adecuada a las condiciones de trabajo que se requiera. Las bombas Haskel son neumáticas por lo que se debe enfocaran la obtención de los datos en dos partes, una es el accionamiento de la bomba y la otra es la condición del fluido a trabajar. Para el accionamiento de la bomba es necesario contar con aire comprimido, la presión mínima, la presión máxima y el caudal son datos necesarios.

Por otro lado, tenemos las condiciones del fluido a trabajar, este es agua, puede provenir de una fuente a presión o de un tanque para este caso su presión será la presión atmosférica. Adicional es necesario conocer la presión a la descarga de la bomba como el caudal.

Para el banco de pruebas hidrostáticas se han considerado dos bombas ya que la presión que se requiere es muy alta y el caudal bajo. En la tabla 2.32., se detallan los datos de las bombas para su selección, estos datos han sido considerados de acuerdo a los datos de la sección anterior.

Tabla 2.32. Especificaciones de la bomba

Bomba 1		Bomba 2	
Presión de aire comprimido máximo	= 150 psi	Presión de aire comprimido máximo	= 150 psi
Presión de aire comprimido mínimo	= 100 psi	Presión de aire comprimido mínimo	= 100 psi
Presión de descarga requerida	= 2.000 psi	Presión de descarga requerida	= 30.000 psi
Caudal a la descarga requerida	= 1 GPM = 3,78 lt/min	Caudal a la descarga requerida	= 0,08 GPM = 0,30 lt/min

(Fuente: Propia, 2.016)

Uso del programa de Haskel bomba 1

En el programa se ingresa la presión de suministro de aire comprimido, la presión máxima del compresor es de 150 psi.

El fluido que se va a usar es agua y la presión al ingreso de la bomba es la presión atmosférica ya que se obtendrá el fluido de un tanque, a la descarga de la bomba se requiere una presión máxima de trabajo 2.000 psi con un caudal de 1 GPM (3,78 lt/min).

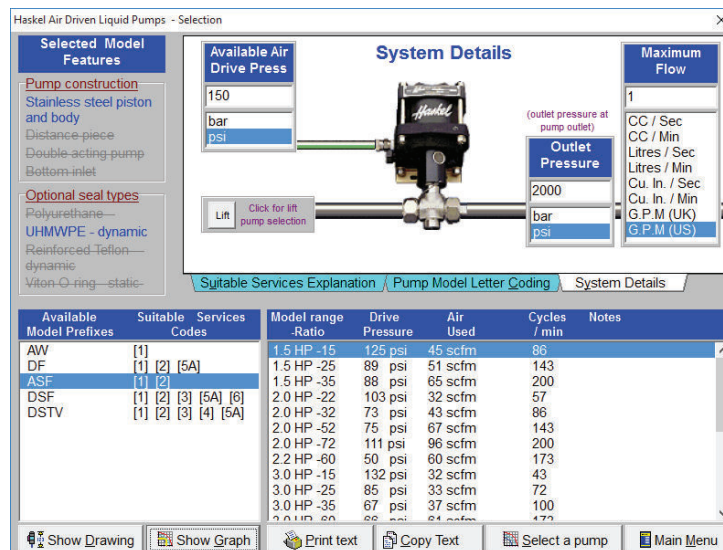


Figura 2.8. Resultados de la Bomba 1
(Fuente: Programa Haskel)

Interpretación de resultados bomba 1

El programa automáticamente ha generado los modelos aconsejados para este tipo de aplicación con los datos ingresados, estos modelos están clasificados de acuerdo a un código de servicio. En el presente caso la bomba será implementada en un banco de prueba hidrostática por lo que se usa agua pura. La codificación que más se asemeja a esta condición de operación es la (1) aceites de petróleo, queroseno, agua con aceite soluble al 5% y (2) agua pura, combustible diésel.

En la tabla 2.33., el modelo que cumple con estas dos condiciones únicamente es la ASF.

Tabla 2.33. Código de servicio Bomba 1

CÓDIGO DE SERVICIO	1	2	3	4	5	5A	6
AW	X						
ASF	X	X					
DF	X	X				X	
DSF	X	X	X			X	X
DSTV	X	X	X	X		X	

(Fuente: Liquid pump, 2.015)

En el modelo de bomba ASF tenemos como primera alternativa tres bombas de 1,5 HP con una relación de área de -15, -25 y -35. La potencia de 1,5 HP satisface las necesidades de la aplicación, seleccionar una bomba de mayor potencia incrementará el costo en la construcción.

La bomba ASF-15 (ASF-B15) tiene 86 ciclos/min, el consumo de aire es de 45 scfm y una presión de accionamiento de 125 psi para alcanzar la presión requerida de descarga.

En el anexo III se describe el rendimiento y la especificación general de todos los modelos de bombas existentes en Haskel.

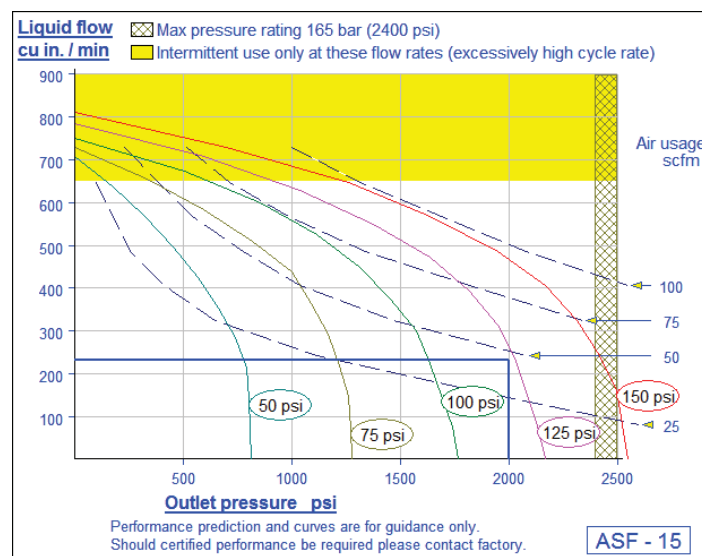


Figura 2.9. Grafica de la Bomba ASF-B15
(Fuente: Programa Haskel)

En la figura 2.9., se detalla una predicción del rendimiento y las curvas orientativas de la bomba ASF-15 (ASF-B15). Para poder obtener los 2.000 PSI y 240 cc in/min

necesitaríamos una presión de 125 PSI y 45 scfm de aire comprimido para alcanzar dicha presión.

Por recomendaciones del fabricante se debe evitar trabajar en la zona sombreada, con la finalidad de evitar desgaste en sus elementos principales y darle mayor vida útil al equipo.

Comprobación de resultados del programa Haskel ASF-B15

Para la comprobación de los resultados se usarán conceptos básicos de la neumática y la relación de área de una bomba.

Con las mismas condiciones que se han considerado en el programa se procederá a su comprobación usando la ecuación 1.2., para determinar la potencia.

$$N = \frac{P_o \cdot Q}{1714} = \frac{2.000 \text{ PSI} \cdot 1 \text{ GPM}}{1714} = 1,16 \text{ HP} \approx 1,5 \text{ HP}$$

La potencia de la bomba calculada es 1.16 HP, de acuerdo a la potencia de las bombas descritas en el anexo IV la bomba que se aproxima es de 1.5 HP.

Con la ayuda de la ecuación 1.1., podremos obtener la relación de área, este dato permite limitar todos los modelos existentes con esta potencia.

$$r = \frac{P_o}{P_a} = \frac{2.000 \text{ PSI}}{150 \text{ PSI}} = 13,33 \approx 17$$

La relación de área de la bomba 1 es de 13,33 el valor más aproximado es 17, la relación de área del modelo de la bomba es una B15.

Realizando el mismo análisis de los líquidos compatibles a esta bomba se puede llegar a comprobar los resultados del programa, el modelo de la Bomba a usar es ASF-B15.

Diagrama de la bomba ASF-B15

En la figura 2.10., se detallan las dimensiones y peso de la bomba ASF-B15. La conexión de entrada del aire comprimido es ½" NPT hembra, la conexión a la entrada del líquido de

prueba antes de la válvula check es de 1" NPT hembra y la conexión a la descarga de la bomba después de la válvula check es de 1/2" NPT hembra.

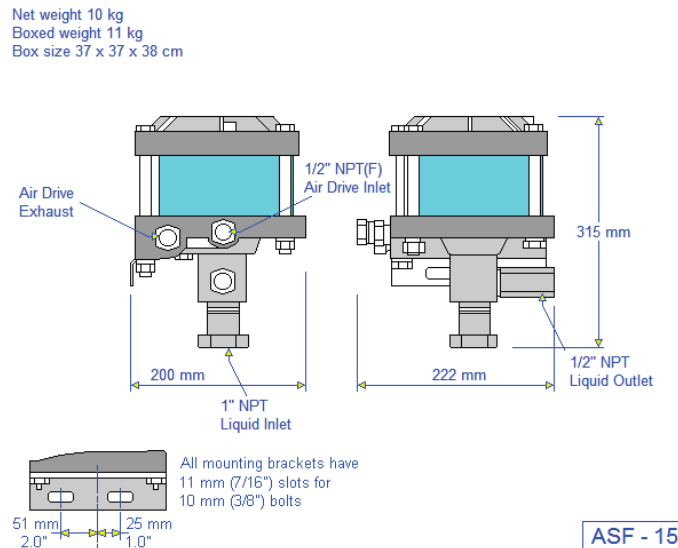


Figura 2.10. Diagrama de la bomba ASF-B15
(Fuente: Programa Haskel)

Uso del programa de Haskel bomba 2

En el programa se ingresa la presión de suministro de aire comprimido, la presión máxima del compresor es de 150 psi. El fluido usado es agua, la presión al ingreso de la bomba es presión atmosférica proveniente de un tanque, en su descarga se una presión máxima de trabajo 30.000 psi y un caudal de 0,08 GPM (0,30 lt/min).

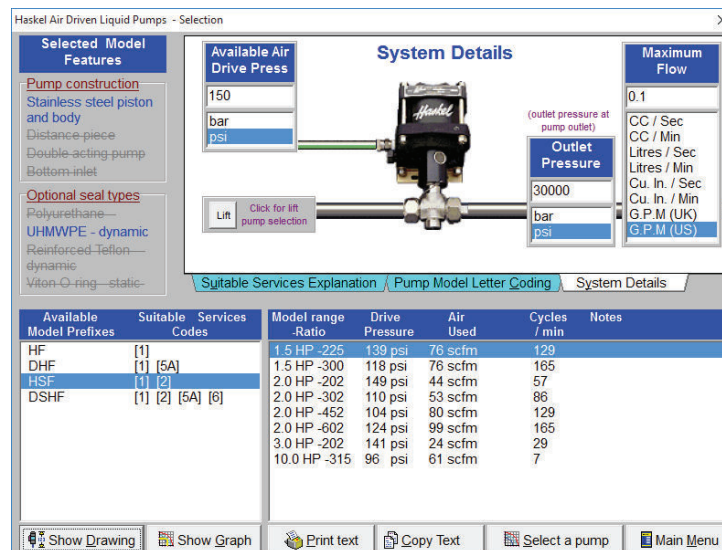


Figura 2.11. Resultados de la Bomba 2
(Fuente: Programa Haskel)

Interpretación resultados bomba 2

El programa automáticamente ha generado los modelos aconsejados para este tipo de aplicación con los datos ingresados, estos modelos están clasificados de acuerdo a un código de servicio. En el presente caso la bomba será implementada en un banco de pruebas hidrostáticas por lo que se usara agua pura, la codificación que más se asemeja a esta condición de operación es la (1) aceites de petróleo, queroseno, agua con aceite soluble al 5% y (2) agua pura, combustible diésel.

En el modelo de bomba HSF tenemos como primera opción dos bombas de 1,5 HP con una relación de área de -225 y -300. La potencia de 1,5 HP satisface las necesidades de la aplicación, seleccionar una bomba de mayor potencia incrementará el costo en la construcción.

La bomba HSF-255 tiene 129 ciclos/min, el consumo de aire es de 76 scfm y una presión de accionamiento 139 psi para alcanzar la presión requerida de descarga.

Tabla 2.34. Código de servicios Bomba 2

CÓDIGO DE SERVICIO	1	2	3	4	5	5A	6
HF	X						
DHF	X					X	
HSF	X	X					
DSHF	X	X				X	X

(Fuente: Liquid pump, 2.015)

En el anexo III se describen el rendimiento y la especificación general de todos los modelos de bombas existentes en Haskel.

En la figura 2.12., se detalla una predicción del rendimiento y las curvas orientativas de la Bomba HSF-225. Para poder obtener los 30.000 psi y 24 cc in/min necesitaríamos una presión de 130 PSI y 75 scfm de aire comprimido para alcanzar dicha presión.

Por recomendaciones del fabricante se debe evitar trabajar en la zona sombreada, con la finalidad de evitar desgaste en sus elementos principales y darle mayor vida útil al equipo.

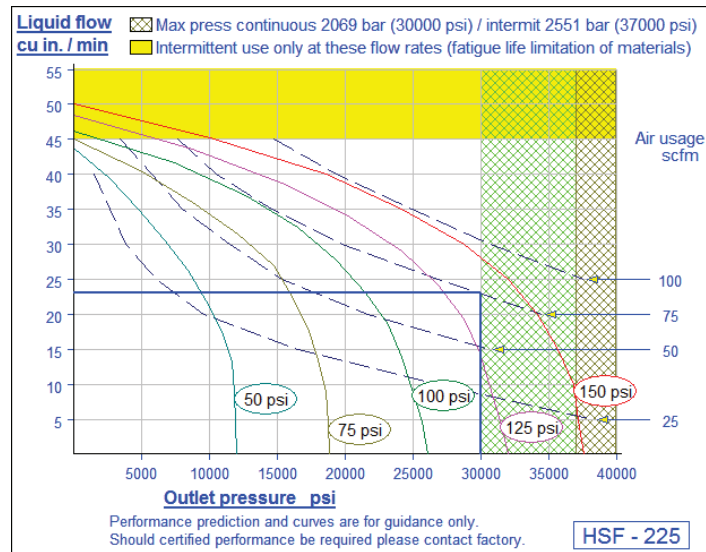


Figura 2.12. Gráfica de la Bomba HSF-225
(Fuente: Programa Haskel)

Comprobación de resultados del programa Haskel HSF-225

Para la comprobación de los resultados se usarán conceptos básicos de la neumática y la relación de área de una bomba.

Con las mismas condiciones que se han considerado en el programa se procederá a su comprobación usando la ecuación 1.2. para determinar la potencia.

$$N = \frac{P_o \cdot Q}{1714} = \frac{30.000 \text{ PSI} \cdot 0,08 \text{ GPM}}{1714} = 1,40 \text{ HP} \approx 1,5 \text{ HP}$$

La potencia de la bomba calculada es 1,40 HP, de acuerdo a la potencia de las bombas descritas en el anexo IV la bomba que se aproxima es de 1,5 HP.

Con la ayuda de la ecuación 1.1. podremos obtener la relación de área, este dato permite limitar todos los modelos existentes con esta potencia.

$$r = \frac{P_o}{P_a} = \frac{30.000 \text{ PSI}}{150 \text{ PSI}} = 200 \approx 225$$

La relación de área de la bomba 2 es de 200 el valor más aproximado es 225, la relación de área del modelo de la bomba es una 225.

Realizando el mismo análisis de los líquidos compatibles a esta bomba se puede llegar a comprobar los resultados del programa, el modelo de la bomba a usar es HSF-225.

Diagrama de la bomba HSF-225

En la figura 2.13., se detalla las dimensiones y peso de la bomba HSF-225. La conexión de entrada del aire comprimido es 1/2" NPT hembra, la conexión a la entrada del líquido de prueba antes de la válvula check es de 1/2" NPT hembra y la conexión a la descarga de la bomba después de la válvula check es de 1/4" NPT hembra alta presión.

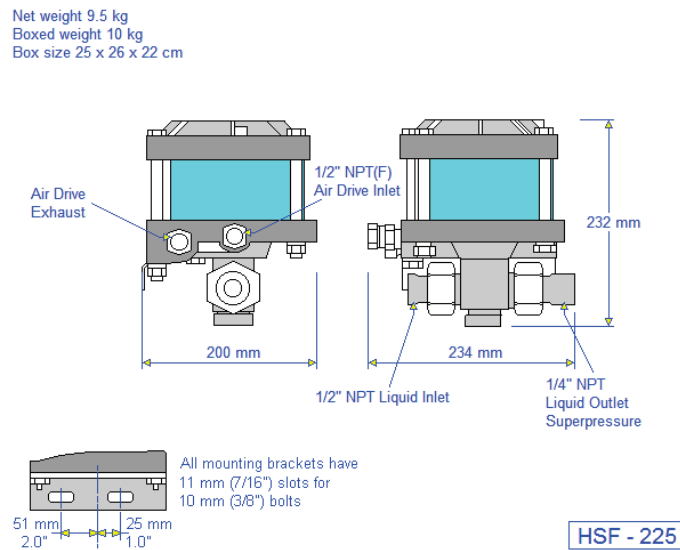


Figura 2.13. Diagrama de la bomba HSF-225
(Fuente: Programa Haskel)

Filtro de aire

Uno de los accesorios que se han considerado en el banco de pruebas hidrostáticas es un filtro de aire, con la finalidad de tener una protección de las bombas neumáticas para el ingreso de humedad y sólidos. El filtro contiene un recipiente plástico o metálico en el cual se generará la centrifugación del aire, en su parte superior se tiene una placa deflectora que provoca esta acción.

De acuerdo a las condiciones de operación de las bombas neumáticas descritas en el literal anterior de la presente sección se cuenta con un rango de caudal de aire comprimido 25 – 75 scfm para el dimensionamiento de las bombas neumáticas. La bomba ASF-B15 requiere

un caudal de 45 scfm para obtener una presión de 2.000 psi, pero el caudal mínimo para su operación es de 25 scfm, mientras que en la bomba HSF-225 se requiere un caudal de 75 scfm para alcanzar una presión de 30.000 psi.

Como datos necesarios para el dimensionamiento del filtro se detalla lo siguiente:

Caudal de aire comprimido: 25 – 75 scfm
 Presión mínima de aire: 100 psi
 Presión máxima de aire: 150 psi

En la figura 2.14. se detalla un filtro de aire comprimido.

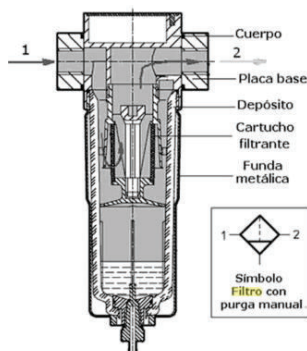


Figura 2.14. Filtro de Aire Comprimido
 (Fuente: Solé, 2.011)

Selección del filtro de aire

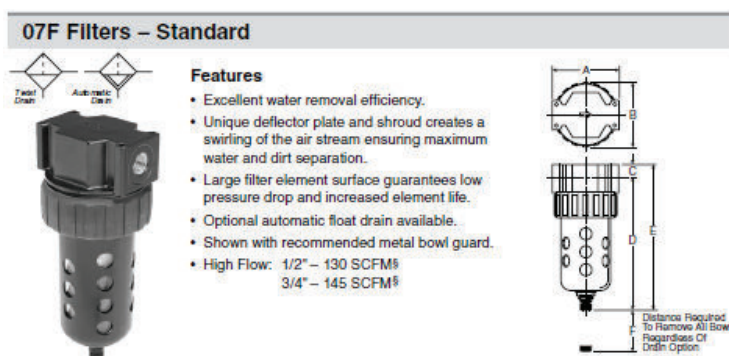


Figura 2.15. Descripción del filtro de aire
 (Fuente: Parker, 2.013)

Para la aplicación se usa un filtro ciclónico con la finalidad de sacar partículas y condensado del aire comprimido, en la figura 2.15., se detalla el tipo de filtro a ser usado.

Tabla 2.35. Datos del filtro de aire comprimido

PRESIÓN MÁXIMA DE TRABAJO	150 PSI
FLUJO DE AIRE	25 - 75 scfm
ELEMENTO FILTRANTE	40 micrones
CONEXIÓN	1/2 in
TIPO DE CONEXIÓN	NPT

(Fuente: Propia, 2.016)

El filtro de la serie 07F con un diámetro ½ in puede trabajar con un caudal máximo de 130 scfm, satisface las necesidades del aire requerido para el accionamiento de las bombas.

Ordering Information

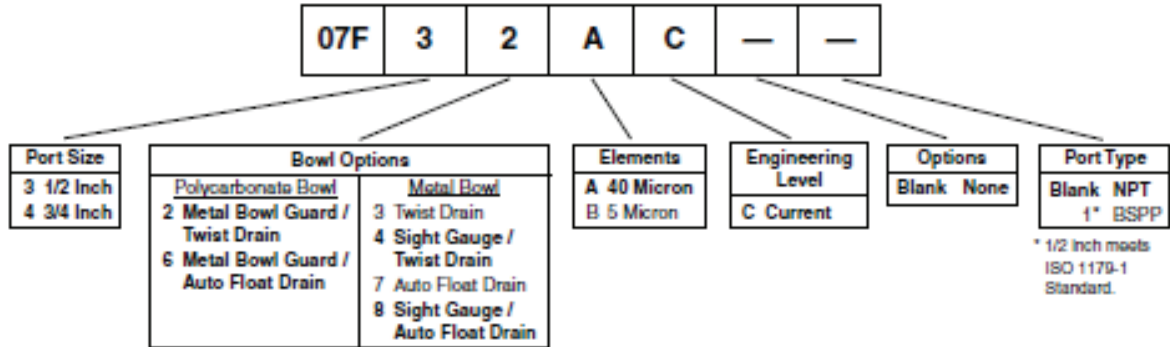


Figura 2.16. Selección del filtro de aire
(Fuente: Parker, 2.013)

Los datos del filtro de aire descritos en la tabla 2.35., permitirán ordenar la información para obtener un filtro con su número de parte.

El ordenador de información del manual de Parker permitirá seleccionar el filtro requerido de acuerdo a una codificación. El modelo del filtro es 07F, el tamaño de conexión es de ½ in su código es 3.

El filtro tiene un vaso en el cual se almacenan los condensados o solidos del aire comprimido, para este tipo de aplicación necesitaríamos el vaso estándar. El código correspondiente para este tipo de vaso es 2, los elementos filtrantes se han considerado 40 micrones su codificación es A.

Regulador de aire

Con la finalidad de controlar la presión de descarga de las bombas se debe controlar la presión de aire comprimido que acciona las mismas. Para este tipo de aplicación usaremos un DIAL de control, en la figura 2.17., se detalla el tipo de DIAL que se usara.

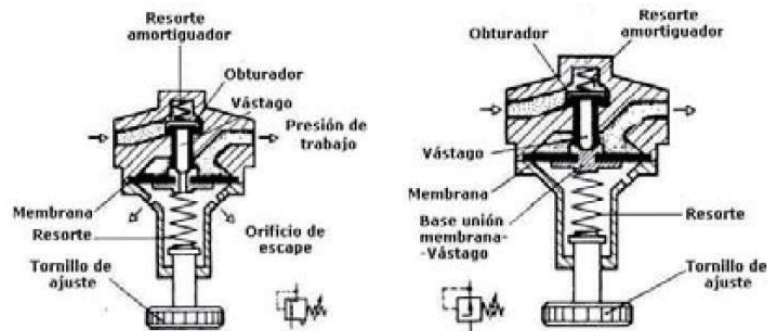


Figura 2.17. Regulador de presión con y sin orificio de escape (Solé, 2.011)

Selección del regulador de aire

El DIAL de la serie R21 cuenta con un diámetro de conexión de $\frac{1}{4}$, $\frac{3}{8}$, $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$ in los cuales satisfacen el caudal de aire requerido (25 - 75 scfm). Con la finalidad de contar con un mismo diámetro de conexión en los accesorios se selecciona el diámetro de $\frac{1}{2}$ in, el cual cuenta con un caudal de 195 scfm suficientes para el accionamiento de las bombas.

Tabla 2.36. Datos del DIAL de control

PRESIÓN MÁXIMA DE TRABAJO	150 PSI
FLUJO DE AIRE	25 - 75 scfm
CONEXIÓN	1/2 in
TIPO DE CONEXIÓN	NPT

(Fuente: Propia, 2.016)

Los datos obtenidos han sido analizados al comienzo de la sección anterior, los datos de la tabla 2.36., permitirá ordenar la información para obtener un dial con su número de parte.

El ordenador de información del manual de Parker permitirá seleccionar el DIAL de control de acuerdo a una codificación de operación de las bombas, en la figura 2.18., detalla el selector.

El modelo del DIAL de control es R21, el tipo de roscado es NPT su código es 0, la conexión es de 1/2 in su código es 4. Los tres últimos códigos son opcionales de acuerdo a la presión que vayan a trabajar, para la aplicación necesitaríamos un DIAL standard con una presión de trabajo de 0 a 160 psig.

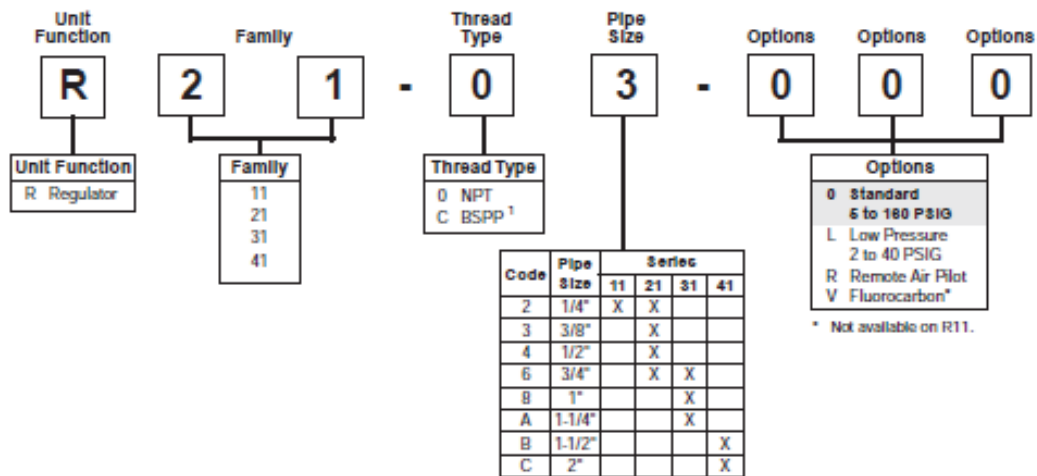


Figura 2.18. Selección del DIAL de control (Parker, 2.013)

Tubing de baja presión (150 psi y 2.000 psi)

El tubing de baja presión es usado para el transporte del aire comprimido y agua pura desde los controles hacia las bombas. Se usa tubing con la finalidad de reducir las pérdidas de presión en accesorios y la fricción en las paredes. En el mercado se puede encontrar tubería en aleaciones 304 y 316, para el banco de pruebas hidrostáticas se implementará un tubing de acero inoxidable 304.

Para la selección del tubing se debe considerar las condiciones de operación en las cuales van a trabajar. Para el tubing de 1/2 y 1/4 van a trabajar con agua y aire a una presión máxima de 150 psi y 2.000 psi respectivamente.

En la figura 2.19., se detalla los diferentes tubing de 1/2 e 1/4 in, en el caso del banco de pruebas hidrostáticas todos los tubing cumplen con las presiones de operación. Para determinar el tubing a usar se realizó una breve investigación en el mercado para determinar cuál es el tubing más común, concluyendo que el tubing con espesor de 0.049 in se puede encontrar en menor tiempo.

Tube OD in.	Tube Wall in.	Ordering Number	Weight lb/ft	Working Pressure psig
1/8	0.028	SS-T2-S-028-20	0.029	8 500
1/4	0.035	SS-T4-S-035-20	0.080	5 100
	0.049	SS-T4-S-049-20	0.105	7 500
	0.065	SS-T4-S-065-20	0.128	10 200
3/8	0.035	SS-T6-S-035-20	0.127	3 300
	0.049	SS-T6-S-049-20	0.171	4 800
	0.065	SS-T6-S-065-20	0.215	6 500
1/2	0.035 ^①	SS-T8-S-035-20	0.174	2 600
	0.049	SS-T8-S-049-20	0.236	3 700
	0.065	SS-T8-S-065-20	0.302	5 100

Figura 2.19. Diámetro de tubing baja presión
(Fuente: Catalogo BuTech)

El doblado del tubing se recomienda realizarlo con una herramienta especial de doblado de tubing. Si el doblado se lo realiza de forma artesanal se corre el peligro de afectar al tubing y tener pérdida de aire. En la figura 2.20., se puede observar la herramienta a ser usado con los distintos diámetros de tubería.

Dobladoras de tubo manuales

Las dobladoras manuales Swagelok doblan el tubo con alta calidad y en cualquier material que pueda ser utilizado con los racores Swagelok.



Características

- Está disponible para tamaños de tubo de 3, 6, 8, 10 y 12 mm y de 1/8, 1/4, 5/16, 3/8 y 1/2 pulg.
- El diseño de horquilla mejora el impulso para curvas de más de 90°.
- Los rodillos requieren menos esfuerzo para doblar y reducen la ovalización del tubo frente al diseño convencional.
- Rango de doblado de 1 a 180°.

La dobladora de tubo manual no puede utilizarse para doblar tubo SAF 2507 de más de 1/4 pulg. ni tubo de alta presión.

Para ampliar la información, consulte el Manual *Dobladora de tubo*, MS-13-43.

Datos de tubo

Vea **Información de pedido**, a continuación, para los datos de radio de curvatura. Algunas aplicaciones requieren radios de curvatura específicos; consulte las normativas aplicables sobre requisitos de radio de curvatura. Para conocer los espesores de pared de tubo sugeridos para utilizar con los racores Swagelok, consulte el catálogo Swagelok *Datos de tubo*, MS-01-107.

Información de pedido

Ø ext. del tubo	Radio de curva	Referencia
Dimensiones, pulg		
1/8	0,56	MS-HTB-2
1/4	0,56	MS-HTB-4T
1/4	0,75	MS-HTB-4
5/16	0,94	MS-HTB-5
3/8	0,94	MS-HTB-6T
1/2	1,50	MS-HTB-8
Dimensiones, mm		
3	15	MS-HTB-3M
6	15	MS-HTB-6M
8	24	MS-HTB-8M
10	24	MS-HTB-10M
12	38	MS-HTB-12M

Figura 2.20. Herramienta para doblado
(Fuente: Catalogo Swagelok)

En la tabla 2.37., se encuentra detallado la tubería a usar con las presiones de trabajo que determina el fabricante.

Tabla 2.37. Tubing a ser usado en bajas presiones

Tubing Diam. Exterior	Espesor de la pared [in]	Código	Peso lb/ft	Presión de trabajo [PSI]
1/4	0,049	SS-T4-S-049-20	0,105	7.500
1/2	0,049	SS-T8-S-049-20	0,236	3.700

(Fuente: Propia, 2.016)

Comprobación del tubing de baja presión

En la comprobación del tubing de baja presión se determinará el diámetro mínimo a la presión de trabajo. Para este análisis se tiene que considerar el material, el tubing a usar está fabricado en acero inoxidable 304 con un esfuerzo a la fluencia de 30.000 psi y la tolerancia a la corrosión del acero inoxidable es 0,5 mm o 0,02 in (ASTM A312/A312M, 2016).

El tubing de ¼ in trabajara con aire comprimido a una presión máxima de 150 psi mientras que el tubing de ½ in trabajara con aire comprimido a una presión máxima de 150 psi y agua pura a una presión máxima de 2.000 psi. Para la comprobación del tubing de ½ in se usará la presión máxima de trabajo de los dos fluidos con los cuales va a operar, en este caso será con agua pura a una presión de 2.000 psi.

Tubing diámetro exterior ¼ in

La tubería de ¼ in de material acero inoxidable 304 trabajará a una presión máxima de 150 PSI, usando la ecuación 1.3. se determinará el espesor mínimo de la tubería.

$$e_{min} = \frac{0,25 - 0}{2} \left(1 - e^{\frac{-2.000}{30.000}} \right) = 0,008 \text{ in} < 0,049 \text{ in}$$

En conclusión, el tubing seleccionado es superior a los cálculos realizados, por lo que cuenta con un factor de seguridad de 6,12.

Tubing diámetro externo ½ in

La tubería de ½ in de un material de Acero Inoxidable 304 trabajará a una presión máxima de 2.000 psi, usando la ecuación 1.3. se determinará el espesor mínimo de la tubería.

$$e_{min} = \frac{0,5 - 0}{2} \left(1 - e^{\frac{-2.000}{30.000}} \right) = 0,016 \text{ in} < 0,049 \text{ in}$$

En conclusión, el tubing seleccionado es superior a los cálculos realizados, por lo que cuenta con un factor de seguridad de 3,06.

Verificación del tubing de baja presión mediante inventor

Las cargas son aplicadas en el interior de la tubería y las restricciones en los extremos de la tubería, son las siguientes:

- Una presión interna con magnitud igual a la presión en la que va a trabajar a lo largo de la tubería.
- Se han colocado dos restricciones en las caras de los extremos de la tubería simulando que estas se encuentran conectadas y no están libres.

Tubing diámetro exterior ¼ in

Para la siguiente simulación se ha considerado una tubería con mayor cantidad de curvas con la finalidad de encontrar esfuerzos en los doblados. La distribución de la presión interna lo realiza automáticamente el sistema autodesk inventor.

Como se puede observar en la figura 2.21., se tiene restricciones en los extremos de la tubería simulando que se encuentra conectado a los accesorios. Se ha considerado únicamente una presión interna de 150 psi (1.03 MPa) simulando la presión máxima del aire comprimido.

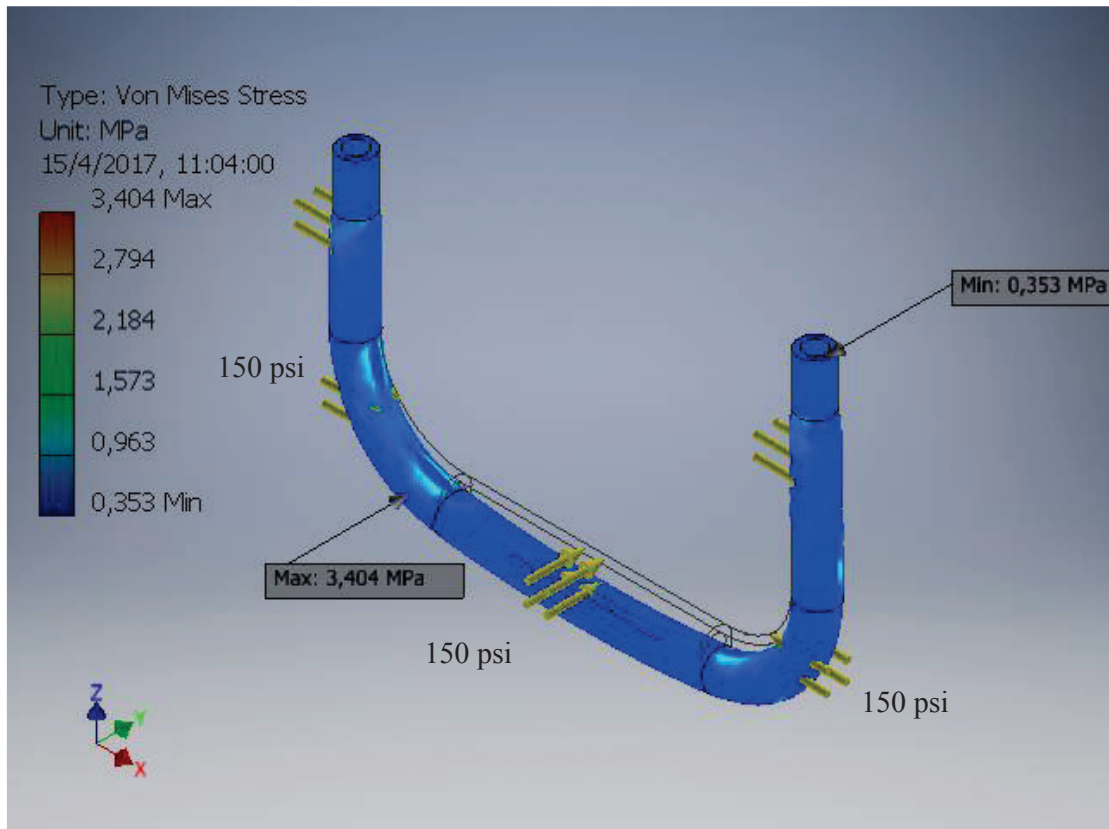


Figura 2.21. Análisis de esfuerzos tubería ¼ in
 (Fuente: Propia, 2.016)

Acorde a lo obtenido en la figura 2.21., se tiene un esfuerzo mínimo de 0,353 MPa (51.19 psi) y un factor de seguridad 15, el esfuerzo máximo es de 3,404 MPa (493,70 psi) y un factor de seguridad de 15. Los valores obtenidos son menores al esfuerzo de fluencia del material de 206,84 MPa (30.000 psi). El software Autodesk Inventor indica que el factor de seguridad es 15, mientras que el factor de seguridad teórico es de 200, este error se produce porque el software Autodesk Inventor tiene como máximo factor de seguridad 15.

El factor de seguridad se ha determinado de acuerdo al esfuerzo de fluencia del material sobre el esfuerzo máximo de diseño que proporciona el software Autodesk Inventor.

Tubing diámetro externo ½ in

Para la siguiente simulación se ha considerado una tubería con mayor cantidad de curvas con la finalidad de encontrar esfuerzos en los doblados. La distribución de la presión interna lo realiza automáticamente el sistema Autodesk Inventor.

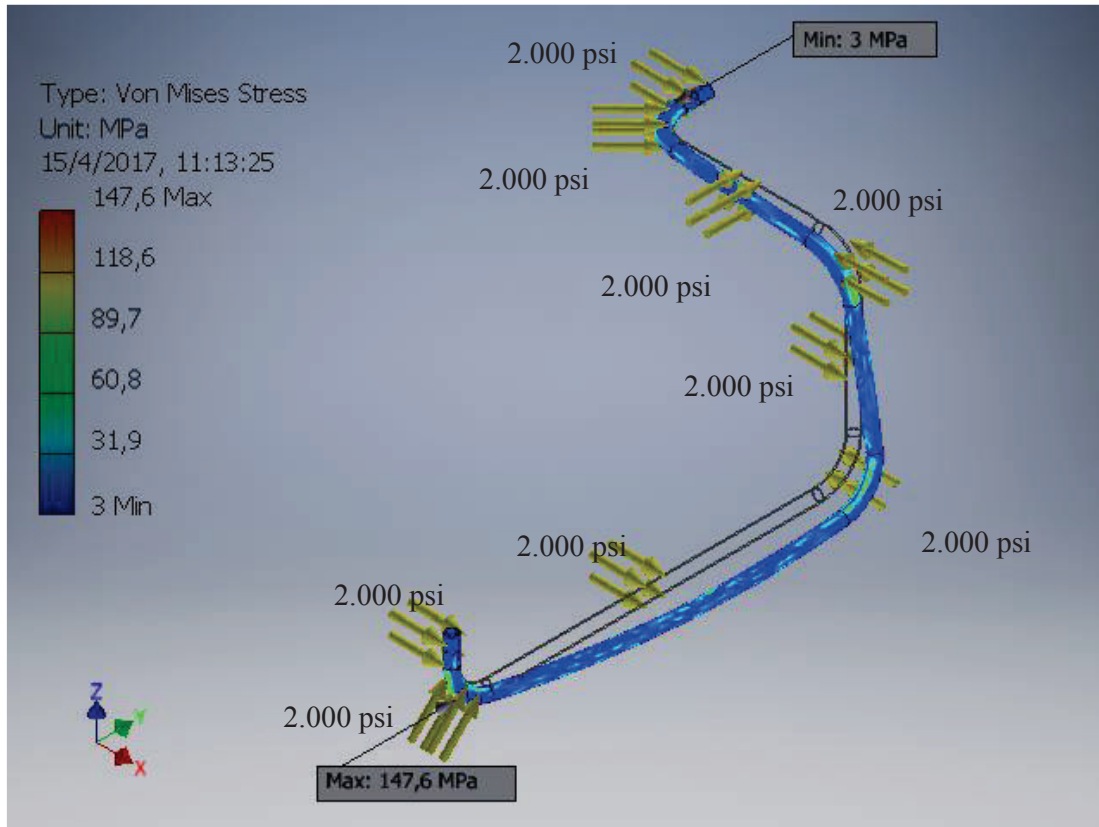


Figura 2.22. Análisis de esfuerzos tubería ½ in
(Fuente: Propia, 2.016)

Como se puede observar en la figura 2.22., se tiene restricciones en los extremos de la tubería simulando que se encuentra conectado a los accesorios o bombas. Se ha considerado únicamente una presión interna de 2.000 psi (13.78 MPa) simulando la presión máxima del agua.

De acuerdo figura 2.22. se tiene un esfuerzo mínimo de 3 MPa (435,11 psi) y un factor de seguridad de 0.56, el máximo esfuerzo es de 147,6 MPa (21.407,57 psi) y un factor de seguridad de 15. Los valores obtenidos son menores al esfuerzo de fluencia del material de 206,84 MPa (30.000 psi). El software Autodesk Inventor indica que el factor de seguridad es 15 igual al factor de seguridad teórico.

Tubing de alta presión (30.000 psi)

El tubing de alta presión es usado para transportar el agua con presión desde las bombas hacia los controles y el elemento a ser ensayado, sus paredes son más gruesas, para este tipo de aplicación el tubing debe ser roscado y colocado un ferrul que ayudará a realizar

una presión con el accesorio que se vaya a conectar. En el mercado se puede encontrar tubería en aleaciones 304 y 316, para el banco de pruebas hidrostáticas se implementará un tubing de acero inoxidable 316.

Tubing

Catalog Number	Connection	O.D.	I.D.	MAWP
60-083-316-SOG	1/4" H/P	0.250" (6.4)	0.083" (2.1)	30,000 PSI 2070 bar
60-125-316-SOG	3/8" H/P	0.375" (9.5)	0.125" (3.2)	30,000 PSI 2070 bar
60-188-316-SOG	9/16" H/P	0.562" (14.3)	0.188" (4.8)	30,000 PSI 2070 bar

BuTech ofrece una selección completa de tubos de acero inoxidable recosido sin fisuras austenítico para la aplicación de alta presión donde la gran fuerza y corrosión resistente se desean. Tubos están disponible en 20-24 pulgadas de largo standard (6-7 metros), sin embargo, medidas más largas están disponibles bajo pedido.

Todos los tubos son 316 de acero inoxidable, recosido en conjunto con NACE MR0175/ISO 15156.

Figura 2.23. Diámetro tubing alta presión
(Fuente: Catalogo Swagelok)

Para la selección del tubing se debe considerar las condiciones de operación en las cuales van a trabajar. Para el tubing de 1/4 e 3/8 in van a trabajar con agua a una presión máxima de 30.000 psi.

En la figura 2.23. se tienen diferentes diámetros de tubing con los cuales podemos trabajar, se trabajará con 3/8 y 1/4 in ya que son los diámetros de conexión de las bombas y accesorios del equipo.

Para ordenar los bloques con radio extra, especifique un número de catálogo de la siguiente tabla:

Tubo O.D.	Número de catalogo	Radio de curvatura	Longitud de tubo mínimo
1/4"	PH-2043	1.25" (31.75)	8.00" (203.2)
3/8"	PH-2044	1.75" (44.5)	8.00" (203.2)
9/16"	PH-2045	2.62 (66.5)	14.00" (355.6)

Para doblados de 90°

Tamaño de la protección: 22" x 9.50" x 9.75"
(559 mm x 241 mm x 248 mm)

Figura 2.24. Herramientas especiales
(Fuente: Catalogo BuTech)

El doblado de la tubería se recomienda realizarlo con una herramienta especial de doblado de tubing. Si el doblado se lo realiza de forma artesanal se corre el peligro de reducir el área de traslado del agua a presión. En la figura 2.24., puede observar la herramienta usada con los distintos diámetros de tubería.

En la tabla 2.38., se encuentra detallado la tubería a usar con las presiones de trabajo que determina el fabricante.

Tabla 2.38. Tubing a ser usado H.P.

Tubing Diam. Exterior	Espesor de la pared [in]	Código	Presión de trabajo [PSI]
¼ HP	0,167	60-083-316	30.000
¾ HP	0,250	60-125-316	30.000

(Fuente: Propia, 2.016)

Comprobación del tubing seleccionado H.P.

En la comprobación del tubing de alta presión se determinará el diámetro mínimo a la presión de trabajo. Para este análisis se tiene que considerar el material, el tubing a usar está fabricado en acero inoxidable 316 con un esfuerzo a la fluencia de 30.000 psi y la tolerancia a la corrosión del acero inoxidable es 0,5 mm o 0,02 in (ASTM A312/A312M, 2016).

El tubing de ¾ e ¼ in trabajara con agua a una presión máxima de 30.000 psi.

Tubing diámetro exterior ¼ in HP

La tubería de ¼ in de un material de acero inoxidable 316 trabajará a una presión máxima de 30.000 PSI, usando la ecuación 1.3. se determinará el espesor mínimo de la tubería.

$$e_{min} = \frac{0,25 - 0}{2} \left(1 - e^{\frac{-30.000}{30.000}} \right) = 0,079 \text{ in} < 0,167 \text{ in}$$

En conclusión, el tubing seleccionado es superior a los cálculos realizados, por lo que cuenta con un factor de seguridad del 2,11.

Tubing diámetro externo $\frac{3}{8}$ in HP

La tubería de $\frac{3}{8}$ in de un material de acero inoxidable 316 trabajará a una presión máxima de 30.000 PSI, usando la ecuación 1.3. se determinará el espesor mínimo de la tubería.

$$e_{min} = \frac{0,375 - 0}{2} \left(1 - e^{\frac{-30.000}{30.000}} \right) = 0,116 \text{ in} < 0,250 \text{ in}$$

En conclusión, el tubing seleccionado es superior a los cálculos realizados, por lo que cuenta con un factor de seguridad del 2,15.

Verificación del tubing de alta presión mediante inventor

Las cargas son aplicadas en el interior de la tubería y las restricciones en los extremos de la tubería, son las siguientes:

- Una presión interna con magnitud igual a la presión en la que va a trabajar a lo largo de la tubería.
- Se han colocado dos restricciones en las caras de los extremos de la tubería simulando que estas se encuentran conectadas y no están libres.

Tubing diámetro exterior $\frac{1}{4}$ in HP

Para la siguiente simulación se ha considerado una tubería con mayor cantidad de curvas con la finalidad de encontrar esfuerzos en los doblados.

Como se puede observar en la figura 2.25., se tiene restricciones en los extremos de la tubería simulando que se encuentra conectado a los accesorios o bombas. Se ha considerado únicamente una presión interna de 30.000 psi (206,80 MPa) simulando la presión máxima del agua.

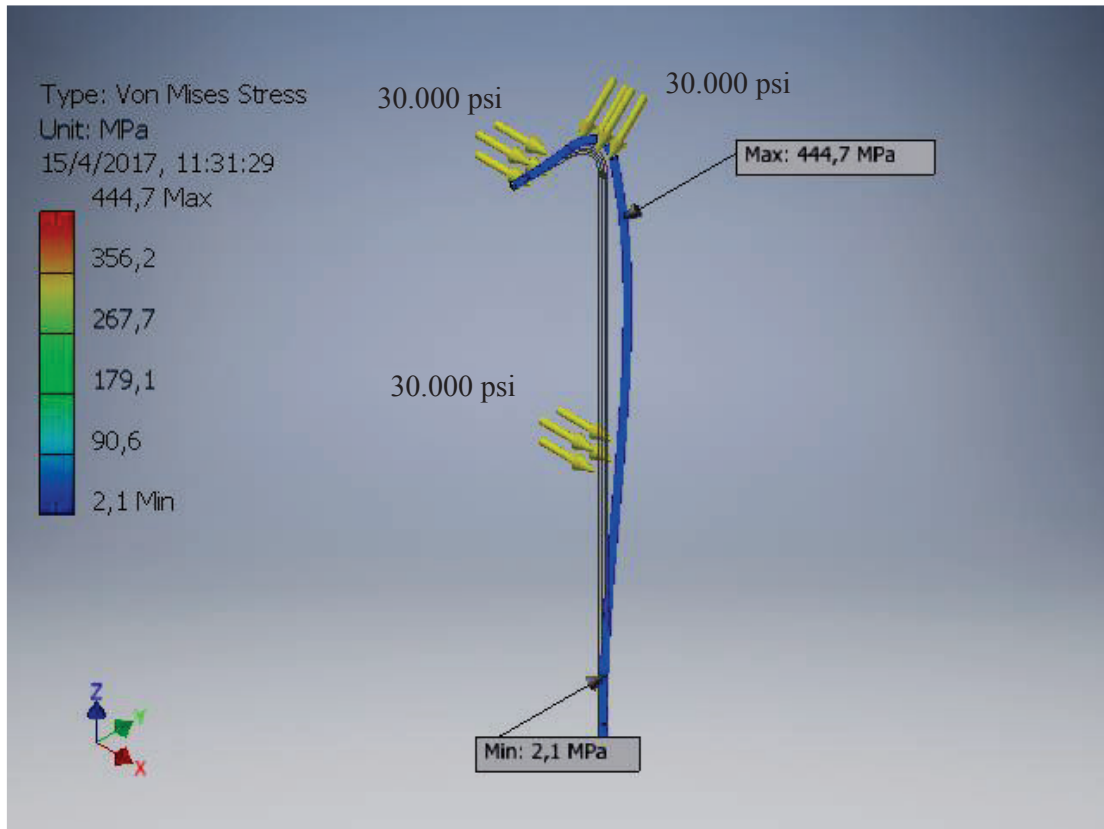


Figura 2.25. Análisis de esfuerzos tubería ¼ in HP.
(Fuente: Propia, 2.016)

De acuerdo figura 2.25., se tiene un esfuerzo mínimo de 2,1 MPa (304,58 psi) y un factor de seguridad de 15, el máximo esfuerzo es 404,7 MPa (58.696,77 psi) y un factor de seguridad de 15, el valor mínimo y el esfuerzo admisible es menor que el esfuerzo de fluencia del material de 206,84 MPa (30.000 psi). El software Autodesk Inventor indica que el factor de seguridad es 15, mientras que el factor de seguridad teórico es 1.

Tubing diámetro externo 3/8 in HP

Para la siguiente simulación se ha considerado una tubería con mayor cantidad de curvas con la finalidad de encontrar esfuerzos en los doblados.

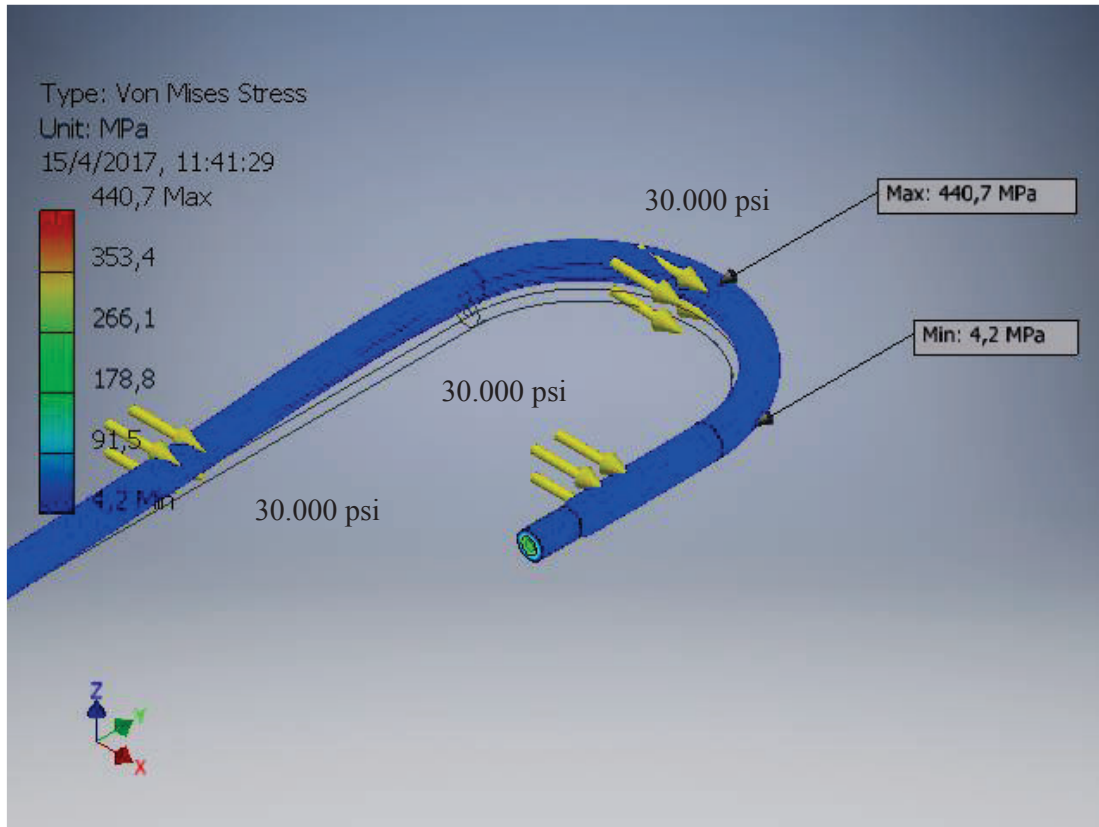


Figura 2.26. Análisis de esfuerzos tubería 3/8 in
(Fuente: Propia, 2.016)

Como se puede observar en la figura 2.26., se tiene restricciones en los extremos de la tubería simulando que se encuentra conectado a los accesorios o bombas. Se ha considerado únicamente una presión interna de 30.000 psi (206,80 MPa) simulando la presión máxima del agua.

De acuerdo figura 2.26., se tiene un esfuerzo mínimo de 4,2 MPa (609,15 psi) y un factor de seguridad de 0.56, el máximo esfuerzo es 440,7 MPa (63.918,13 psi) y un factor de seguridad de 15, el valor mínimo y el esfuerzo admisible es menor que el esfuerzo de fluencia del material de 206,84 MPa (30.000 psi). El software Autodesk Inventor indica que el factor de seguridad es 15, mientras que el factor de seguridad teórico es de 1.

Estructura del equipo

La estructura del equipo está conformada por perfiles cuadrados su material es de acero inoxidable 316 con la finalidad de proteger al equipo de cualquier corrosión.

Con la lista de materiales del sistema obtenido a través del modelado, se ha podido tener un peso promedio de sus accesorios.

En la tabla 2.39., se presenta los pesos promedio de cada accesorio.

Tabla 2.39. Peso de los accesorios, manómetro, válvulas

CANT.	DESCRIPCIÓN	NÚMERO DE PARTE	PESO UNITARIO (KG)	PESO TOTAL (KG)
ACCESORIOS, VÁLVULAS				
2	TEE 1/2" FNPT	IFT-8N	0,30	0,60
6	CONECTOR 1/2" TUBE x 1/2" MNPT	SMC-8-8N	0,30	1,80
3	CONECTOR 1/4" TUBE x 1/4" FNPT	SFC-4-4N	0,20	0,60
4	BALL VALVE 1/2"	8D-9050222NBS	0,40	1,60
4	NIPPLE 1/2" MNPT x 1" LARGO	ICN-8N	0,30	1,20
11	CODO 1/2" TUBE x 1/2" MNPT	SME-8-8N	0,30	3,30
1	CRUS 1-2 IN FNPT	IFC-8N	0,40	0,40
1	BUSHING 1/2" MNPT x 1/4" FNPT	IRHB-8N-4N	0,15	0,15
2	CODO 1/4" TUBE x 1/4" MNPT	SME-4-4N	0,15	0,30
1	21R DIAL REGULADOR DE PRESION 160-PSI	R21-04-000	1,00	1,00
1	BuTech NEEDLE VAVLE 1/4" HP FEMALE (Válvula de Aguja de Alta Presión)	60UV41V	1,00	1,00
1	BuTech TEE 1/4 HP FEMALE	60T4	0,50	0,50
1	FILTRO COALESCENDOR	07F32A	1,00	1,00
1	CONNECTOR 1/2" TUBE x 1/2" FNPT	SFC-8-8N	0,30	0,30
2	CONECTOR 1/2" MNPT x 1/2 Autogiro	48F-8-8	0,30	0,60
1	CONNECTOR 1/2" TUBE x 1" MNPT	SMC-8-16N	0,30	0,30
2	BuTech Adaptador 1/4 HP Male x 3/8 HP Female	60A4H6H	0,30	0,60
1	BuTech Tee 3/8 HP Female	60T6	1,10	1,10
1	CODO 1/2" TUBE x 1/2" FNPT	SFE-8-8N	0,30	0,30
1	CODO 1/4" TUBE x 1/2" FNPT	SME-4-8N	0,30	0,30
BOMBAS				
1	Bomba Haskel ASF-B15	ASF-B15	10,00	10,00
1	Bomba Haskel DHF-302	DHF-302	13,00	13,00
MANÓMETRO				
3	Manómetro Analógico 0 - 200 PSI, DIAL 2-3 IN, 1/4" NPT	MOD. 2005	1,00	3,00
1	MANOMETRO ANALOGICO 30.000 PSI, DIAL 7 IN, 1/4" HP FEMALE	30AGB	5,00	5,00
TUBING ALTA PRESIÓN				
0,8	TUBING 1/4" X 0.167" HP X L = 6000 MM	60-083-316	1,36	1,09

Tabla 2.39. Peso de los accesorios, manómetro, válvulas (Continuación)

CANT.	DESCRIPCIÓN	NÚMERO DE PARTE	PESO UNITARIO (KG)	PESO TOTAL (KG)
0,5	TUBING 3/8" X 0.250" HP X L = 6000 MM	60-125-316	3,03	1,52
TUBING BAJA PRESIÓN				
0,8	TUBING 1/4" X 0.049" X L = 6000 MM	SS-T4-S-049-20	1,00	0,80
0,8	TUBING 1/2" X 0.049" X L = 100 MM, SS-T8-S-049-20	SS-T8-S-049-20	2,10	1,68
PLANCHA ACERO INOXIDABLE				
1	PLATINA ACERO INOXIDABLE 1-1/2X1/8 (40 mm x 3 mm) x L=544,000 mm, SS-316		0,53	0,53
1	PLATINA ACERO INOXIDABLE 1-1/2X1/8 (40 mm x 3 mm) x L=444,000 mm, SS-316		0,43	0,43
1	Placa Acero Inoxidable 500 mm x 600 mm, SS-316		10,77	10,77
TANQUE				
1	TANQUE ACERO INOXIDABLE 500 mm x 250 mm x 150 mm		7,00	7,00
			TOTAL	82,08

(Fuente: Propia, 2.016)

El peso total de todos los accesorios, válvulas y manómetros que conforman el equipo es de 82,08 kg, la finalidad de la estructura es mantener rígidos todos los elementos.

Los perfiles verticales van a tender a pandearse y los perfiles horizontales van a tender a flexionarse, estas deformaciones deben ser mínimas.

Verificación de esfuerzos mediante inventor

Las cargas son aplicadas en la parte superior de la estructura y las restricciones se las realiza en las partes que tienen contacto con la superficie, estas son:

- La presión sobre la superficie de la estructura es de 82,08 kg \approx 82 kg, esto equivale al peso de las bombas, accesorios.
- Se han colocado cuatro apoyos simulando las llantas y una persona soportando la carga del equipo, los cuales tienen restricciones de traslación en x, y, z y de rotación en z.

En la figura 2.27. se describe una deformación máxima de 2,18 mm en la viga horizontal de soporte con una carga distribuida en su superficie. De acuerdo al American Institute of Steel Construction (AISC) establece que la deflexión de esta viga simplemente apoyada sometida a la carga viva debe ser menor a la longitud de la viga para 360.

$$\frac{\Delta}{l} \leq \frac{1}{360} \quad (\text{EC. 2.4.})$$

En nuestro caso la viga más crítica tiene una longitud de 600 mm y por medio del análisis de inventar tenemos una deformación de 0,12 mm.

Al implementar la fórmula 2.4. tenemos:

$$\frac{0,12}{600} \leq \frac{1}{360}$$
$$0,0003 \leq 0.0027$$

Al cumplir con la condición el valor teórico es menor, por lo tanto, la deformación es despreciable.

Se han considerado las cargas de los accesorios, bombas y cargas muertas, en el caso de las cargas de los accesorios han sido aplicadas a la superficie debida a que se usa una placa como soporte para los accesorios. La carga de los accesorios es de 0.245 N/mm a lo largo de la viga de 600 mm mientras la carga en la viga de 500 mm es de 0,295 N/mm. Adicional se ha considerado una carga muerta sobre la superficie debido que el operador podría apoyarse, para este caso se ha usado una fuerza de 750 N. La carga se ha distribuido sobre las vigas, en la viga de 600 mm se tiene una carga de 0,312 N/mm y en la viga de 500 mm se tiene una carga de 0,375 N/mm.

Las bombas se encuentran instaladas una viga de 600 mm, la fuerza de las dos bombas es de 230 N. Las cargas se han distribuido sobre las dos vigas teniendo 0.190 N/mm en cada una de ellas.

En la figura 2.27., el esfuerzo máximo es de 15,8 MPa (2.277,09 psi) y está presente en los extremos 1 y 2. La estructura está construido con acero inoxidable 304 y un esfuerzo a la fluencia del material de 30.000 psi (206,80 MPa), comparando con el esfuerzo del análisis este es menor (ASTM A312/A312M, 2016).

El factor de seguridad de la estructura es de 15,27.

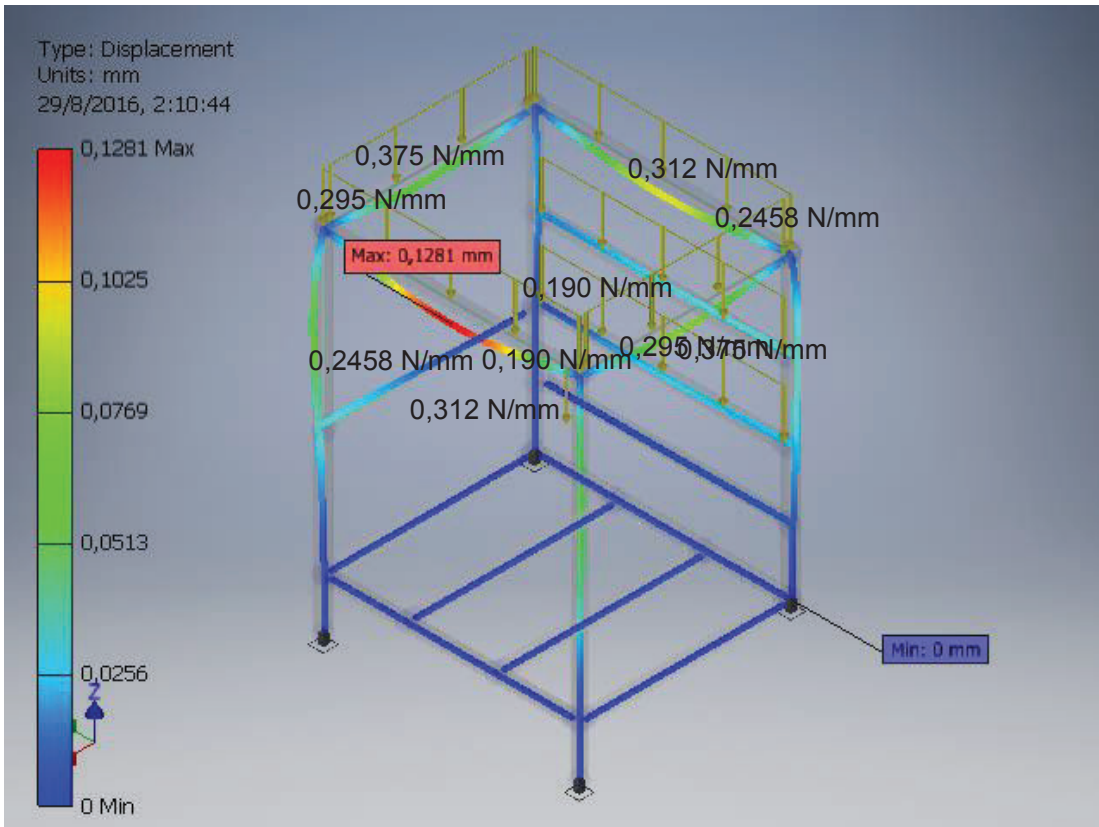


Figura 2.27. Resultado de deformaciones
 (Fuente: Propia, 2.016)

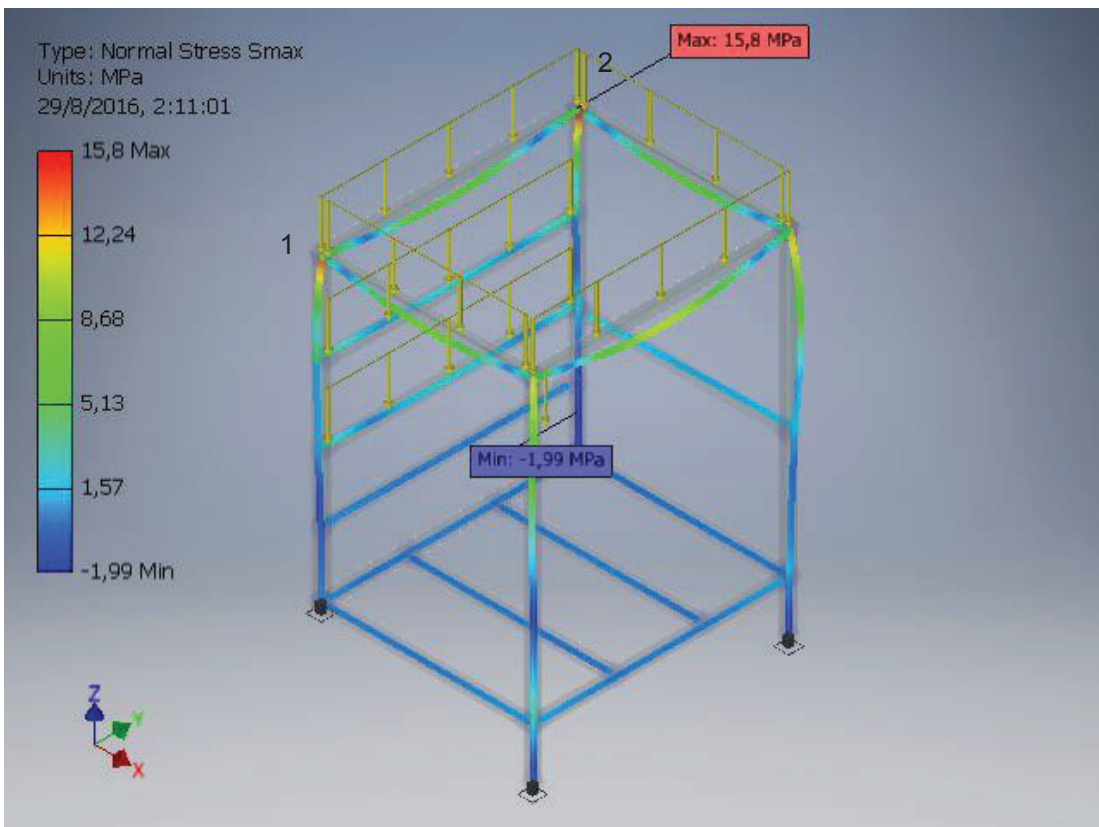


Figura 2.28. Resultado de esfuerzos
 (Fuente: Propia, 2.016)

Manguera de 30.000 psi

Con la finalidad de realizar pruebas hidrostáticas a elementos de gran tamaño es necesario contar con una manguera flexible que trabaje a 30.000 psi con una longitud mínima de 20 m. La presión a la salida del banco de pruebas hidrostáticas disminuirá debido a las pérdidas en los accesorios, por esta razón la bomba elevadora puede alcanzar una presión de 35.000 psi con la finalidad de solventar las pérdidas.

En el mercado se tiene varios proveedores de mangueras y para el proyecto se ha usado la marca Jetstream, la manguera seleccionada tiene una presión de trabajo continuo de 31.320 psi, por lo que se tiene un factor de seguridad de 1,04.

En el anexo II se tiene un detalle de la manguera como referencia con mayores datos técnicos.

Llantas para el transporte

Para el desplazamiento de la estructura se van a usar ruedas Rotantes, estas permiten subir por escaleras, bordillos sin ningún problema. Cuando se está usando las dos llantas la tercera está en el aire, cuando sube una escalera la tercera llanta hace contacto con la superficie para facilitar el desplazamiento.


180 Kg.


SE
Rotantes modelo SE

Ø
160 mm.

ESCALA BORDILLOS Y ESCALERAS

- Conjunto compuesto de tres ruedas con núcleo de Plástico y bandaje de Goma PG de ø160 mm.
- Soporte triangular fijo SEF con cojinete de rodillos (ø20mm.x55mm.) para montar directamente sobre el eje de la carretilla.
- La anchura total del soporte y tornillos: 70mm.
- Así que una de las ruedas encuentra un obstáculo (como un bordillo o un escalón) el soporte gira sobre su centro y presenta la siguiente rueda en lo alto del obstáculo, permitiendo así continuar fácilmente el desplazamiento.





Rotante fijo		Ruedas que se montan (mm.¿)					Kg
Código	Referencia	A	B	C	Material	Cojinete	
40-190	SEF 160 PG	160	40	20,3	Plástico-goma	≡	180

Figura 2.29. Llantas rotantes

En la figura 2.29. se tiene una opción de llantas para instalarla al banco de pruebas hidrostáticas. El máximo peso que va a soportar las llantas es 130 N.

Verificación de reacciones en las llantas mediante inventor

Las cargas son aplicadas en la parte superior de la estructura y las restricciones se las realiza en las partes que tienen contacto con la superficie, estas son:

- La presión sobre la superficie de la estructura es de 82,08 kg \approx 82 kg, esto equivale al peso de las bombas, accesorios.
- La estructura se le ha dado una inclinación de 45° con la finalidad que toda la carga se distribuya a las llantas. Se han colocado cuatro restricciones las cuales 2 están en las llantas y las otras 2 simulan a una persona cargando en equipo.

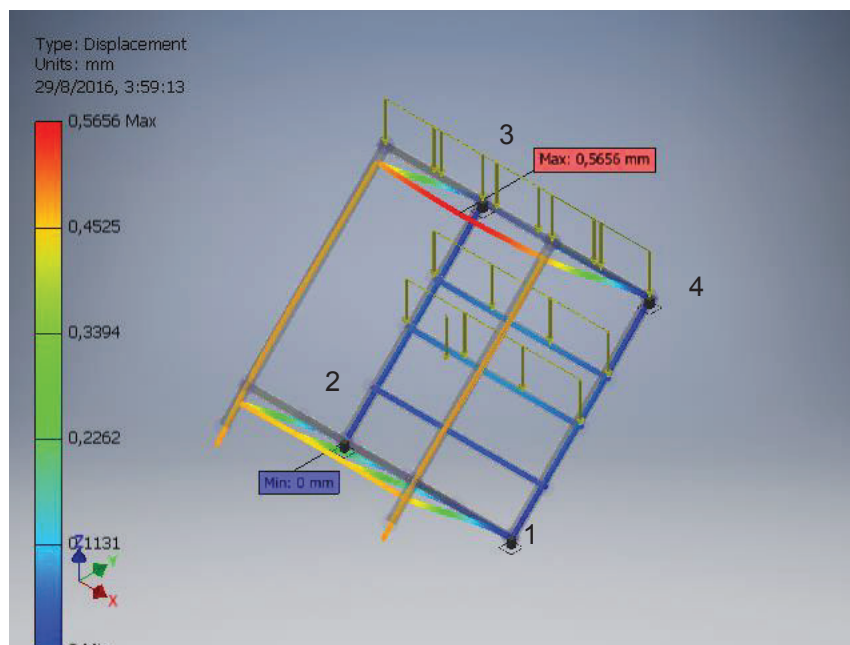


Figura 2.30. Cargas ejercidas a 45° de inclinación
(Fuente: Propia, 2.016)

En la figura 2.30., la estructura se encuentra inclinada a 45°, los soportes 1 y 2 representan a las llantas del banco de pruebas hidrostáticas mientras que los soportes 3 y 4 representan a una persona cargan el equipo. Las llantas están diseñadas para soportar un peso máximo de 1.800 N, de acuerdo a la tabla 2.40. las llantas soportan una carga de 213.58 N.

Tabla 2. 40. Reacciones de la superficie de contacto

Nombre del contacto	Fuerza de reacción	
	Magnitud	Componente (Fx, Fy, Fz)
Reacción: 2	213,58 N	0,583 N
		38,077 N
		210,162 N
Reacción: 4	625,07 N	14,145 N
		-38,077 N
		623,752 N
Reacción: 1	213,58 N	-0,583 N
		38,077 N
		210,162 N
Reacción: 3	625,07 N	-14,145 N
		-38,077 N
		623,752 N

(Fuente: Propia, 2.016)

Simulación del banco de prueba hidrostática por medio de Automation Studio

El banco de pruebas hidrostáticas está formado por 4 módulos descritos en la sección anterior, para la simulación describiremos el comportamiento del módulo 3 que corresponden a las bombas neumáticas. Las bombas neumáticas actúan de forma neumática e hidráulica por lo cual para la simulación se los desarrollara por separado.

La sección de la bomba neumática desplaza un pistón de aire permitiendo desplazar al este pistón hidráulico quien succionara y descargara el agua que ingrese a la cámara hidráulica. La sección hidráulica incrementara la presión a su descarga, este incremento está relacionado con el radio de la bomba.

Simulación neumática

En la figura 2.31., se ilustra un pistón que simulara el pistón de aire que se encuentra dentro de la bomba, el pistón de aire está directamente relacionado con la presión y caudal de ingreso. Los actuadores neumáticos que se encuentran dentro del recuadro simulan a las válvulas internas de la bomba.

La fuente de alimentación del banco de pruebas hidrostáticas es 150 psi, el aire comprimido proviene de un compresor. Antes de ingresar al banco de pruebas hidrostáticas se ha

implementado un filtro de aire con el propósito de retirar las partículas húmedas y partículas sólidas.

Para controlar la velocidad del pistón de la bomba 1 se usa una válvula de bola, adicional se colocar un manómetro para poder controlar la presión que ingresa a la bomba 1. Para controlar la velocidad de la bomba 2 se usa un dial ya que es un instrumento de mayor precisión, adicional se coloca un manómetro con el propósito de controlar la presión que ingresa a la bomba 2.

Al momento de encender el equipo la válvula de bola y el dial también se encuentran cerrados. Se abre suavemente la válvula de bola para que el pistón se desplace lentamente, en la figura 2.32., de detalla el comportamiento del pistón 1 y 2.

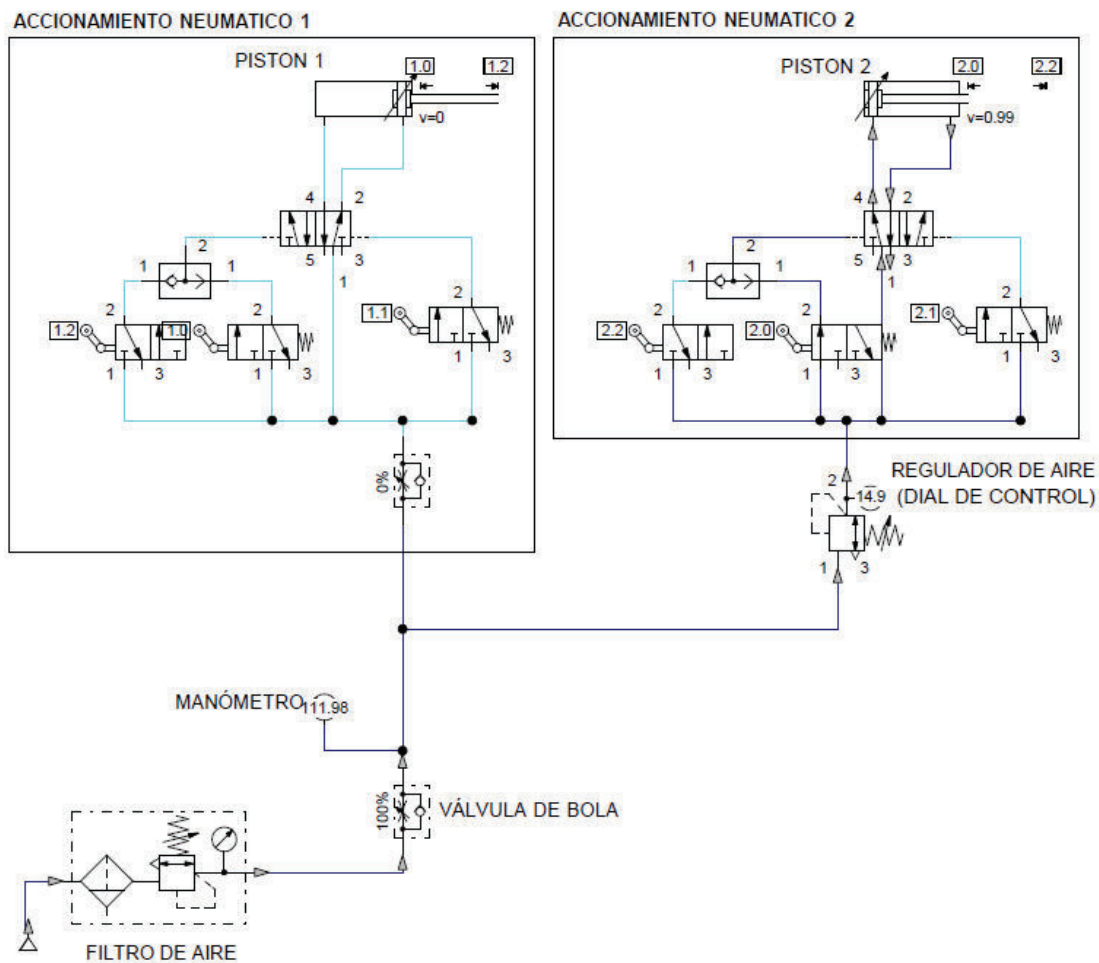


Figura 2.31. Simulación accionamiento neumático

El pistón 2 permanece detenido hasta que la válvula de bola se abre totalmente, el pistón 1 se detendrá automáticamente cuando la presión hidráulica sea la misma que la presión neumática con la ayuda del pistón 2 se incrementará la presión. El pistón 2 es accionado por un dial, este instrumento es de precisión con la finalidad de accionar la bomba suavemente, mientras que el pistón 1 permanece detenido.

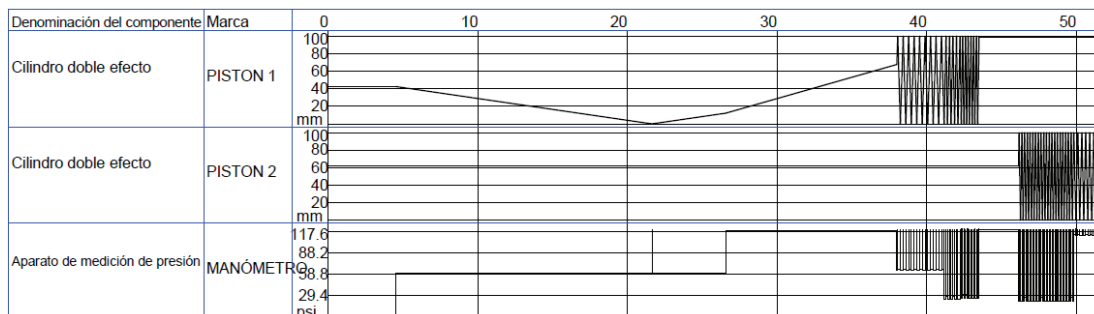


Figura 2.32. Comportamiento de los pistones

Simulación accionamiento hidrostática

En la figura 2.33., se ilustran dos bombas hidráulicas manuales correspondiente al comportamiento de la sección hidráulica las bombas. El accionamiento manual de la bomba de la figura 2.33., sería efectuado por el pistón de aire de la bomba. Las bombas cuentan con dos válvulas check una en el ingreso y otra en la descarga, el manómetro en el recuadro de las bombas es únicamente ilustrativo para la simulación.

Entre la descarga de la segunda bomba y el punto de conexión con el elemento ensayado se ha instalado una válvula de aguja que ayudara a despresurizar el elemento ensayado con precaución para no dañar el elemento ensayado. En el ingreso de las bombas se ha instalado una válvula de bola como medida de seguridad en el ingreso de fluido.

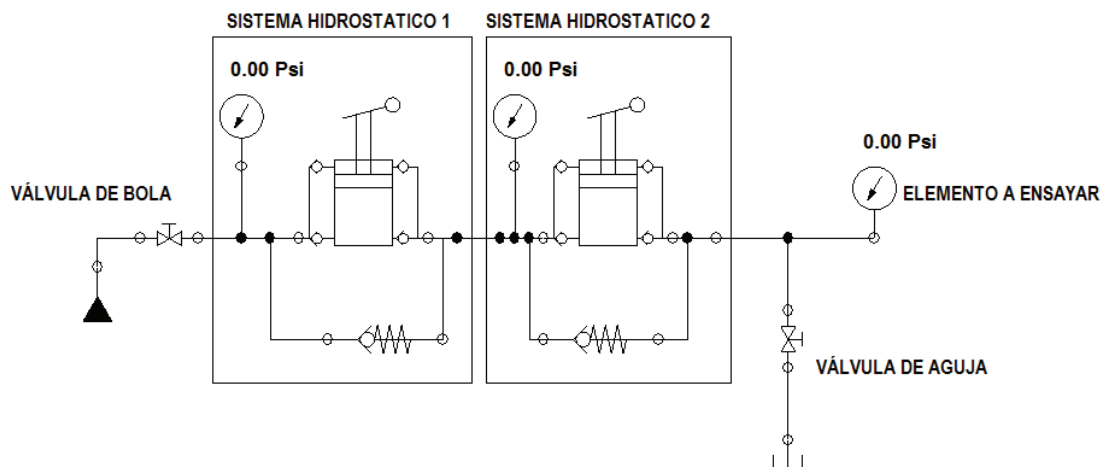


Figura 2.33. Simulación accionamiento hidrostático

Como elemento a ensayar se ha usado un manómetro el cual simulará un elemento y determinará la presión a la cual se encuentra.

Con el sistema hidrostático 1 se requiere alcanzar una presión de 2.000 psi presión máxima de la bomba. En la figura 2.34., se ilustra el comportamiento de la bomba y de los manómetros. Una vez alcanzada la presión de 2.000 psi la bomba se detendrá automáticamente.

El manómetro del sistema hidrostático 1 ilustra una presión negativa esto se debe a que la bomba se detuvo e indicaría que en la tubería se produjo un vacío, esta presión es un error del programa ya que es imposible tener un vacío, esta sección el agua está ingresando por gravedad a la bomba.

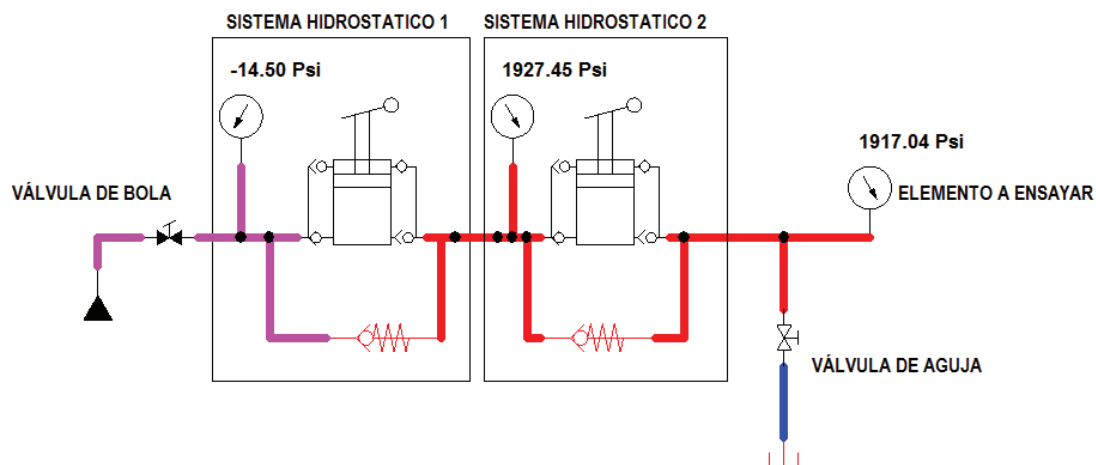


Figura 2.34. Sistema hidrostático 1

Con el sistema hidrostático 2 se requiere alcanzar una presión de 15.000 psi presión de ensayo. En la figura 2.35., se ilustra el comportamiento de la bomba y de los manómetros. Una vez alcanzada la presión de 15.000 psi la bomba se detendrá automáticamente, esto se puede controlar con el dial instalado en el accionamiento de la bomba. El uso del dial es una relación de la bomba con respecto a la presión de ingreso de aire.

El manómetro del sistema hidrostático 1 ilustra una presión de 5.000 psi esto se debe a que la bomba se detuvo e indicaría que la tubería está con presión, esta presión es un error del programa ya que es imposible tener una alta presión, en esta sección el agua está ingresando por gravedad a la bomba.

El manómetro del sistema hidrostático 2 ilustra una presión de 11.000 psi esto se debe a que la bomba se detuvo e indicaría que la tubería esta con presión, esta presión es un error del programa ya que es imposible tener una alta presión, en esta sección el agua está ingresando a la presión del sistema hidrostática 1 máximo se puede tener 2.000 psi.

Las bombas fueron instaladas en serie con la finalidad la bomba 1 sea de llenado y la bomba 2 sea de presión.

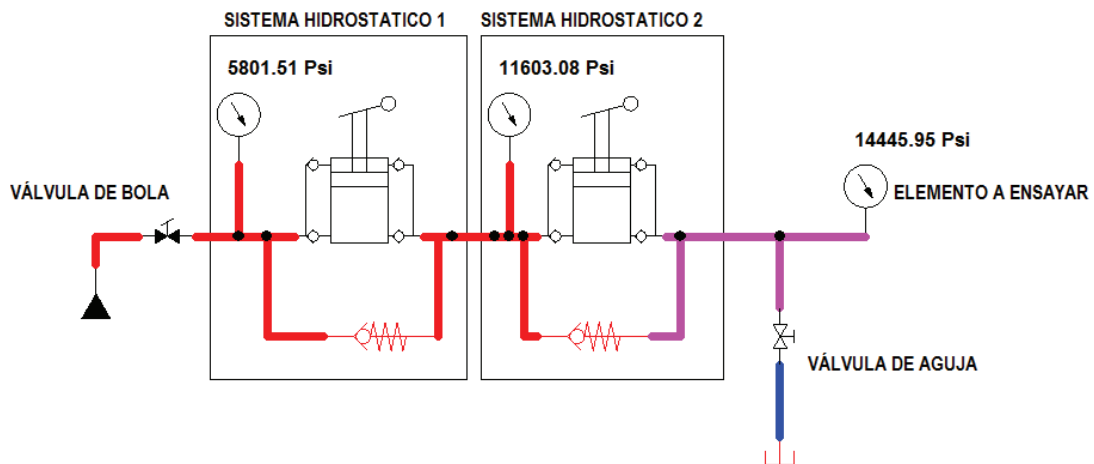


Figura 2.35. Sistema hidrostático 2

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la presente sección se especifican los resultados de cada equipo requerido en el bando de pruebas hidrostáticas.

3.1. Especificaciones de diseño

Una vez determinado el diseño conceptual se le puede dar forma usando manuales y catálogos afines al equipo que se desea obtener.

Módulo 1: Traslado del equipo

El equipo de pruebas hidrostáticas contará con ruedas con la finalidad de facilitar el traslado del equipo por un operador. Las llantas estarán instaladas en sus extremos soportadas sobre un eje, las llantas deben garantizar y soportar la carga del equipo para poder desplazarle por superficies discontinuas.

Módulo 2: Sellado del elemento

De acuerdo al análisis realizado la conexión del elemento a ser ensayado con el equipo de pruebas hidrostáticas se lo realizará por medio de un accionamiento manual con acople rápido. Este dispositivo permitirá conectarse rápidamente sin la necesidad de usar un equipo externo para presurizar los elementos ensayados.

El accionamiento de acople rápido debe cumplir ciertas condiciones de operación del equipo de pruebas hidrostáticas. La presión de trabajo del acople rápido debe ser la presión de operación del equipo.

Módulo 3: Carga y descarga de agua

La principal función de este módulo es el llenado con agua del elemento hasta sacar todo el aire que se encuentre en su interior, después se eleva la presión hasta alcanzar la presión requerida. Una vez que se realice la inspección y se mantenga la presión por un determinado tiempo, se realiza la descarga del agua.

En este sistema es necesario seleccionar una bomba neumática, válvulas de control, mangueras, un tanque de agua e instrumentos de medición. Se debe seleccionar un sistema de control de presión con un amplio rango de presión, para poder trabajar con diferentes elementos y así alcanzar la presión deseada sin ningún problema.

Para el llenado de agua en el elemento se requiere usar una bomba con un alto caudal, esto afectará a la presión de la bomba. Es necesario utilizar una bomba adicional para alcanzar la presión deseada, esta tendrá la característica de tener un bajo caudal pero alta presión.

Una vez terminada la prueba se requiere utilizar una válvula de despresurización, que permita sacar toda el agua del interior del elemento de prueba, lo óptimo es recuperar toda el agua ocupada para no desperdiciarla en el ensayo.

Módulo 4: Estructura del equipo

La estructura ayudará a tener rigidez en los elementos internos del banco de pruebas hidrostáticas, como resultado en el análisis de este módulo la mejor opción es tener una estructura vertical.

Bombas neumáticas

En la tabla 3.1., se especifican los datos de las bombas obtenidos después de un análisis de acuerdo a las especificaciones técnicas.

Tabla 3.1. Bombas neumáticas

	Bomba 1	Bomba 2
Modelo	ASF-15	HSF-225
Presión de aire (psi)	125	139
Presión de descarga (psi)	2.000	30.000
Caudal aire requerido (scfm)	45	76
Ciclos/min	86	129
Radio de conversión	15	225
Potencia (HP)	1.5	1.5

(Fuente: Propia, 2.016)

Bomba 1

El modelo de bomba ASF-15 (ASF-B15) cuenta con un pistón que realiza 86 ciclos/min, se ha seleccionado el de menor ciclo con la finalidad de aumentar la vida útil de trabajo y disminuir el trabajo del pistón para alcanzar la presión deseada. El consumo de aire para el accionamiento de la bomba es de 45 scfm y una presión de accionamiento de 125 psi, con estas condiciones de trabajo se puede alcanzar fácilmente una presión de 2.000 PSI y 240 cc in/min a su descarga.

Bomba 2

El modelo de bomba HSF-225 cuenta con un pistón que realiza 129 ciclos/min. El consumo de aire para el accionamiento de la bomba es de 75 scfm y una presión de accionamiento de 130 psi, con estas condiciones de trabajo se puede alcanzar fácilmente una presión de 30.000 PSI y 24 cc in/min a su descarga.

Filtro de aire

En la tabla 3.2., se especifican los datos del filtro de aire requerido para trabajar bajo las condiciones de las especificaciones técnicas.

Tabla 3.2. Filtro de aire

	Filtro de aire
Modelo	07F32A
Presión máxima (psi)	150
Caudal de aire (scfm)	25 - 75
Tipo de rosca	NPT
Conexión	1/2"
Elemento filtrante	40 micrones

(Fuente: Propia, 2.016)

El modelo es el 07F32A, las pérdidas de presión en estos rangos a trabajar no son mayor a 1,5 PSI. En el anexo V se puede revisar las características del filtro.

Regulador de aire

En la tabla 3.3., se especifican los datos del regulador de aire requerido para trabajar bajo las condiciones de las especificaciones técnicas.

Tabla 3.3. Regulador de aire

	Filtro de aire
Modelo	R21-04-000
Presión máxima (psi)	150
Caudal de aire (scfm)	25 - 75
Tipo de rosca	NPT
Conexión	1/2"

(Fuente: Propia, 2.016)

El modelo es el R21-04-000, como opción a este tipo de DIAL de control se lo puede colocar un manómetro el cual ayudará a controlar la presión en la cual estamos trabajando.

En el anexo VI se puede revisar las características generales del DIAL.

Accesorios, válvulas y manómetros

Para la selección de los accesorios se ha tomado como referencia el modelado realizado en Inventor, en la figura 3.1., se puede visualizar la estructura.

Los accesorios han sido considerados para distintas presiones de trabajo.

Tabla 3.4. Lista de accesorios, válvulas y manómetros

CANT.	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	NÚMERO DE PARTE	MARCA REFERENCIAL
ACCESORIOS, VÁLVULAS				
2	TEE 1/2" FNPT	316 SS	IFT-8N	SUPERLOK
6	CONECTOR 1/2" TUBE x 1/2" MNPT	316 SS	SMC-8-8N	SUPERLOK
3	CONECTOR 1/4" TUBE x 1/4" FNPT	316 SS	SFC-4-4N	SUPERLOK
4	BALL VALVE 1/2"	ASTM-A351 GR CF8M	8D-9050222NBS	AOP
4	NIPPLE 1/2" MNPT x 1" LARGO	316 SS	ICN-8N	SUPERLOK
11	CODO 1/2" TUBE x 1/2" MNPT	316 SS	SME-8-8N	SUPERLOK
1	CRUS 1-2 IN FNPT	316 SS	IFC-8N	SUPERLOK
1	BUSHING 1/2" MNPT x 1/4" FNPT	316 SS	IRHB-8N-4N	SUPERLOK

Tabla 3.4. Lista de accesorios, válvulas y manómetros (Continuación)

CANT.	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	NÚMERO DE PARTE	MARCA REFERENCIAL
2	CODO 1/4" TUBE x 1/4" MNPT	316 SS	SME-4-4N	SUPERLOK
1	BuTech NEEDLE VAVLE 1/4" HP FEMALE (Válvula de Aguja de Alta Presión)	316 SS	60UV41V	BuTech
1	BuTech TEE 1/4 HP FEMALE	316 SS	60T4	BuTech
1	CONNECTOR 1/2" TUBE x 1/2" FNPT	316 SS	SFC-8-8N	SUPERLOK
2	CONECTOR 1/2" MNPT x 1/2 Autogiro	316 SS	48F-8-8	PARKER
1	CONNECTOR 1/2" TUBE x 1" MNPT	316 SS	SMC-8-16N	SUPERLOK
2	BuTech Adaptador 1/4 HP Male x 3/8 HP Female	316 SS	60A4H6H	BuTech
1	BuTech Tee 3/8 HP Female	316 SS	60T6	BuTech
1	CODO 1/2" TUBE x 1/2" FNPT	316 SS	SFE-8-8N	SUPERLOK
1	CODO 1/4" TUBE x 1/2" FNPT	316 SS	SME-4-8N	SUPERLOK

MANÓMETRO				
3	Manómetro Analógico 0 - 200 PSI, DIAL 2-3 IN, 1/4" NPT	316 SS	MOD. 2005	DEWIT
1	MANOMETRO ANALOGICO 30.000 PSI, DIAL 7 IN, 1/4" HP FEMALE	316 SS	30AGB	BuTech

(Fuente: Propia, 2.016)

En el anexo VII se puede revisar las características técnicas de cada accesorio, válvula y manómetros usados como referencia.

En la tabla 3.4., se detalla todos los accesorios, válvula y manómetros necesarios para el bando de pruebas hidrostáticas.

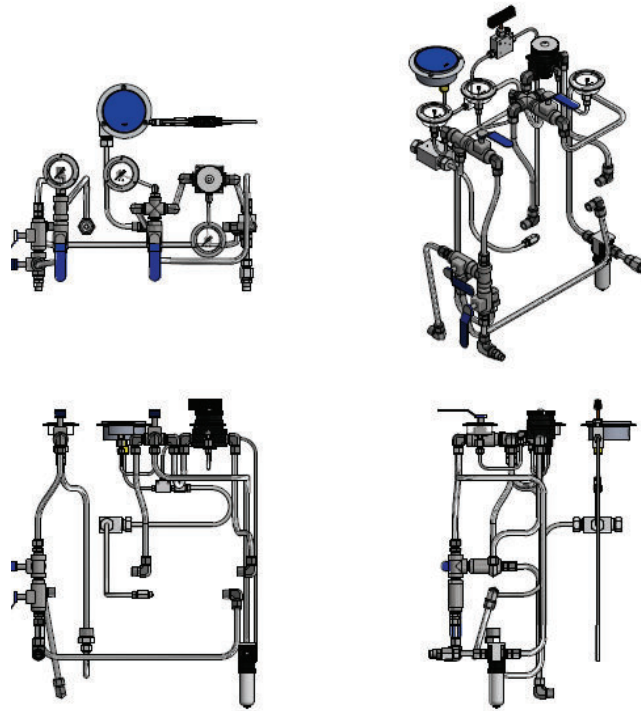


Figura 3.1. Modelado de accesorios, válvulas y manómetros
(Fuente: Propia, 2.016)

Tubería

Tubería de baja presión (150 – 2.000 psi)

En la tabla 3.5., se especifican los datos de la tubería para trabajar en un rango de presión de 14.7 – 2.000 psi.

Tabla 3.5. Tubería de baja presión

Diámetro Externo	Modelo	Espesor (in)	Análisis espesor (in)		Presión de trabajo (psi)	Factor de seguridad
			Analítico	Software		
1/4"	SS-T4-S-0,49-20	0,490	0,008	0,490	150	6,12
3/8"	SS-T8-S-0,49-20	0,490	0,016	0,490	2.000	3,06
Material		Acero Inoxidable 304				
Esfuerzo de fluencia		30.000 psi (206,84 MPa)				

(Fuente: Propia, 2.016)

El espesor de la tubería tiene un buen factor de seguridad, la presión de trabajo es inferior a la presión de diseño de la tubería. Dentro del mercado existen tubos con menos espesor, pero comercialmente son más complicados de conseguir por lo cual el modelo descrito en la tabla 3.5., es el modelo más comercial.

Tubería de alta presión (30.000 psi)

En la tabla 3.6., se especifican los datos de la tubería para trabajar en un rango de presión de 14.7 – 2.000 psi.

Tabla 3.6. Tubería de baja presión

Diámetro Externo	Modelo	Espesor (in)	Análisis espesor (in)		Presión de trabajo (psi)	Factor de seguridad
			Análítico	Software		
1/4"	60-083-316	0,167	0,079	0,167	30.000	2,11
3/8"	60-125-316	0,250	0,116	0,250	30.000	2,15
Material		Acero Inoxidable 316				
Esfuerzo de fluencia		30.000 psi (206,84 MPa)				

(Fuente: Propia, 2.016)

El espesor de la tubería tiene un buen factor de seguridad, la presión de trabajo es inferior a la presión de diseño de la tubería. Dentro del mercado existen tubos con menos espesor, pero comercialmente son más complicados de conseguir por lo cual el modelo descrito en la tabla 3.6., es el modelo más comercial

Estructura del equipo

En la tabla 3.7., se especifican los datos del perfil del tubo cuadrado de la estructura.

Tabla 3.7. Tubo cuadrado

Perfil	Cuadrado
Dimensiones (mm)	25 x 25
Espesor (mm)	2
Material	Acero Inoxidable 304
Esfuerzo de fluencia	30.000 psi (206,84 MPa)

(Fuente: Propia, 2.016)

Los perfiles cuadrados son de acero inoxidable, el perfil más largo es de 600 mm con el peso este se puede pandear. Dentro del análisis realizado el pandeo es despreciable para la rigidez de la estructura.

3.2. Evaluación de costo del prototipo fabricado en Ecuador

La presente sección se elabora una evaluación de los costos que involucran realizar un prototipo del banco de pruebas hidrostáticas en el Ecuador con un rango de presión hasta 30.000 psi.

Costo de materiales

Para el desarrollo de los costos de materiales, se han desarrollado de acuerdo a los módulos descritos en esta sección anteriormente.

Módulo 1: Posicionamiento del equipo

El diseño y selección de los elementos a usar para el posicionamiento del banco de pruebas hidrostáticas se encuentra en la sección anterior, la descripción de los elementos a usar son los siguientes:

Código	Especificaciones	Proveedor	Cant.	Unid.	Valor Unitario (USD)	Valor Total (USD)
SEF 160 PG	Escala Bordillos y Escaleras	Ruedas y garruchas Industriales	2	EA	\$25,39	\$50,78
					Total	\$50,78

Tabla 3.8. Costo módulo 1: Posicionamiento del elemento

Código	Especificaciones	Proveedor	Cant.	Unid.	Valor Unitario (USD)	Valor Total (USD)
SEF 160 PG	Escala Bordillos y Escaleras	Ruedas y garruchas Industriales	2	EA	\$25,39	\$50,78
					Total	\$50,78

(Fuente: Propia, 2.016)

Las ruedas son un elemento fundamental para el transporte y maniobrabilidad del banco de pruebas hidrostáticas, están diseñadas para cargar 180 kg cada rueda.

Módulo 2: Sellado del elemento

Para realizar las pruebas hidrostáticas en el elemento a ser ensayado este debe tener un punto de conexión, el cual se conectará por medio de una manguera de alta presión, la descripción de los elementos a usar son los siguientes:

Tabla 3.9. Módulo 2: Sellado del elemento

Código	Especificaciones	Proveedor	Cant.	Unid.	Valor Unitario (USD)	Valor Total (USD)
	Manguera	N/A	20	Metros	\$1.162,07	\$1.162,07
10A6P6H	Adapter, Male 3/8" NPT x Female 3/8" HP	Danielcom	1	EA	\$142,72	\$142,72
10A8P6H	Adapter, Male 1/2" NPT x Female 3/8" HP	Danielcom	1	EA	\$137,61	\$137,61
10A12P6H	Adapter, Male 3/4" NPT x Female 3/8" HP	Danielcom	1	EA	\$231,88	\$231,88
10A16P6H	Adapter, Male 1" NPT x Female 3/8" HP	Danielcom	1	EA	\$266,40	\$266,40
					Total	\$1.940,68

(Fuente: Propia, 2.016)

La manguera de alta presión esta seleccionada para trabajar a 30.000 psi, la flexibilidad de la manguera permite tener distintos puntos de conexión de acuerdo al tamaño del elemento a ser ensayado.

Los adaptadores permiten conectar la manguera de alta presión a los elementos a ser ensayados, se tienen los siguientes diámetros para los distintos elementos 3/8, 1/2, 3/4 y 1 pulgada.

Módulo 3: Carga y descarga de agua

Para inyectar agua se han seleccionado varios componentes importantes, que actúan directa e indirectamente en la operación de las bombas. Para la inyección de agua su eje principal son las bombas de alta y de baja presión como se detallan en la sección anterior.

Tabla 3.10. Módulo 3: Carga y descarga de agua

Código	Especificaciones	Proveedor	Cant.	Unid.	Valor Unitario (USD)	Valor Total (USD)
ACCESORIOS, VÁLVULAS						
IFT-8N	TEE 1/2" FNPT	Danielcom	2	EA	\$63,68	\$127,36
SMC-8-8N	CONECTOR 1/2" TUBE x 1/2" MNPT	Danielcom	6	EA	\$42,27	\$253,62
SFC-4-4N	CONECTOR 1/4" TUBE x 1/4" FNPT	Danielcom	3	EA	\$29,06	\$87,18
8D-9050222NBS	BALL VALVE 1/2"	Danielcom	4	EA	\$65,00	\$260,00
ICN-8N	NIPPLE 1/2" MNPT x 1" LARGO	Danielcom	4	EA	\$30,04	\$120,16
SME-8-8N	CODO 1/2" TUBE x 1/2" MNPT	Danielcom	11	EA	\$54,94	\$604,34
IFC-8N	CRUS 1-2 IN FNPT	Danielcom	1	EA	\$80,09	\$80,09
IRHB-8N-4N	BUSHING 1/2" MNPT x 1/4" FNPT	Danielcom	1	EA	\$18,62	\$18,62
SME-4-4N	CODO 1/4" TUBE x 1/4" MNPT	Danielcom	2	EA	\$28,45	\$56,90
R21-04-000	21R DIAL REGULADOR DE PRESION 160-PSI	Surmaq	1	EA	\$97,10	\$97,10
60UV41V	BuTech NEEDLE VAVLE 1/4" HP FEMALE (Válvula de Aguja de Alta Presión)	Danielcom	1	EA	\$286,95	\$286,95
60T4	BuTech TEE 1/4 HP FEMALE	Danielcom	1	EA	\$159,98	\$159,98
07F32A	FILTRO HUMEDAD	Surmaq	1	EA	\$70,67	\$70,67
SFC-8-8N	CONNECTOR 1/2" TUBE x 1/2" FNPT	Danielcom	1	EA	\$47,89	\$47,89
48F-8-8	CONECTOR 1/2" MNPT x 1/2 Autogiro	Danielcom	2	EA	\$30,00	\$60,00
SMC-8-16N	CONNECTOR 1/2" TUBE x 1" MNPT	Danielcom	1	EA	\$54,45	\$54,45
60A4H6H	BuTech Adaptador 1/4 HP Male x 3/8 HP Female	Danielcom	2	EA	\$107,44	\$214,88
60T6	BuTech Tee 3/8 HP Female	Danielcom	1	EA	\$195,54	\$195,54
SFE-8-8N	CODO 1/2" TUBE x 1/2" FNPT	Danielcom	1	EA	\$61,95	\$61,95
SME-4-8N	CODO 1/4" TUBE x 1/2" FNPT	Danielcom	1	EA	\$49,00	\$49,00
BOMBAS						
ASF-B15	Bomba Haskel ASF-B15	Danielcom	1	EA	\$2.867,27	\$2.867,27

Tabla 3.10. Módulo 3: Carga y descarga de agua (Continuación)

Código	Especificaciones	Proveedor	Cant.	Unid.	Valor Unitario (USD)	Valor Total (USD)
DHF-302	Bomba Haskel DHF-302	Danielcom	1	EA	\$3.591,26	\$3.591,26
MANÓMETRO						
MOD. 2005	Manómetro Analógico 0 - 200 PSI, DIAL 2-3 IN, 1/4" NPT	Surmaq	3	EA	\$20,95	\$62,85
30AGB	MANOMETRO ANALOGICO 30.000 PSI, DIAL 7 IN, 1/4" HP FEMALE	Danielcom	1	EA	\$1.425,85	\$1.425,85
TUBING ALTA PRESIÓN						
60-083-316	TUBING 1/4" x 0.167" HP x L = 6000 mm	Danielcom	3	Metro	\$93,60	\$280,80
60-125-316	TUBING 3/8" x 0.250" HP x L = 6000 mm	Danielcom	2	Metro	\$192,95	\$289,43
TUBING BAJA PRESIÓN						
SS-T4-S-049-20	TUBING 1/4" x 0.049" x L = 6000 mm	Danielcom	2	Metro	\$135,00	\$270,00
SS-T8-S-049-20	TUBING 1/2" x 0.049" x L = 100 mm	Danielcom	3	Metro	\$245,00	\$735,00
TANQUE						
	TANQUE ACERO INOXIDABLE 500 mm x 250 mm x 150 mm	Danielcom	1	EA	\$250,00	\$250,00
TOTAL						\$12.679,14

(Fuente: Propia, 2.016)

El tanque de acero inoxidable puede ser opcional para el banco de pruebas hidrostáticas, este tanque no es principal para su funcionamiento. El tanque de acero inoxidable sirve para almacenamiento de agua, en el caso que no se tenga una fuente de agua disponible cerca del sitio de ensayos.

Con los tubos de acero inoxidable de alta y baja presión se debe tener mucho cuidado en su doblado y corte, existen herramientas especiales para este tipo de trabajo.

Módulo 4: Estructura del equipo

Con la finalidad de darle rigidez a los componentes del equipo de pruebas hidrostáticas se construye una estructura con tubo cuadrado de acuerdo al diseño descrito en la sección anterior, la descripción de los elementos a usar son los siguientes:

Tabla 3.11. Módulo 4: Estructura del equipo

Código	Especificaciones	Proveedor	Cant.	Unid.	Valor Unitario (USD)	Valor Total (USD)
TUBO CUADRADO						
	TUBO CUADRADO 1" x 1" x 2 mm, L = 6.000 m, AISI-304	Dipac	1	EA	\$35,84	\$35,84
PLANCHA ACERO INOXIDABLE						
	PLATINA ACERO INOXIDABLE 1-1/2X1/8 (40 mm x 3 mm) x L=544,000 mm, SS-316	Dipac	1	EA	\$20,00	\$20,00
	PLATINA ACERO INOXIDABLE 1-1/2X1/8 (40 mm x 3 mm) x L=444,000 mm, SS-316	Dipac	1	EA	\$20,00	\$20,00
	Placa Acero Inoxidable 500 mm x 600 mm x 2 mm, SS-316	Dipac	1	EA	\$45,00	\$45,00
TOTAL						\$120,84

(Fuente: Propia, 2.016)

Las platinas de acero se usarán con la finalidad de instalar los puntos de conexión de las mangueras de agua y aire para el funcionamiento del banco de pruebas hidrostáticas.

La función de la placa de acero inoxidable es para soportar las válvulas de control, manómetros y dial de presión.

Costo de fabricación

De acuerdo al diseño del equipo de pruebas hidrostáticas se ha cotizado el trabajo que se debe realizar, a continuación, se describe los trabajos que se deben realizar:

Tabla 3.12. Costo de fabricación

PIEZA	Operación	Tiempo aprox. [h]	Total horas	Costo	Sub total
Estructura	Sierra Manual	4	4	\$10,00	\$40,00
	Amolado, grateado	3	3	\$10,00	\$30,00
	Cizallado	2	2	\$5,00	\$10,00
	Sacabocado	5	5	\$10,00	\$50,00
	Soldadura y armado	6	6	\$20,00	\$120,00
Total Estructura					\$250,00
Armado de Bombas	Corte, doblado, roscado	6	6	\$10,00	\$60,00
	Armado	12	12	\$20,00	\$240,00
Total Armado de Bombas					\$300,00
				TOTAL	\$550,00

(Fuente: Propia, 2.016)

Costo de diseño

Para el costo de diseño se ha considerado el tiempo de investigación y en el modelado del equipo. Para valorar el tiempo invertido se ha considerado el 20% de la suma de los costos del módulo 1, 2, 3, 4 y fabricación. El diseño del banco de pruebas hidrostáticas tiene un valor de \$1.088,29 usd.

Costo de imprevistos

En el costo de imprevistos se ha considerado el 5% de la materia prima del proyecto, con esto se cubrirá cualquier imprevisto que se presente en la construcción del equipo de pruebas hidrostáticas.

Costo del proyecto

El costo total del proyecto esta detallada en la tabla 4.6, este costo no incluye IVA.

Tabla 3.13. Costos del prototipo

Costos	Valor (USD)
Módulo 1	\$50,78
Módulo 2	\$1.940,68
Módulo 3	\$12.679,14
Módulo 4	\$120,84
Fabricación	\$550,00
Diseño	\$1.088,29
Imprevistos	\$739,57
Costo Total del Equipo	\$17.169,29

(Fuente: Propia, 2.016)

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Se diseñó un banco de pruebas hidrostáticas hasta 30.000 psi para sistemas industriales cumpliendo con el requerimiento del usuario, con un costo total \$17.169,29 USD, considerando que un equipo de las mismas características en el exterior tiene un costo de \$21.000 USD. El diseño ha implementado elementos permitiendo al equipo desplazarse y maniobrar con facilidad, lo que ayuda a reducir los tiempos de ensayo de un equipo a otro.
- El banco de pruebas hidrostáticas cuenta con un rango de presión entre 14,7 – 30.000 psi y cumple con las normas ASME, ASTM, ANSI, ISO, NRF, facilitando realizar ensayos a distintos elementos hidráulicos de una forma rápida y segura. Al finalizar los ensayos una válvula de aguja permite despresurizar el elemento ensayado despacio sin dañarlo.
- El diseño permite conectar una manguera de alta presión directamente al elemento de análisis, lo que facilita realizar el ensayo a una distancia segura mínima de 3 m con la finalidad de resguardar la integridad del operador. Adicional es posible colocar un transductor de presión en la parte superior de elemento a ensayar con el cual por medio de un monitor se puede visualizar el comportamiento de la presión respecto al tiempo.
- El banco de pruebas hidrostáticas fue modelado en el software Autodesk Inventor, permitiendo modelar y realizar cambios en el mismo, para evitar gastos innecesarios en producción. Su modelado fue realizado cumpliendo con las especificaciones de la casa de la calidad que son: relación en dimensión y peso, y finalmente un desmontaje fácil de sus elementos para el respectivo mantenimiento.

Recomendaciones

- Para reutilizar el agua se debe colocar un filtro en la entrada del suministro de bomba con la finalidad de prolongar la vida útil de la misma.
- Antes de utilizar el equipo se debe capacitar al personal encargado, de esta manera se optimizan los recursos y se tecnifica la operación del sistema.
- Para realizar los ensayos se debe mantener una distancia de 3 metros del equipo, con la finalidad de salvaguardar la integridad del operador.
- Se recomienda revisar el equipo de pruebas hidrostáticas, antes de cada ensayo, para verificar que no existan fugas que alteren a los resultados en el ensayo.
- Para el óptimo funcionamiento del equipo, se debe respetar los planes de mantenimiento de las bombas y sus diferentes equipos.

Referencias Bibliográficas

- [1] Viejo, M. & Alvarez, J. (2005). Bombas teoría, diseño y aplicaciones. Tercera edición, México: Limusa noriega editores.
- [2] Cabrerizo, D. & Bozal, J. L. A. & Pérez, J. B. (2008). Física y Química 4 ESO. Editex editor.
- [3] Canales, M. & Hernandez, T. & Meraz, S. & Penalosa, I. (1999). Físico químico teoría. Volumen 1.
- [4] Escobar, L. A. (2003). Química General. Editorial ESPE.
- [5] Molada, L. D. (2006). Planchadores/as de Servicio Gallego de Salud (Ed. 1). Madrid: Editorial MAD.
- [6] Sánchez, J. A. (2013). Instrumentación y control avanzado de procesos. España: Ediciones Días de Santos.
- [7] Estructplan On Line. (28 de junio de 2013). Re: Aparatos sometidos a presión. Recuperado de: [http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/ entrega. Asp? IDEntrega =3134](http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.Asp?IDEntrega=3134)
- [8] Hewitt, PAG. (2004). Física conceptual (Ed. 9). Madrid: Editorial mexicana.
Zubicaray, M. (2004). Bombas teoría, diseño y aplicaciones. México: Editorial Limusa S.A.
- [9] Mott, R. L. (1996). Mecánica de fluidos aplicada. México: Editorial Pearson Educación.
- [10] Oakleigh Technical Software. (2002). Haskel_Liquid_Pumps [Version 2.04]. USA: Haskel.
- [11] Brejcha, M. F. (1978). Los cambios automáticos. México: Editorial reverté.
Diez, G. (2005). Diseño Estructural en Arquitectura. Argentina: Noboko.
- [12] ASME. (2006). ASME Code for Pressure Piping, B3. USA: Editorial: ASME International.
- [13] A312/A312M – 16. (2016). Standard Specification for Seamless, Welded, and Heavily Cold Worked Austenitic Stainless Steel Pipes1. Recuperado de: Escuela Politécnica Nacional.
- [14] Haskel. Catálogo de bombas de líquidos. (29 de agosto de 2016). Recuperado de: [http://www.haskel.com/wp-content/uploads/Haskel_Liquid_Pumps_Rapid ___Reference_Guide-1.pdf](http://www.haskel.com/wp-content/uploads/Haskel_Liquid_Pumps_Rapid___Reference_Guide-1.pdf)

- [15] Parker. Catálogo de filtros de aire. (29 de agosto del 2016). Recuperado de: <https://www.parker.com/literature/Mexico/Neumatica,%20Catalogo%20Rapido%20de%20Productos,%20MEX-NEU-CRPN.pdf>.
- [16] Parker. Catálogo de reguladores de presión. (29 de agosto del 2016). Recuperado de:
- [17] Superlok. Catálogo de accesorios. (29 de agosto del 2016). Recuperado de: http://www.stauff.com/fileadmin/Downloads/PDF/9910000143_Superlok_Twin_Ferrule_Compression_Fittings_08-2009_English_WEB.pdf.
- [18] Parker. Catálogo de accesorios. (29 de agosto del 2016). Recuperado de: http://www.parker.com/Literature/Tube%20Fittings%20Division/Pipe_Fittings_&_Port_Adapters.pdf.
- [19] BuTech. Catálogo de accesorios. (29 de agosto del 2016). Recuperado de: <http://www.haskel.com/wp-content/uploads/BuTech-TOC-09.pdf>.
- [20] Warren valve. Catálogo de válvulas. (29 de agosto del 2016). Recuperado de: <http://www.trevisa.com.mx/100+pdf/PDF2valvulas/Valvulas%20Warren.pdf>.
- [21] Dewit. Catálogo de manómetros. (29 de agosto del 2016). Recuperado de: http://www.dewit-mexico.com/pdf/manometros/2000_2005CB.pdf.
- [22] BuTech. Catálogo de manómetros. (29 de agosto del 2016). Recuperado de: <http://www.haskel.com/wp-content/uploads/BuTech-ACC-09.pdf>.
- [23] Swagelok. Catálogo de tubing. (29 de agosto del 2016). Recuperado de: <http://www.swagelok.com/downloads/webcatalogs/EN/MS-01-181.PDF>.
- [24] Swagelok. Catálogo de dobladoras. (29 de agosto del 2016). Recuperado de: <https://swagelok.com/downloads/WebCatalogs/ES/MS-01-179.pdf>.
- [25] BuTech. Catálogo de tubing. (29 de agosto del 2016). Recuperado de: <http://www.haskel.com/wp-content/uploads/BuTech-HP-09.pdf>.
- [26] Butech. Catálogo de dobladoras. (29 de agosto del 2016). Recuperado de: <http://www.haskel.com/wp-content/uploads/BuTech-Tools-09.pdf>.
- [27] Jetstream. Catálogo de mangueras. (29 de agosto del 2016). Recuperado de: <http://www.cmv.com.br/esp/pdf/Jetstream%20Company%20Overview%20-%20Spanish.Pdf>.

Anexos

ANEXO I

factor de incidencia	
●	9 fuerte
○	3 medio
▽	1 bajo

B	básico
○	unidimensional
E	estimulante

●	muy positiva
○	positiva
x	negativa
+	muy negativa

voz del usuario necesidades y usuarios	voz de ingeniero características técnicas	Evaluación usuarios																		
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	ponderación en %									
		propia empresa	competencia 1	competencia 2	objetivos	índice de mejora	factor de venta	importancia	ponderación	ponderación en %										
económico	○ ●	▽	○	●								2	3			1,5	1	5	7,5	9,9
rangos de presión	○ ●				●							3	2			1,3	1,5	5	10,0	13,2
compacto	E	○		○	▽							2	3			2,0	1,5	3	9,0	11,9
controlar remotamente	E	○		●								4	2			1,3	1,2	3	4,5	6,0
liviano	B		○		●	○						2	2			2,0	1,5	4	12,0	15,9
no se oxide	B	○			●							2	3			1,2	1,5	5	9,0	11,9
llenado rápido	○	○				●						3	3			1,3	1	3	4,0	5,3
repuestos fáciles de encontrar	○	○					●					5	2			1,0	1,5	4	6,0	7,9
no necesitan lubricación	B	○							○			4	3			1,3	1,2	3	4,5	6,0
no sea ruidoso	○								○	●		2	3			2,0	1	3	6,0	7,9
prueba tras otra sin pierden tiempo	○			○						○		4	3			0,8	1	4	3,0	4,0
																			75,5	100

propia empresa	2	3	2	4	2	2	3		4	2	4									
competencia 1	3	2	3	2			3	2	3											
competencia 2	3	3	3						3	4										
incidencia	139,5	102	70,5	72	135	193,5	126	54	31,5	54	9	987								
incidencia en %	14,1%	10,3%	7,1%	7,3%	13,7%	19,6%	12,8%	5,5%	3,2%	5,5%	0,9%	100%								

evaluación técnica	valores de referencia
	13,000 usd
	0 - 30,000 psi
	0,8 m x 0,6 m x 0,50 m
	semiautomático
	65 libras
	acero inoxidable
	0,3 litros/min
	existe distribución
	seco
	50 dB
	6 min

ANEXO II

HOSES AND LANCES

20,000 PSI



FLEX LANCES

Flex lances are uncovered hoses used for the cleaning of small diameter tubes such as those found in heat exchangers, condensers, and boilers.

- Flex lances have a small minimum bend radius which allows them to pass through bends in the tubes.
- Constructed of plastic core reinforced by four spiral layers of high tensile steel wire enclosed in a tough, flexible polyamide jacket.
- Smooth plastic core minimizes pressure loss and offers the maximum resistance to damage caused by aging, moisture absorption, and changing environmental factors.
- Stainless steel end fittings.
- See pages I-8–I-9 for pressure drop graphs.
- Custom lengths and end fitting combinations are available upon request.

PART NO.* XXX = LENGTH (ft)	END FITTING CONNECTIONS**		INSIDE DIAMETER		OUTSIDE DIAMETER***		MAX. OPERATING PRESSURE		MIN. BEND RADIUS	
	INLET SIDE	NOZZLE SIDE	in	mm	in	mm	psi	bar	in	mm
28690-XXX4052	3/4" Type M Female	9/16" MP Nozzle Nipple LH	.39	9.9	.72	18.4	21,750	1,500	7.8	198
53816-XXX4072	3/4" Type M Female	9/16" MP Nozzle Nipple LH	.32	8.0	.67	17.0	21,750	1,500	8.0	200
53816-XXX4075	3/4" Type M Female	9/16" MP Nozzle Nipple RH	.32	8.0	.67	17.0	21,750	1,500	8.0	200
53816-XXX4067	3/4" Type M Female	9/16" JS Lance Female	.32	8.0	.74	18.8	21,750	1,500	8.0	200
53816-XXX6767	3/4" JS Lance Female	9/16" JS Lance Female	.32	8.0	.74	18.8	21,750	1,500	8.0	200
51954-XXX3971	9/16" Type M Female	3/8" MP Nozzle Nipple LH	.25	6.3	.57	14.4	21,750	1,500	7.0	180
51954-XXX3974	9/16" Type M Female	3/8" MP Nozzle Nipple RH	.25	6.3	.57	14.4	21,750	1,500	7.0	180
51954-XXX3966	9/16" Type M Female	3/8" JS Lance Female	.25	6.3	.62	15.7	21,750	1,500	7.0	180
51954-XXX6666	3/8" JS Lance Female	3/8" JS Lance Female	.25	6.3	.62	15.7	21,750	1,500	7.0	180
51953-XXX3971	9/16" Type M Female	3/8" MP Nozzle Nipple LH	.20	5.0	.49	12.5	26,100	1,800	6.0	150
51953-XXX3974	9/16" Type M Female	3/8" MP Nozzle Nipple RH	.20	5.0	.49	12.5	26,100	1,800	6.0	150
51953-XXX3966	9/16" Type M Female	3/8" JS Lance Female	.20	5.0	.57	14.5	26,100	1,800	6.0	150
51953-XXX6666	3/8" JS Lance Female	3/8" JS Lance Female	.20	5.0	.57	14.5	26,100	1,800	6.0	150
51952-XXX3970	9/16" Type M Female	1/4" MP Nozzle Nipple LH	.16	4.0	.50	12.7	31,320	2,160	5.0	130
51952-XXX3979	9/16" Type M Female	1/4" MP Nozzle Nipple RH	.16	4.0	.50	12.7	31,320	2,160	5.0	130
51952-XXX3965	9/16" Type M Female	1/4" JS Lance Female	.16	4.0	.50	12.7	31,320	2,160	5.0	130
51952-XXX6565	1/4" JS Lance Female	1/4" JS Lance Female	.16	4.0	.50	12.7	31,320	2,160	5.0	130
28699-XXX3970	9/16" Type M Female	1/4" MP Nozzle Nipple LH	.13	3.4	.31	8.0	29,000	2,000	4.3	110
28699-XXX3973	9/16" Type M Female	1/4" MP Nozzle Nipple RH	.13	3.4	.31	8.0	29,000	2,000	4.3	110

*Specify flex lance length in feet. For example, specify "050" for a fifty foot long flex lance.

**See details on end fittings for these assemblies on page D-5 and specifications for all connection types beginning on page I-2.

***Outside diameter of end fitting sleeve on nozzle end of flex lance.

(Fuente: JETSTREAM, 2015, pág. D-3)

ANEXO III

Liquids Compatible with Maskel Pumps

To assist in easier pump selection, we have classified various popular liquids in groups and assigned to each group a service code. These service code numbers are featured in the chart to the right and are designated for each pump series. Seals and other wetted materials can be supplied to suit your preferred liquid. For advice, please contact our technical services personnel at 818-843-4000.

Services

Service Codes

- 1** Petroleum-based oils, kerosene, water with 5% soluble oil.
 - 2** Plain water, diesel fuel.
 - 3** Most phosphate ester-based fire-resistant hydraulic fluids, e.g. Pydraul, Lindol, Cellulube, Fyrquel, and Houghtosafe 1120 and petroleum-based solvents compatible with UHMWPE (Ultra-high Molecular Weight Polyethylene) dynamic seals and Viton static seals.
 - 4** Petroleum-based solvents, e.g. boron fuels, aromatic hydrocarbons (benzene, toluene, xylene, hylene, etc.); chlorinated solvents (trichlorethylene, carbon tetrachloride, chlorobenzene, etc.); mercaptans, Dowtherm A, fluorinated solvents (fluorobenzene, fluorochlorethylene, etc.); Dowtherm E, plus all of Group 3 and some mildly corrosive acids compatible with wetted materials. See note 5A for service with methyl-ethyl-ketone, methyl acetone, diacetone, alcohol and freon 22.
 - 5** Skydrol and Aerosafe hydraulic fluid; acetone and some alcohols (ethyl, methyl, and isopropyl).
- 5A.** Also suitable for these fluids if Viton static seals are replaced with EPR; specify modification number 51331 (no extra charge); e.g., 51331-MDTV-5. Most phosphate ester-based fluids solidify at approximately 30000 psi.
- 6** Deionized water; demineralized water.

Note: Dynamic seal life with non-lubricating fluids will understandably be less than with lubricating types.

Operating Temperatures

Drive Section

-4° (25°F) to +65°C (150°F) (low temperature seals are available for Arctic operation).

Liquid Section

For reasonable seal life, high temperature should be limited to 54° C (130° F), for F and W seal models, 135° C (275° F) for T and TV models (with distance piece).

hp	Model	Services						
		1	2	3	4	5	5A	6
.33	M	*						
	MS	*	*					
	MDTV	*		*			*	
	MDSTV	*	*	*	*		*	
	MCPV	*	*	*	*	*		
	Z5Z3	*	*	*		*		*
.75	4B -14 to -32	*						
	4B -55 to -150	*	*					
1.5 2 2.2	AW	*						
	ASF	*	*					
	DF	*		*			*	
	DSF	*	*	*			*	*
	HF	*						
	HSP	*	*					
	DHF	*						
	DSHF	*	*				*	*
	DSTV	*	*	*	*		*	
	ATV	*	*				*	
	DTV	*	*				*	
	DSTV-1.5	*	*	*	*		*	*
	AFD	*						
	DFD	*		*			*	
	ASFD	*	*					
DSFD	*	*	*			*	*	
DXHF	*					*	*	
DSXHF	*	*				*	*	
DSXHW	*	*				*	*	
3	ASFD	*	*					
6	GW	*						
	GSF	*	*					
	DGF	*		*			*	
	DGSF	*	*	*			*	*
	DGSTV	*	*	*	*		*	
	GWD	*						
	GSFD	*	*					
	DGFD	*		*			*	
	DGSFD	*	*	*	*		*	*
	DGSTVD	*	*	*	*		*	*
8	BFD	*						
	BSFD	*	*	*	*		*	
	EDFD	*						
	BDSFD	*	*					
	BDSSTVD	*	*	*	*		*	
	BHSFD	*	*	*	*		*	
10	D14STD-125	*	*	*	*		*	
	D14STD-315	*	*	*	*		*	
	D14SFD-125	*	*	*	*		*	*
	D14SFD-315	*	*	*	*		*	*

(Fuente: LIQUID PUMP, 2015, pág. 17)

ANEXO IV

Performance and Specification Overview

Max. Drive Drive Head HP	Pump Model Code	Nominal Ratio	Actual Ratio	Maximum Rated Output Pressure				Displacement/Cycle		Maximum Flow		
				Continuous		Intermittent		cu in	ml	cu in/min	l/min	
				psi	bar	psi	bar					
125 psi/8.6 bar Single 0.33hp	M, MDSTV	-5	5.6	625	43	625	43	0.83	13.9	506	8.30	
	M, MS	-7	7.8	900	62	900	62	0.90	9.8	366	6.00	
		-12	14	1500	103	1500	103	0.36	5.9	234	3.83	
		-21	25	2600	179	2600	179	0.20	3.5	130	2.13	
	M, MS, 25723	-36	41	4500	310	4500	310	0.12	2.0	76	1.26	
		-71	82	8800	607	8800	607	0.060	1.0	39	0.64	
		-110	126	13500	931	13500	931	0.039	0.6	25	0.42	
	M, MS	-188	217	15000	1034	15000	1034	0.023	0.4	18	0.29	
	MS	-220	257	20000	1380	25000	1723	0.021	0.344	14	0.22	
100 psi/7 bar Single 0.75 hp		-14	16	1500	103	1500	103	0.30	14.7	428	7.01	
		-21	24	2300	159	2300	159	0.60	9.8	285	4.67	
		-25	29	2700	186	2700	186	0.50	8.2	238	3.89	
		-30	34	3200	221	3200	221	0.43	7.0	204	3.35	
	4B	-37	42	3800	262	3800	262	0.35	5.7	166	2.72	
		-55	63	6000	414	6000	414	0.22	3.6	105	1.71	
		-75	86	7800	538	7800	538	0.17	2.8	81	1.32	
		-100	114	10600	731	10600	731	0.13	2.0	62	1.01	
		-150	171	15000	1034	15000	1034	0.088	1.44	42	0.68	
150 psi/10.5 bar Single 1.5 hp	DSTV	-1.5	1.6	120	8	160	11	31.90	513	5104	83.6	
	ATV, DTV	-4	80	690	49	1200	83	20.00	328	3200	52.4	
		-810	11.5	1600	110	1600	110	4.05	86.4	1215	19.9	
		-815	17	2400	165	2400	165	2.70	44.3	810	13.3	
	AW, ASE, DE, DSE, DSTV	-25	29	4000	276	4000	276	1.62	26.6	486	8.0	
		-35	40	5700	393	5700	393	1.16	19.0	348	5.7	
		-60	69	9800	676	9800	676	0.67	11.0	201	3.3	
		-100	115	15000	1034	16500	1138	0.41	6.7	123	2.0	
		-150	173	15000	1034	20000	1380	0.27	4.5	81	1.3	
		-151	173	25000	1724	25000	1724	0.27	4.5	81	1.3	
	-225	260	30000	2099	37000	2551	0.18	3.0	41	0.7		
	-300	345	30000	2099	50000	3448	0.14	2.3	32	0.5		
	-450	530	25000	1724	45000	3403	0.091	1.5	20	0.3		
150 psi/10.5 bar Double 2 hp		-822	23	3200	221	3200	221	4.05	86.4	1215	19.9	
	AW, ASE, DE, DSE, DSTV	-832	34	4800	331	4800	331	2.70	44.3	810	13.3	
		-52	57	5000	345	8000	552	1.62	26.6	486	8.0	
		-72	80	11000	758	11000	758	1.16	19.0	348	5.7	
		-122	138	15000	1034	19000	1310	0.67	11.0	201	3.3	
	HF, HSE, DHE, DSHF	-202	230	30000	2099	33000	2275	0.41	6.7	92	1.5	
		-302	345	30000	2099	50000	3448	0.27	4.5	61	1.0	
	DSHF, DSHF	-452	520	30000	2099	70000	4827	0.18	3.0	41	0.7	
		-602	690	30000	2099	75000	5171	0.14	2.3	32	0.5	
100 psi/7 bar Triple 2 hp	DSHF, DSHF	-685	780	30000	2099	70000	4827	0.18	3.0	25	0.41	
		-905	1038	30000	2099	75000	5171	0.14	2.3	20	0.33	
	DSXHW	-1375	1575	30000	2099	100000	6835	0.086	1.4	12	0.197	
150 psi/10.5 bar Single 3 hp	AFD, DFD, ASFD, DSFD	-860	89	6500	448	6500	448	1.34	2.2	389	6.0	
		-10	11.5	1600	110	1600	110	3.10	133	1223	23.9	
		-15	17	2400	165	2400	165	5.40	89	1215	19.9	
		-25	29	4000	276	4000	276	3.24	53.2	729	11.9	
	ASFD	-35	40	5700	393	5700	393	2.32	38.0	522	8.6	
		-60	69	9800	676	9800	676	1.34	22.0	302	4.9	
		-100	115	15000	1034	16500	1138	0.82	13.4	185	3.0	
		-150	173	15000	1034	20000	1380	0.54	9.0	122	2.0	
		-202	230	30000	2099	33000	2275	0.82	13.4	144	2.4	
125 psi/8.6 bar Single 6 hp	GWD, GSFD, DGSFD, DGSFTD, DGSFTD	-12	14.8	1850	128	4000	276	15.5	260	5009	82.1	
		-35	40.3	4375	302	4375	302	6.0	96	1890	31.0	
	GW, DGE, GSE, DGE, DGE, DSTV	-60	69	7500	517	7500	517	3.5	57	1103	18.1	
		-100	115	8000	552	10000	690	2.1	34	662	10.8	
	BSFD, BGSFD, BGSFTD	-25	27.5	3575	246	4000	276	14.0	225	2860	44	
	BSFD	-40	43.5	6000	414	6000	414	8.90	145	1891	28	
		-65	73	10000	690	10000	690	5.40	88	1026	17	
	BGSFD	-100	112	10000	690	10000	690	3.52	57.5	869	11	
	BHSFD	-225	250	22500	1530	22500	1530	1.56	25.5	296	5	
10 hp	D14STD, D14SFD	-125	136	16000	1103	16000	1103	3.30	144	714	11.5	
		-315	347	36000	2482	36000	2482	3.50	57.4	280	4.6	

(Fuente: HASKEL, 2015, pag.6)

ANEXO V

Catalog 0700P-E
Standard 07F Series

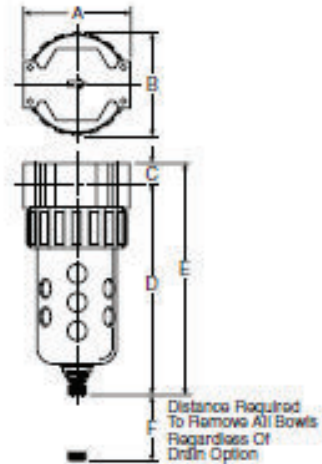
Prep-Air® II, 07F Series
1/2", 3/4" – Basic 1/2" Body

07F Filters – Standard



Features

- Excellent water removal efficiency.
- Unique deflector plate and shroud creates a swirling of the air stream ensuring maximum water and dirt separation.
- Large filter element surface guarantees low pressure drop and increased element life.
- Optional automatic float drain available.
- Shown with recommended metal bowl guard.
- High Flow: 1/2" – 130 SCFM[‡]
 3/4" – 145 SCFM[‡]



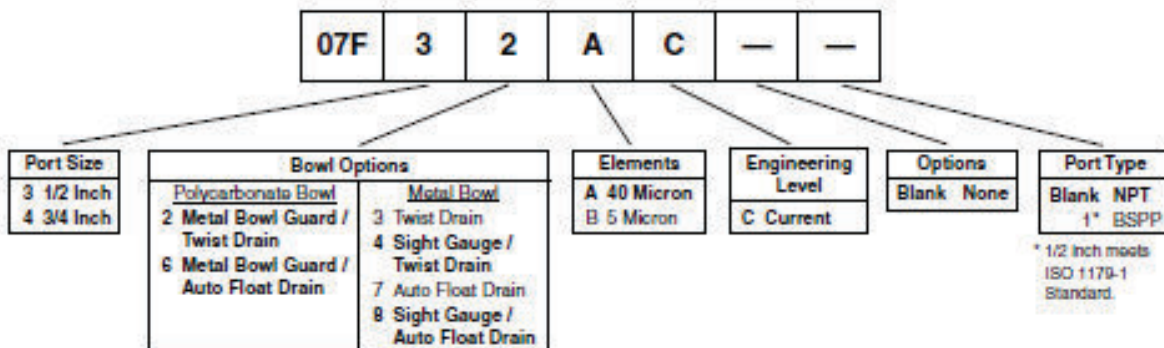
Port Size	NPT	
	Twist Drain	Automatic Float Drain
Poly Bowl† / Metal Guard		
1/2"	07F32AC	07F36AC
3/4"	07F42AC	07F46AC
Metal Bowl / Sight Gauge		
1/2"	07F34AC	07F38AC
3/4"	07F44AC	07F48AC

07F Filter Dimensions		
A 3.24 (82)	B 3.25 (83)	C .70 (18)
D 6.97 (177)	D† 7.00 (178)	E 7.67 (195)
E† 7.70 (196)	F 2.75 (70)	

Standard part numbers shown bold.
 For other models refer to ordering information below.
 † For polycarbonate bowl see Caution on page C2.
 ‡ SCFM – Standard cubic foot per minute at 90 psig inlet and 5 psig pressure drop.

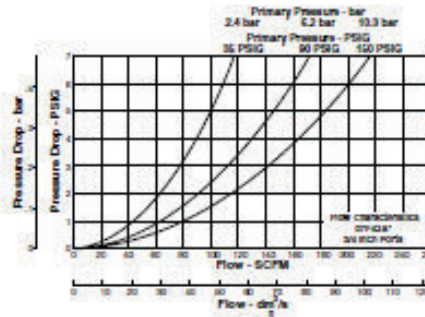
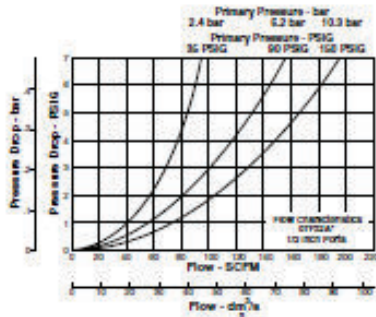
Inches (mm)
 † With Automatic Float Drain

Ordering Information



Technical Specifications – 07F

Technical Information



07F Filter Kits & Accessories

Bowl Guard Kit	PS805P
Bowl Kits -	
Poly Bowl -	
Automatic Float Drain	PS822P
Twist Drain	PS832P
Metal Bowl -	
Automatic Float Drain	PS826P
Twist Drain	PS834P
Sight Gauge / Automatic Drain	PS823P
Sight Gauge / Twist Drain	PS835P
DPI Replacement Kit	PS781P
Drain Kits -	
Automatic Float Drain	PS506P
Semi-Auto Drain	PS511P
Twist Drain	PS512P
Push 'N' Drain	PS513P
Filter Element Kits -	
40 Micron	PS801P
5 Micron	PS802P
Adsorbar	PS831P
Mounting Bracket Kit	PS843P
Sight Gauge Kit	PS914P

Specifications

Bowl Capacity	7.2 Ounces
Sump Capacity	2.8 Ounces
Port Threads	1/2, 3/4 Inch

Pressure & Temperature Ratings -

Without Differential Pressure Indicator:

Polycarbonate Bowl - 0 to 150 psig (0 to 10.3 bar)
32°F to 125°F (0°C to 52°C)

Metal Bowl - 0 to 250 psig (0 to 17.2 bar)
32°F to 175°F (0°C to 80°C)

With Differential Pressure Indicator: 0 to 150 psig (0 to 10.3 bar)
32°F to 125°F (0°C to 52°C)

Automatic Float Drain - 15 to 250 psig (1.0 to 17.2 bar)

Weight

2.2 lb. (1.0 kg)

Materials of Construction

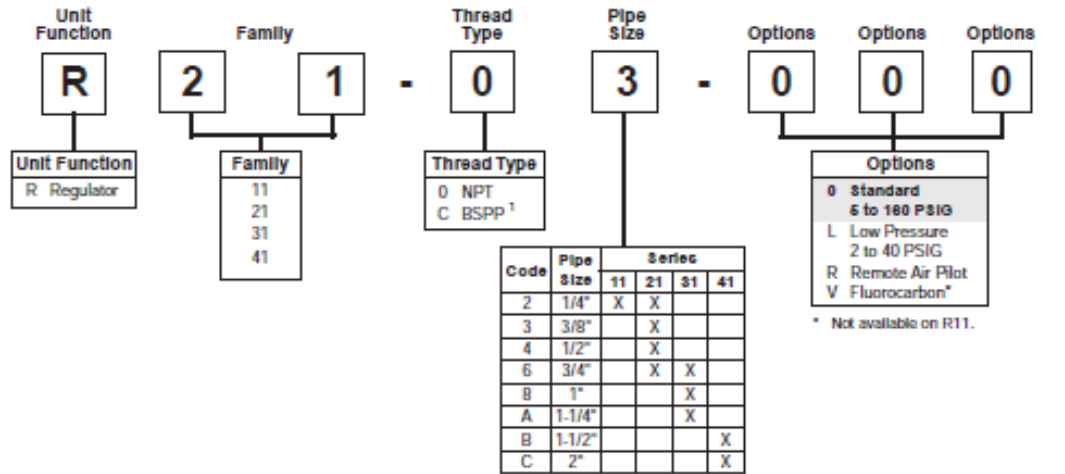
Body	Zinc
Bowls	Transparent Polycarbonate
	Metal (Zinc) With or Without Sight Gauge
Bowl Guards	Steel
Collar	Plastic or Metal
Deflector, Shroud & Baffle	Plastic
Drains -	
Twist Drain - Body & Nut	Plastic
Push 'N' Drain -	
Body	Nitrile
Stem	Brass
Automatic Float Drain -	
Housing, Float	Plastic
Seals	Nitrile
Springs, Push Rod	Stainless Steel
Filter Elements -	
40 Micron (Standard)	Plastic
5 Micron (Optional)	Plastic
Adsorbar (Optional)	Activated Charcoal
Seals	Nitrile
Sight Gauge	Polyamide

(Fuente: PARKER, 2013, pág. C20)

ANEXO VI

Dial-Air™ Regulator Numbering System

 = "Most Popular"



¹ ISO, R228 (G Series)

NOTE: Standard pressure adjustment is plastic "snap lock" knob and plastic bonnet with plastic panel mount nut.

NOTE: When selecting from the options columns, please enter letters in alphabetical order for positions 6, 7, and 8.
For example:

R21 - 0 3 - 0 0 0

(Fuente: PARKER, 2015, pág. B135)

Dial-Air™ Regulator

R21



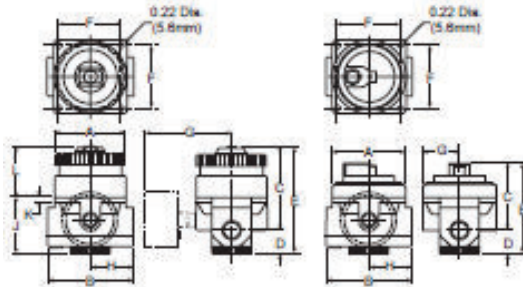
Relieving



R21-02-000

Features

- Balanced Valve Design
- Non-Rising Pressure Adjusting Dial
- High-Relief Flow (3/16" Relief Orifice)
- Two 1/4" NPT Gauge Ports, Usually Used for Additional Outlets
- Piston Operated



Remote Operated

NOTE: Panel mounting requires (2) 11/16" (59mm) diameter holes and (4) 7/32" (5.5mm) screw holes. Unit can be mounted on material up to 1-1/4" (32mm) thick.

Dimensions

Models	Inches (mm)	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L
Standard Unit R21-XX-000		2.60 (66)	3.19 (81)	3.14 (79.8)	.95 (24)	4.09 (104)	2.20 (55.9)	—	1.61 (41)	2.08 (52.8)	.18 (4.6)	2.07 (52.6)
With Gauge (order separately) R21-XX-XXX		2.60 (66)	3.19 (81)	3.14 (79.8)	.95 (24)	4.09 (104)	2.20 (55.9)	2.70 (68.5)	1.61 (41)	2.08 (52.8)	.18 (4.6)	2.07 (52.6)
Remote Operated R21-XX-R00		2.60 (66)	3.19 (81)	2.24 (56.9)	.95 (24)	3.19 (81)	2.20 (55.9)	1.33 (33.8)	1.61 (41)	2.08 (52.8)	.18 (4.6)	1.11 (28.2)

Specifications

Flow Capacity*	1/4	117 SCFM (55 dm ³ /s)
	3/8	180 SCFM (85 dm ³ /s)
	1/2	195 SCFM (92 dm ³ /s)
	3/4	220 SCFM (103 dm ³ /s)

Adjusting Range Pressure 0 to 40 PSIG (0 to 2.8 bar)
0 to 160 PSIG (0 to 11 bar)

Bleed Rate 0.05 SCFM (0.024 dm³/s)

Gauge Port (2 ea.) NPT / BSPT-Rc 1/4

Maximum Supply Pressure 300 PSIG (20.7 bar)

Operating Temperature 32° to 150°F (0° to 65.5°C)

Port Size NPT / BSPP-G 1/4, 3/8, 1/2, 3/4

Weight lb. (kg) 2.3 (1.04)

* Inlet pressure 100 PSIG (6.9 bar). Secondary pressure (1/4, 1/2 & 3/4) 90 PSIG (6.2 bar); (3/8) 80 PSIG (5.5 bar).

Materials of Construction

Body	Zinc
Bonnet	Zinc / Brass
Piston	Acetal
Seals	Nitrile
Springs	Steel
Valve Assembly	Brass / Nitrile / Acetal


WARNING

Product rupture can cause serious injury.
Do not connect regulator to bottled gas.
Do not exceed maximum primary pressure rating.

CAUTION:

REGULATOR PRESSURE ADJUSTMENT – The working range of knob adjustment is designed to permit outlet pressures within their full range. Pressure adjustment beyond this range is also possible because the knob is not a limiting device. This is a common characteristic of most industrial regulators, and limiting devices may be obtained only by special design.

For best performance, regulated pressure should always be set by increasing the pressure up to the desired setting.

 = "Most Popular"

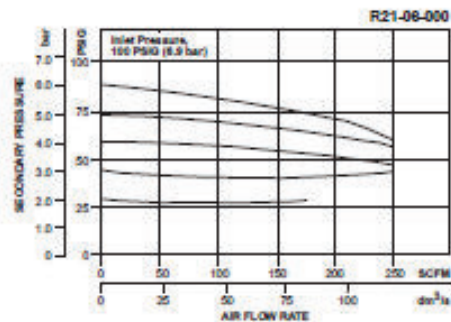
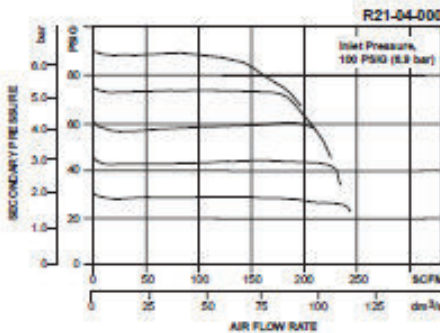
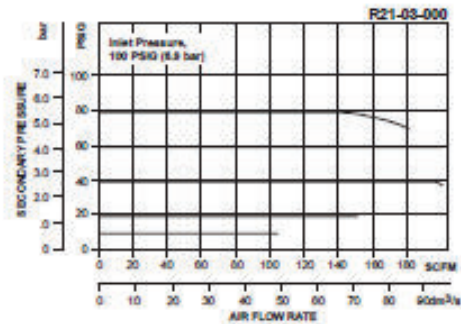
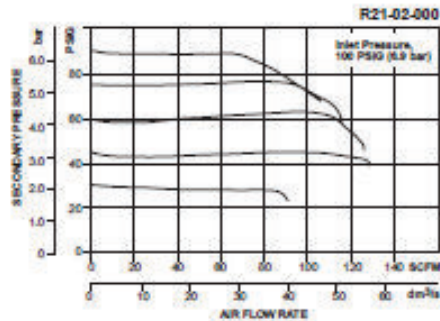
Replacement Kits

Adjustment Dial Knob	RRP-16-024-000
Conversion Kit (Series A to Series B)	RRP-95-766
Cover Kit (Remote) –	
Bonnet and Nitrile, O-ring (Series B)	RRP-95-910
Bonnet and Fluorocarbon, O-ring (Series B)	RRP-95-911
O-ring, Repair Kit	GRP-95-260
Piston, Bottom and O-ring Seal	RRP-95-192
Spring, Regulating, Belleville Washer –	
2 to 40 PSIG (0.1 to 3 bar)	RRP-95-906
5 to 160 PSIG (0.4 to 11 bar)	RRP-95-905
Valve, Main with U-cup Seal	RRP-95-151
Valve, Main with U-cup Seal and Bottom Plug –	
Nitrile Elastomers	RRP-95-914
Fluorocarbon Elastomers	RRP-95-915
Valve, Main (Remote) with U-cup Seal	RRP-95-952

Valve, Main (Remote) with U-cup Seal and Bottom Plug –	
Nitrile Elastomers	RRP-95-912
Fluorocarbon Elastomers	RRP-95-913
Valve, Pilot with O-ring and Valve Spring	RRP-95-934

Accessories

Wall Mounting Bracket, Gauge Port Adapter,	
1/4 NPT	RRP-95-590
Gauge, Pressure –	
0 to 60 PSIG (0 to 4 bar), 2" Dial Face,	
1/4 NPT, CBM	K4520N14060
0 to 160 PSIG (0 to 11 bar), 2" Dial Face,	
1/4 NPT, CBM	K4520N14160
Tamper Resistant Kit	RRP-95-585



Ordering Information

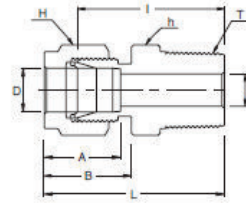
Model Type	Port Size	High Flow 5 to 160 PSIG (0.4 to 11 bar)	Low Pressure 2 to 40 PSIG (0.1 to 3 bar)	Remote 5 to 160 PSIG (0.4 to 11 bar)
Relieving	1/4	R21-02-000	R21-02-L00	R21-02-R00
	3/8	R21-03-000	R21-03-L00	R21-03-R00
	1/2	R21-04-000	R21-04-L00	R21-04-R00
	3/4	R21-06-000	R21-06-L00	R21-06-R00

Options - To order an option supplied with the unit model, add the appropriate coded suffix letter in the designated position of the model number.

(Fuente: PARKER, 2015, B138)

ANEXO VII

SMC Male Connector

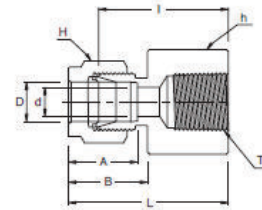


Connects Fractional Tubes To Female NPT Thread

Part No.	Tube O.D. D (inch)	T (NPT)	d Min	Width Across Flat		A	B	I	L
				h (inch)	H (inch)				
SMC - 1 - 1N	1/16	1/16	1.27	5/16	5/16	8.63	10.92	20.00	23.83
SMC - 1 - 2N	1/16	1/8	1.27	7/16	7/16	8.63	10.92	22.35	26.23
SMC - 2 - 2N	1/8	1/8	2.28	7/16	7/16	12.70	15.24	23.87	30.48
SMC - 2 - 4N	1/8	1/4	2.28	9/16	7/16	12.70	15.24	28.95	35.56
SMC - 2 - 6N	1/8	3/8	2.28	11/16	7/16	12.70	15.24	29.21	35.81
SMC - 2 - 8N	1/8	1/2	2.28	7/8	7/16	12.70	15.24	35.56	42.16
SMC - 3 - 2N	3/16	1/8	3.04	7/16	1/2	13.71	16.00	24.63	31.24
SMC - 3 - 4N	3/16	1/4	3.04	9/16	1/2	13.71	16.00	29.71	36.32
SMC - 4 - 2N	1/4	1/8	4.82	1/2	9/16	15.24	17.78	25.40	32.76
SMC - 4 - 4N	1/4	1/4	4.82	9/16	9/16	15.24	17.78	30.48	37.84
SMC - 4 - 6N	1/4	3/8	4.82	11/16	9/16	15.24	17.78	30.98	38.35
SMC - 4 - 8N	1/4	1/2	4.82	7/8	9/16	15.24	17.78	37.33	44.70
SMC - 4 - 12N	1/4	3/4	4.82	1-1/16	9/16	15.24	17.78	38.86	46.22
SMC - 5 - 2N	5/16	1/8	4.82	9/16	5/8	16.25	18.54	26.67	34.03
SMC - 5 - 4N	5/16	1/4	6.35	9/16	5/8	16.25	18.54	31.24	38.60
SMC - 5 - 6N	5/16	3/8	6.35	11/16	5/8	16.25	18.54	31.75	39.11
SMC - 6 - 2N	3/8	1/8	4.82	5/8	11/16	16.76	19.30	27.94	35.30
SMC - 6 - 4N	3/8	1/4	7.11	5/8	11/16	16.76	19.30	32.51	39.87
SMC - 6 - 6N	3/8	3/8	7.11	11/16	11/16	16.76	19.30	32.51	39.87
SMC - 6 - 8N	3/8	1/2	7.11	7/8	11/16	16.76	19.30	38.86	46.22
SMC - 6 - 12N	3/8	3/4	7.11	1-1/16	11/16	16.76	19.30	40.38	47.75
SMC - 8 - 2N	1/2	1/8	4.82	13/16	7/8	22.86	21.84	28.70	38.86
SMC - 8 - 4N	1/2	1/4	7.11	13/16	7/8	22.86	21.84	33.27	43.43
SMC - 8 - 6N	1/2	3/8	9.65	13/16	7/8	22.86	21.84	33.27	43.43
SMC - 8 - 8N	1/2	1/2	10.41	7/8	7/8	22.86	21.84	38.86	49.02
SMC - 8 - 12N	1/2	3/4	10.41	1-1/16	7/8	22.86	21.84	40.38	50.54
SMC - 8 - 16N	1/2	1	10.41	1-3/8	7/8	22.86	21.84	46.99	57.15

(Fuente: SUPERLOK, 2015, pág. 19)

SFC
Female Connector

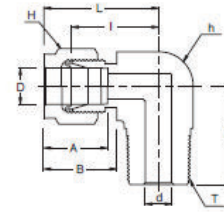


Connects Fractional Tubes To Male NPT Thread

Part No.	Tube O.D. D (inch)	T* (NPT)	d Min	Width Across Flat		A	B	I	L
				h (inch)	H (inch)				
SFC - 2 - 2N	1/8	1/8	2.28	9/16	7/16	12.70	15.24	22.09	28.70
SFC - 2 - 4N	1/8	1/4	2.28	3/4	7/16	12.70	15.24	26.92	33.52
SFC - 3 - 2N	3/16	1/8	3.04	9/16	1/2	13.71	16.00	23.11	29.71
SFC - 4 - 2N	1/4	1/8	4.82	9/16	9/16	15.24	17.78	23.87	31.24
SFC - 4 - 4N	1/4	1/4	4.82	3/4	9/16	15.24	17.78	28.44	35.81
SFC - 4 - 6N	1/4	3/8	4.82	7/8	9/16	15.24	17.78	30.22	37.59
SFC - 4 - 8N	1/4	1/2	4.82	1-1/16	9/16	15.24	17.78	35.05	42.41
SFC - 5 - 2N	5/16	1/8	6.35	9/16	5/8	16.25	18.54	24.63	32.00
SFC - 5 - 4N	5/16	1/4	6.35	3/4	5/8	16.25	18.54	29.46	36.83
SFC - 6 - 2N	3/8	1/8	7.11	5/8	11/16	16.76	19.30	25.40	32.76
SFC - 6 - 4N	3/8	1/4	7.11	3/4	11/16	16.76	19.30	30.22	37.59
SFC - 6 - 6N	3/8	3/8	7.11	7/8	11/16	16.76	19.30	31.75	39.11
SFC - 6 - 8N	3/8	1/2	7.11	1-1/16	11/16	16.76	19.30	36.57	43.94
SFC - 6 - 12N	3/8	3/4	7.11	1-5/16	11/16	16.76	19.30	40.38	47.75
SFC - 8 - 4N	1/2	1/4	10.41	13/16	7/8	22.86	21.84	30.22	40.38
SFC - 8 - 6N	1/2	3/8	10.41	7/8	7/8	22.86	21.84	31.75	41.91
SFC - 8 - 8N	1/2	1/2	10.41	1-1/16	7/8	22.86	21.84	36.57	46.73
SFC - 8 - 12N	1/2	3/4	10.41	1-5/16	7/8	22.86	21.84	38.10	48.26

(Fuente: SUPERLOK, 2015, pág. 25)

SME
Male Elbow

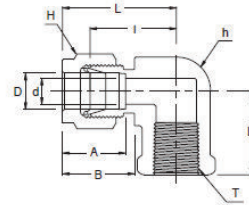


Connects Fractional Tube To Female NPT Thread

Part No.	Tube O.D. D (inch)	T (NPT)	d Min	Width Across Flat		A	B	I	L	L ₁
				h (inch)	H (inch)					
SME - 2 - 2N	1/8	1/8	2.28	1/2	7/16	12.70	15.24	18.00	24.30	18.80
SME - 2 - 4N	1/8	1/4	2.28	1/2	7/16	12.70	15.24	18.00	24.30	23.36
SME - 3 - 2N	3/16	1/8	3.04	1/2	1/2	13.71	16.00	18.79	25.40	18.79
SME - 3 - 4N	3/16	1/4	3.04	1/2	1/2	13.71	16.00	18.79	25.40	23.36
SME - 4 - 2N	1/4	1/8	4.82	1/2	9/16	15.24	17.78	19.55	26.92	18.79
SME - 4 - 4N	1/4	1/4	4.82	1/2	9/16	15.24	17.78	19.55	26.92	23.36
SME - 4 - 6N	1/4	3/8	4.82	5/8	9/16	15.24	17.78	22.35	29.71	26.16
SME - 4 - 8N	1/4	1/2	4.82	13/16	9/16	15.24	17.78	24.38	31.75	33.02
SME - 5 - 2N	5/16	1/8	4.82	9/16	5/8	16.25	18.54	21.33	28.70	19.81
SME - 5 - 4N	5/16	1/4	6.35	9/16	5/8	16.25	18.54	21.33	28.70	24.38
SME - 5 - 6N	5/16	3/8	6.35	11/16	5/8	16.25	18.54	23.11	30.48	26.16
SME - 6 - 2N	3/8	1/8	4.82	5/8	11/16	16.76	19.30	23.11	30.48	20.82
SME - 6 - 4N	3/8	1/4	7.11	5/8	11/16	16.76	19.30	23.11	30.48	25.40
SME - 6 - 6N	3/8	3/8	7.11	5/8	11/16	16.76	19.30	23.87	31.24	26.16
SME - 6 - 8N	3/8	1/2	7.11	13/16	11/16	16.76	19.30	25.90	33.27	33.02
SME - 6 - 12N	3/8	3/4	7.11	1-1/16	11/16	16.76	19.30	29.71	37.08	36.83
SME - 8 - 4N	1/2	1/4	7.11	13/16	7/8	22.86	21.84	25.90	36.06	28.19
SME - 8 - 6N	1/2	3/8	9.65	13/16	7/8	22.86	21.84	25.90	36.06	28.19
SME - 8 - 8N	1/2	1/2	10.41	13/16	7/8	22.86	21.84	25.90	36.06	33.02
SME - 8 - 12N	1/2	3/4	10.41	1-1/16	7/8	22.86	21.84	29.71	39.87	36.83

(Fuente: SUPERLOK, 2015, pág. 34)

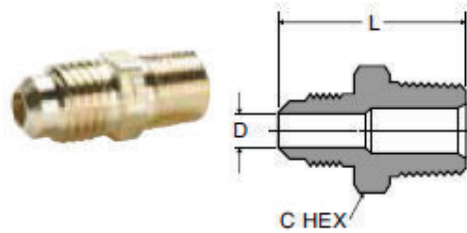
SFE
Female Elbow



Connects Fractional Tubes To Male NPT Thread

Part No.	Tube O.D. D (Inch)	T* (NPT)	d Min	Width Across Flat		A	B	I	L	L ₁
				h (Inch)	H (Inch)					
SFE - 2 - 2N	1/8	1/8	2.28	1/2	7/16	12.70	15.24	18.03	24.63	19.05
SFE - 2 - 4N	1/8	1/4	2.28	11/16	7/16	12.70	15.24	20.82	27.43	22.35
SFE - 3 - 2N	3/16	1/8	3.04	1/2	1/2	13.71	16.00	18.79	25.40	19.05
SFE - 4 - 2N	1/4	1/8	4.82	1/2	9/16	15.24	17.78	19.55	26.92	19.05
SFE - 4 - 4N	1/4	1/4	4.82	11/16	9/16	15.24	17.78	22.35	29.71	22.35
SFE - 4 - 6N	1/4	3/8	4.82	13/16	9/16	15.24	17.78	24.38	31.75	22.35
SFE - 4 - 8N	1/4	1/2	4.82	1	9/16	15.24	17.78	27.17	34.54	28.44
SFE - 5 - 2N	5/16	1/8	6.35	9/16	5/8	16.25	18.54	21.33	28.70	19.05
SFE - 5 - 4N	5/16	1/4	6.35	11/16	5/8	16.25	18.54	23.11	30.48	22.35
SFE - 6 - 2N	3/8	1/8	7.11	5/8	11/16	16.76	19.30	23.11	30.48	19.05
SFE - 6 - 4N	3/8	1/4	7.11	11/16	11/16	16.76	19.30	23.87	31.24	22.35
SFE - 6 - 6N	3/8	3/8	7.11	13/16	11/16	16.76	19.30	25.90	33.27	22.35
SFE - 6 - 8N	3/8	1/2	7.11	1	11/16	16.76	19.30	28.70	36.06	28.44
SFE - 8 - 4N	1/2	1/4	10.41	13/16	7/8	22.86	21.84	25.90	36.06	22.35
SFE - 8 - 6N	1/2	3/8	10.41	13/16	7/8	22.86	21.84	25.90	36.06	22.35
SFE - 8 - 8N	1/2	1/2	10.41	1	7/8	22.86	21.84	28.70	38.86	37.00

(Fuente: SUPERLOK, 2015, pág. 38)



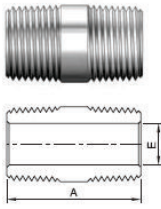
Male Connector 48F

REF. SAE 010102

PART NO.	TUBE SIZE	PIPE THREAD	STRAIGHT THREAD	C HEX	L	FLOW DIA. D
48F-2-2	1/8	1/8	5/16-24	7/16	.91	.078
48F-3-2	3/16	1/8	3/8-24	7/16	.98	.125
48F-3-4	3/16	1/4	3/8-24	9/16	1.17	.125
48F-4-2	1/4	1/8	7/16-20	7/16	1.04	.189
48F-4-4	1/4	1/4	7/16-20	9/16	1.23	.189
48F-4-6	1/4	3/8	7/16-20	11/16	1.29	.189
48F-4-8	1/4	1/2	7/16-20	7/8	1.54	.189
48F-5-2	5/16	1/8	1/2-20	1/2	1.14	.220
48F-5-4	5/16	1/4	1/2-20	9/16	1.32	.220
48F-5-6	5/16	3/8	1/2-20	11/16	1.36	.220
48F-6-2	3/8	1/8	5/8-18	5/8	1.23	.220
48F-6-4	3/8	1/4	5/8-18	5/8	1.42	.282
48F-6-6	3/8	3/8	5/8-18	11/16	1.42	.282
48F-6-8	3/8	1/2	5/8-18	7/8	1.67	.282
48F-6-12*	3/8	3/4	5/8-18	1-1/16	1.79	.282
48F-8-4	1/2	1/4	3/4-16	3/4	1.60	.407
48F-8-6	1/2	3/8	3/4-16	3/4	1.60	.407
48F-8-8	1/2	1/2	3/4-16	7/8	1.79	.407

(Fuente: PARKER, 2015, pág. H7)

ICN Close Nipple



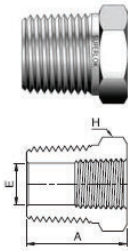
Male NPT Threads

Part Number	NPT Pipe Size	Dimension(mm)	
		A	E
ICN - 2N	1/8	19.1	4.8
ICN - 4N	1/4	28.4	7.1
ICN - 6N	3/8	28.4	9.6
ICN - 8N	1/2	38.1	11.9
ICN - 12N	3/4	38.1	15.7
ICN - 16N	1	47.8	22.4

※ ISO Tapered Threads are available upon request.

(Fuente: SUPERLOK TH, 2015, pág. 3)

IRHB Reducing Hex Bushing



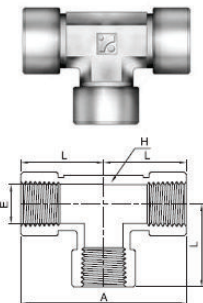
Male to Female NPT Threads

Part Number	Male Pipe Size	Female Pipe Size	Dimension(mm)		
			A	E	H
IRHB - 4N - 2N	1/4	1/8	26.9	7.1	14.2
IRHB - 6N - 2N	3/8	1/8	21.8	8.6	17.4
IRHB - 6N - 4N	3/8	1/4	30.2	9.6	19.1
IRHB - 8N - 2N	1/2	1/8	27.4	8.6	22.2
IRHB - 8N - 4N	1/2	1/4	27.4	11.4	22.2
IRHB - 8N - 6N	1/2	3/8	35.8	11.9	22.2
IRHB-12N - 4N	3/4	1/4	27.4	11.4	26.9
IRHB-12N - 6N	3/4	3/8	27.4	15.0	26.9
IRHB-12N - 8N	3/4	1/2	41.4	15.7	26.9
IRHB-16N - 4N	1	1/4	34.8	11.4	34.9
IRHB-16N - 6N	1	3/8	34.8	15.0	34.9
IRHB-16N - 8N	1	1/2	34.8	18.5	34.9
IRHB-16N -12N	1	3/4	47.0	22.4	34.9

※ ISO Tapered Threads are available upon request.

(Fuente: SUPERLOK TH, 2015, pág. 5)

IFT Female Tee



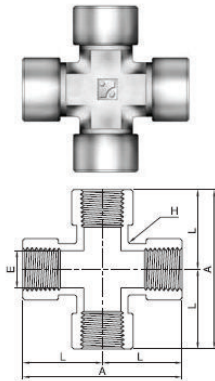
Female NPT Threads

Part Number	Pipe Size	Dimension(mm)			
		A	E	L	H
IFT - 2N	1/8	48.0	8.6	24.0	12.7
IFT - 4N	1/4	58.0	11.4	29.0	17.5
IFT - 6N	3/8	69.0	15.0	34.5	20.6
IFT - 8N	1/2	74.0	18.5	37.0	25.4
IFT - 12N	3/4	93.0	23.9	46.5	31.8
IFT - 16N	1	97.0	29.7	48.5	42.9

※ ISO Tapered Threads are available upon request.

(Fuente: SUPERLOK TH, 2015, pág. 8)

IFC Female Cross



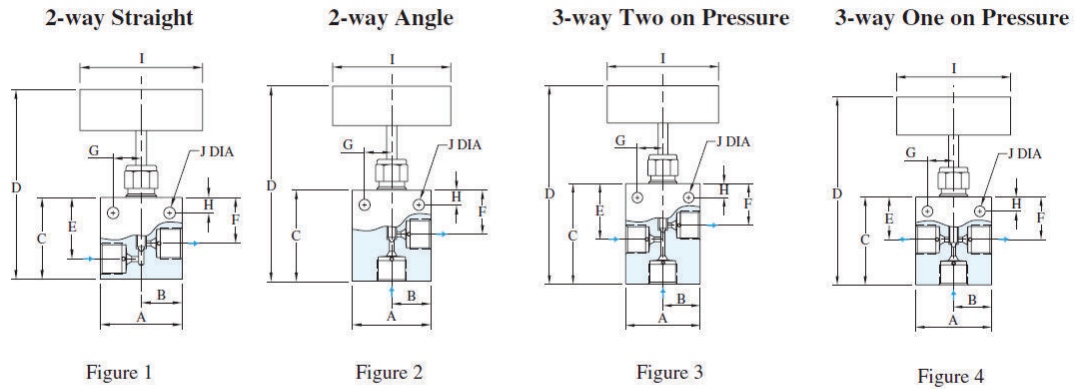
Female NPT Threads

Part Number	Pipe Size	Dimension(mm)			
		A	E	L	H
IFC - 2N	1/8	48.0	8.6	24.0	12.7
IFC - 4N	1/4	58.0	11.4	29.0	17.5
IFC - 6N	3/8	69.0	15.0	34.5	20.6
IFC - 8N	1/2	74.0	18.5	37.0	25.4
IFC - 12N	3/4	93.0	23.9	46.5	31.8
IFC - 16N	1	97.0	29.7	48.5	42.9

※ ISO Tapered Threads are available upon request.

(Fuente: SUPERLOK TH, 2015, pág. 9)

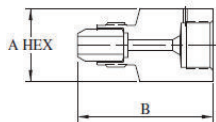
1/4" H/P TUBE, CONED AND THREADED



Catalog Number	Stem Style	Connection	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	Thk.	Fig
60UV41V	Vec	1/4" H/P	2.00"	1.00"	2.12"	4.87"	1.69"	1.31"	0.69"	0.38"	3.00"	0.25"	---	---	1.00"	I
60UV41R	Reg	Tube	(50.8)	(25.4)	(53.8)	(123.7)	(42.9)	(33.3)	(17.5)	(9.7)	(76.2)	(6.4)			(25.4)	

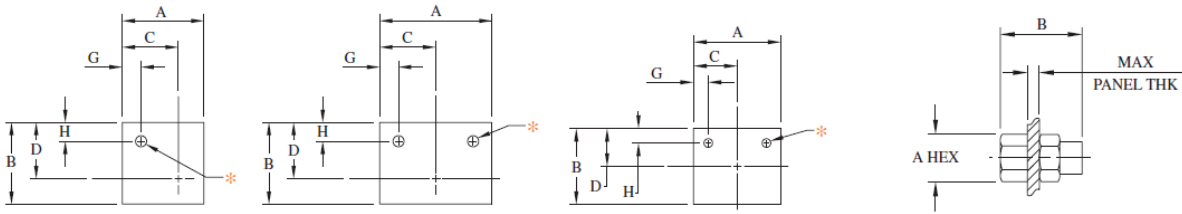
(Fuente: BuTech, 2015, pág. HP-9)

High Pressure Male x High Pressure Female



Catalog Number	Male H/P	Female H/P	A		B		Port	
60A4H4H	1/4"	1/4"	0.75"	(19.1)	1.43"	(36.3)	0.093"	(2.4)
60A4H6H	1/4"	3/8"	1.00"	(25.4)	1.93"	(49.0)	0.125"	(3.2)
60A4H9H	1/4"	9/16"	1.38"	(35.1)	2.43"	(61.7)	0.125"	(3.2)
60A6H4H	3/8"	1/4"	0.75"	(19.1)	1.75"	(44.5)	0.093"	(2.4)
60A6H9H	3/8"	9/16"	1.38"	(35.1)	2.00"	(50.8)	0.188"	(4.8)
60A9H4H	9/16"	1/4"	1.18"	(30.0)	1.75"	(44.5)	0.093"	(2.4)
60A9H6H	9/16"	3/8"	1.18"	(30.0)	1.87"	(47.5)	0.125"	(3.2)
60A9H9H	9/16"	9/16"	1.38"	(35.1)	2.56"	(65.0)	0.188"	(4.8)

(Fuente: BuTech, 2015, pág. ACC-8)



ELBOWS

Catalog Number	Connection	Port	MAWP	A	B	C	D	Block Thickness	Mounting Holes*		
									G	H	Dia.
60L4-SOG	1/4" H/P Tube	0.093" (2.4)	30,000 PSI 2070 bar	1.50" (38.1)	1.00" (25.4)	0.88" (22.4)	0.63" (16.0)	0.75" (19.1)	0.25" (6.4)	0.15" (3.8)	0.22" (5.6)
60L6-SOG	3/8" H/P Tube	0.125" (3.2)	30,000 PSI 2070 bar	2.00" (50.8)	1.50" (38.1)	1.25" (31.8)	1.00" (25.4)	1.00" (25.4)	0.38" (9.7)	0.31" (7.9)	0.22" (5.6)
60L9-SOG	9/16" H/P Tube	0.187" (4.7)	30,000 PSI 2070 bar	2.62" (66.5)	1.88" (47.8)	1.88" (47.8)	1.13" (28.6)	1.50" (38.1)	2.32" (58.9)	1.38" (35.1)	0.28" (7.1)

TEES

Catalog Number	Connection	Port	MAWP	A	B	C	D	Block Thickness	Mounting Holes*		
									G	H	Dia.
60T4-SOG	1/4" H/P Tube	0.093" (2.4)	30,000 PSI 2070 bar	2.00" (50.8)	1.25" (31.8)	1.00" (25.4)	0.88" (22.4)	1.00" (25.4)	0.25" (6.4)	0.12" (3.0)	0.17" (4.3)
60T6-SOG	3/8" H/P Tube	0.125" (3.2)	30,000 PSI 2070 bar	2.00" (50.8)	1.56" (39.6)	1.00" (25.4)	1.06" (26.9)	1.00" (25.4)	0.31" (7.9)	0.31" (7.9)	0.22" (5.6)

(Fuente: BuTech, 2015, pág. SOG-10)



Two-Piece Ball

	#1020	#1022	#1050	#1052
Sizes	1/4"-2"	1/4"-4"	1/4"-2"	1/4"-2"
Pressures	1500-2000 PSI W.O.G.	1000 PSI W.O.G.	1500-2000 PSI W.O.G.	1000 PSI W.O.G.
Materials	CF8M	CF8M	WCB	WCB
Ends	Threaded	Threaded	Threaded	Threaded
Ports	Reduced	Full	Reduced	Full
Features	Locking Device & ISO 5211 Mounting Pad	Locking Device & ISO 5211 Mounting Pad	Locking Device & ISO 5211 Mounting Pad	Locking Device & ISO 5211 Mounting Pad
Options	Oval Handles, Stem Extensions, Automation	Oval Handles, Stem Extensions, Automation	Oval Handles, Stem Extensions, Automation	Oval Handles, Stem Extensions, Automation

(Fuente: WARREN VALVE, 2015, pág. 4)

Manómetro Seco o Lleno de Glicerina

Elemento: Bourdon de Acero Inox. 316
 Conexión: Acero Inoxidable 316
 Caja: Acero Inoxidable 304



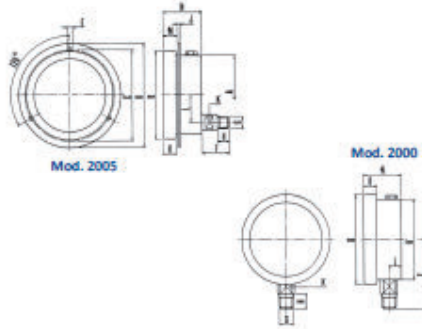
Modelo 2000 - 2005 SS



APLICACIONES

El Manómetro DE WIT en caja de acero inoxidable, está especialmente diseñado para aplicaciones severas en la industria química, petroquímica, plataformas marinas y en general para ambientes corrosivos. Su construcción todo en acero inoxidable, bisel tipo bayoneta y su total hermeticidad por medio de empaques de buna "N" permiten que sea llenado de glicerina, silicón u otro fluido amortiguante que permite la aplicación en área de alta vibración y su total aislamiento del medio ambiente agresivo.

Su diseño facilita el desarmarlo y armarlo permitiendo su mantenimiento en campo así como el mecanismo permite su recalibración.



CARACTERÍSTICAS GENERALES

- Exactitud:** ø 63 mm +/- 1.6% del total de la escala ASME B40.100-2013 grado A
 ø 100 mm +/- 1.0% del total de la escala ASME B40.100-2013 grado 1A
 ø 160 mm +/- 1.0% del total de la escala ASME B40.100-2013 grado 1A
- Elemento:** Tubo bourdon de acero inoxidable 316
- Conexión:** ø 63 mm Acero inox. 316 1/4" N.P.T.
 ø 100 mm Acero inox. 316 1/2" N.P.T.
 ø 160 mm Acero inox. 316 1/2" N.P.T.
- Mecanismo:** Acero inoxidable tipo rotatorio
- Caja:** Acero inoxidable 304, IP-65
- Bisel:** Acero inoxidable 304 tipo bayoneta
- Ventana:** Cristal inastillable
- Carátula:** Aluminio fondo blanco, números rojos/negros
- Aguja:** Aluminio negro anodizado con microajuste solo ø 100 mm y ø 160 mm
- Tamaños:** ø 63 mm, ø 100 mm, ø 160 mm
- Rango:** Doble kg/cm² + PSI max. 700 kg/cm²

- OPCIONES
- Lleno de líquido (glicerina, silicón)
 - Escala en BAR, Kpa, etc.
 - Limpieza uso oxígeno
 - Ventana acrílica

Rangos Estándar

PRESIÓN		COMPUESTO	
kg/cm ² / PSI DIN	kg/cm ² / PSI ANSI	Cm Hg/kg/cm ² DIN	Cm Hg/kg/cm ² ANSI
0 - 1	0 - 14	76 - 0 - 1.5	76 - 0 - 1
0 - 2.5	0 - 35	76 - 0 - 3	76 - 0 - 2
0 - 4	0 - 55	76 - 0 - 5	76 - 0 - 4
0 - 6	0 - 85	76 - 0 - 7	76 - 0 - 5
0 - 10	0 - 140	76 - 0 - 9	76 - 0 - 7
0 - 16	0 - 220	76 - 0 - 15	76 - 0 - 11
0 - 25	0 - 350	76 - 0 - 24	76 - 0 - 14
0 - 40	0 - 550	76 - 0 - 28	76 - 0 - 21
0 - 60	0 - 850	76 - 0 - 43	76 - 0 - 28
0 - 100	0 - 1400	76 - 0 - 70	76 - 0 - 43
0 - 160	0 - 2200	76 - 0 - 110	76 - 0 - 70
0 - 250	0 - 3500	76 - 0 - 165	76 - 0 - 110
0 - 400	0 - 5500	76 - 0 - 280	76 - 0 - 165
0 - 600	0 - 8500	76 - 0 - 430	76 - 0 - 280
		0 - 700	0 - 10000

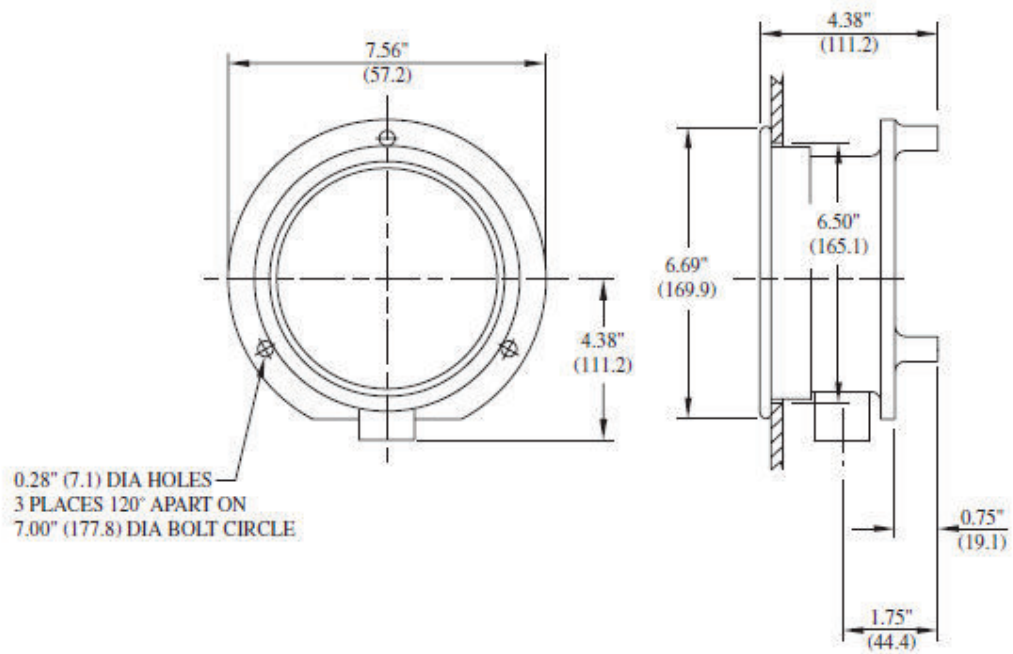
PRECAUCIÓN: No se usen manómetros llenos de glicerina en ninguna aplicación que incluya agentes altamente oxidantes, como cloro, ácido nítrico, peróxido de hidrógeno, etc., porque esta combinación puede causar una explosión, así como el manómetro lleno de glicerina disminuye su exactitud.

Dimensiones en mm.

Modelo	# A	# B	C	# D	# E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
# 63	62	72				58	1/2" NPT	15			14	9.5	31	23	
# 100	96	112				85	1/2" NPT	20			21	15	49	33	
# 160	156	173				115	1/2" NPT	20			22	35	50	33	
# 63P	60	70	75	80	66	28	1/2" NPT	15	6		16	18	19	26	19
# 100P	96	112	116	120	42	40	1/2" NPT	20	8.5	17	17	28	29	49	37
# 160P	156	173	178	198	58	41	1/2" NPT	20	8.5	17	17	35	38	50	37

16

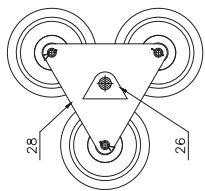
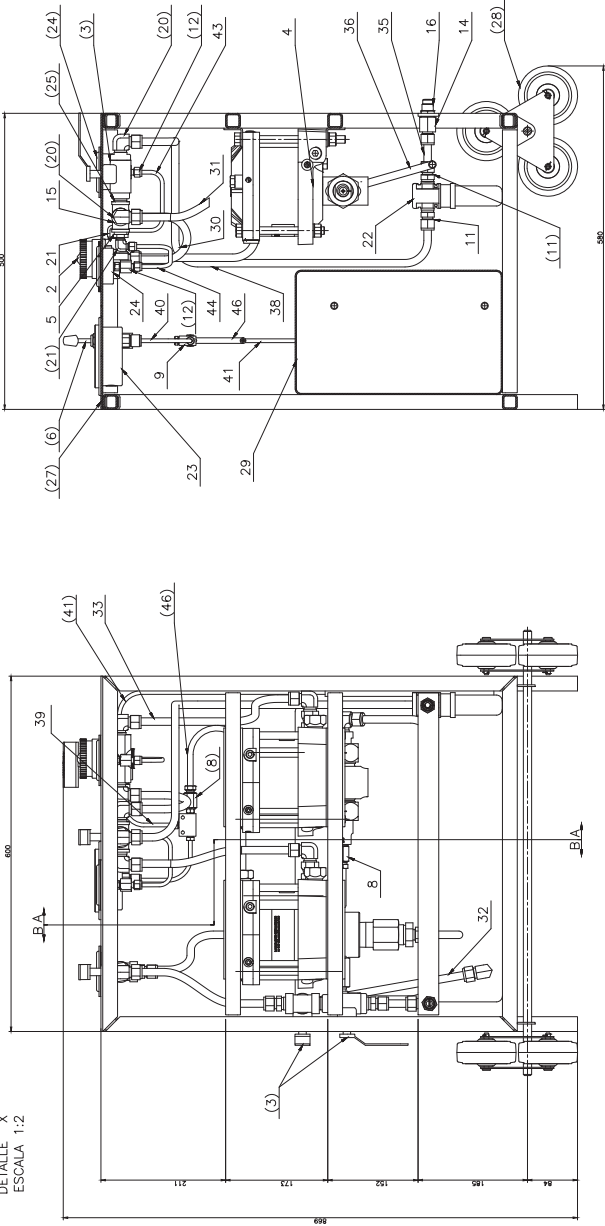
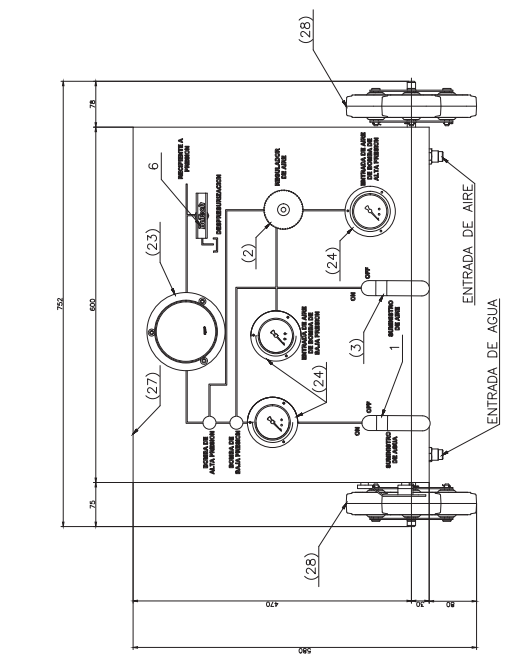
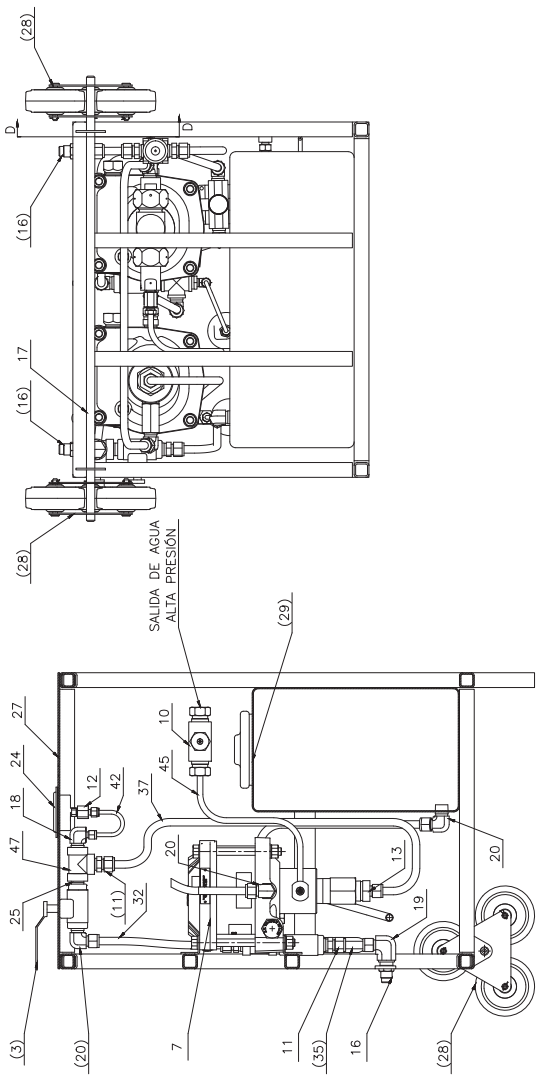
(Fuente: DEWIT, 2015, pag. 16)



Pressure Range	Pressure Divisions	Bottom Connected Gauges		Back Connected Gauges	
		Wall Mount	Flush Mount	Wall Mount	Flush Mount
15,000 PSI 1030 bar	100 PSI 7 bar	15AG	15AG-PM	15AGB	15AGB-PM
20,000 PSI 1380 bar	200 PSI 14 bar	20AG	20AG-PM	20AGB	20AGB-PM
30,000 PSI 2070 bar	250 PSI 17 bar	30AG	30AG-PM	30AGB	30AGB-PM

(Fuente: BuTech, 2015, pág. Acc-17)

Planos



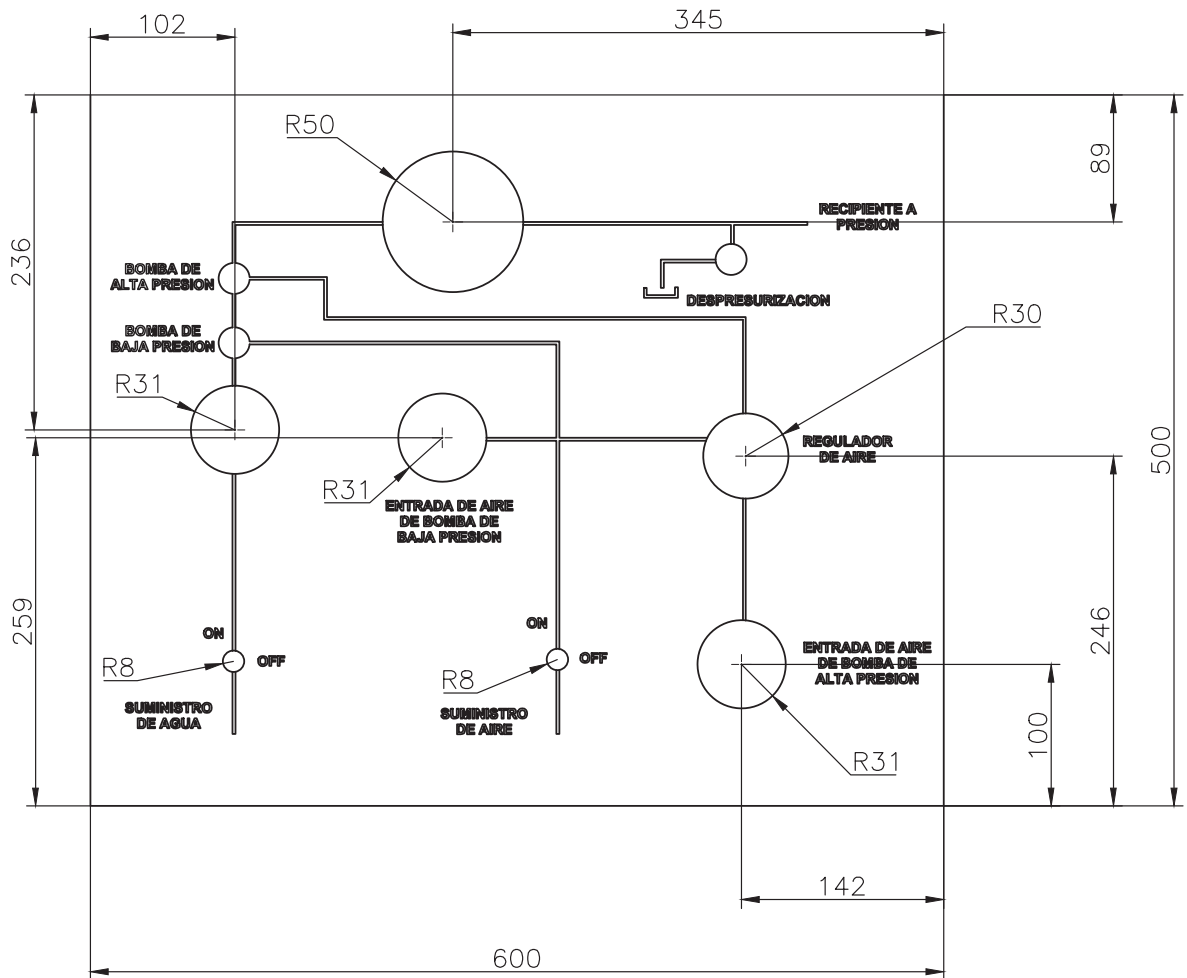
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Presión máxima de prueba: 30.000 psi
 Peso total del banco de pruebas: 130 kg
 Potencia de las bombas (sistema Neu.): 1.5 HP
 Altura del banco de prueba: 669 mm
 Ancho del banco de prueba: 600 mm
 Largo del banco de prueba: 580 mm
 Presión de aire comprimido mínimo: 100 psi
 Caudal de aire comprimido mínimo: 45 scfm

41	4-8	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
42	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
43	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
44	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
45	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
46	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
47	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
48	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
49	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
50	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
51	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
52	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
53	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
54	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
55	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
56	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
57	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
58	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
59	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
60	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
61	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
62	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
63	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
64	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
65	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
66	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
67	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
68	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
69	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
70	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
71	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
72	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
73	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
74	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
75	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
76	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
77	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
78	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
79	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
80	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
81	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
82	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
83	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
84	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
85	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
86	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
87	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
88	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
89	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
90	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
91	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
92	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
93	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
94	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
95	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
96	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
97	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
98	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
99	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95
100	1/2"	VALVULA 1/2" NPT	1	318.95

NOTA:

ESPESOR DE LA PLACA 3 mm



Trat. Térmico	Ninguno	E.P.N.	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Arias, Danny
MATERIAL: ACERO INOXIDABLE 316 SS	Tol. Gral. ± 1	Escala: 1:5	Dis.	Arias, Danny
			Rev.	Ing. Ricardo Soto
			PLACA ACERO INOXIDABLE	

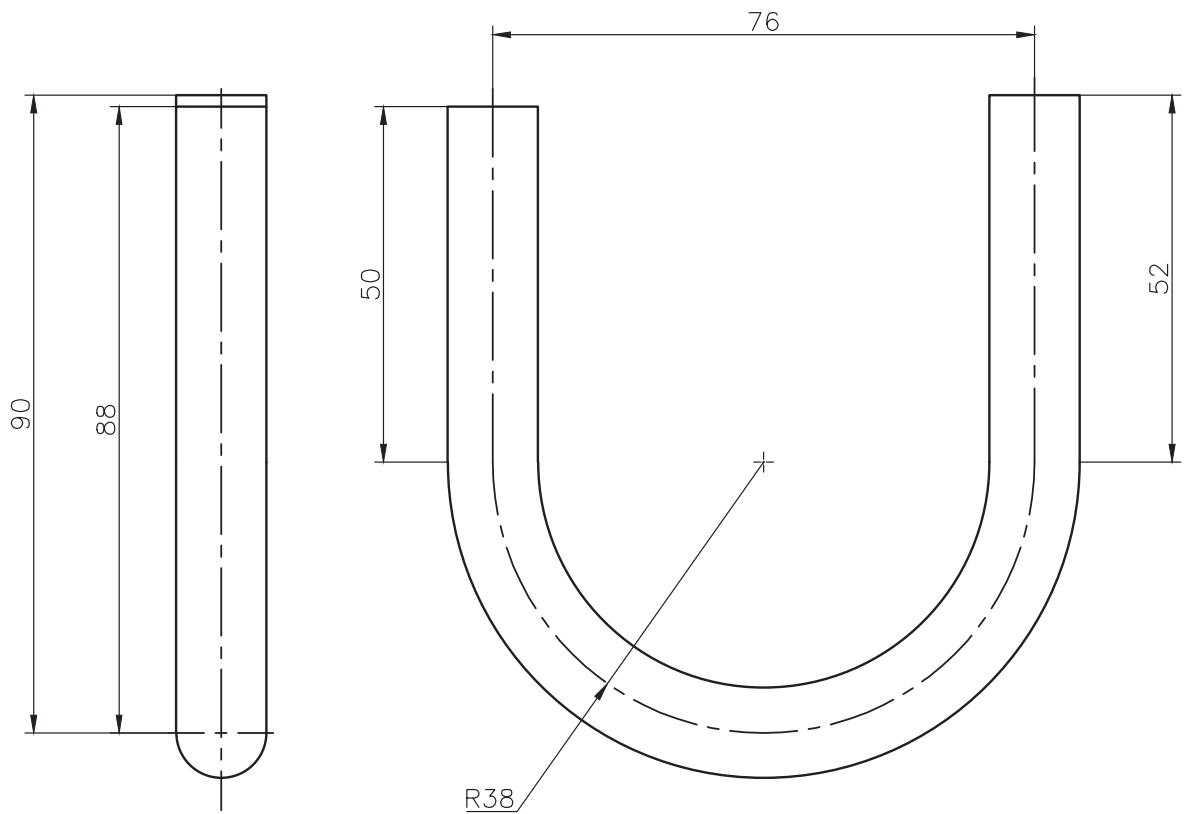
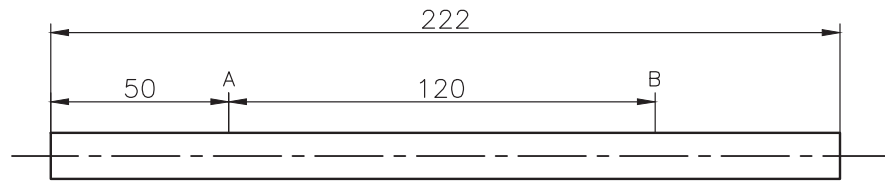
DESARROLLO:

ESCALA: 1:2

NOTA:

DOBLAR EN A HASTA B 180° CON RADIO 38 mm.

N10



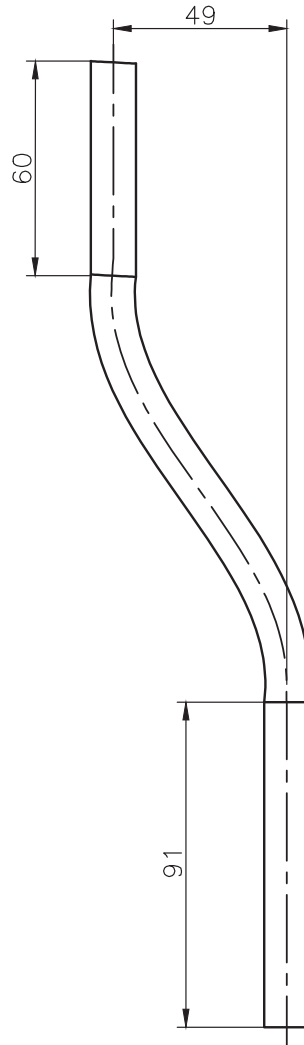
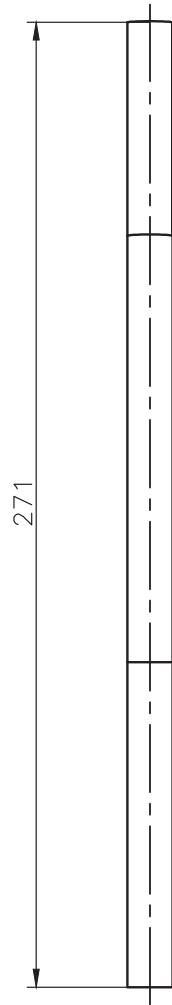
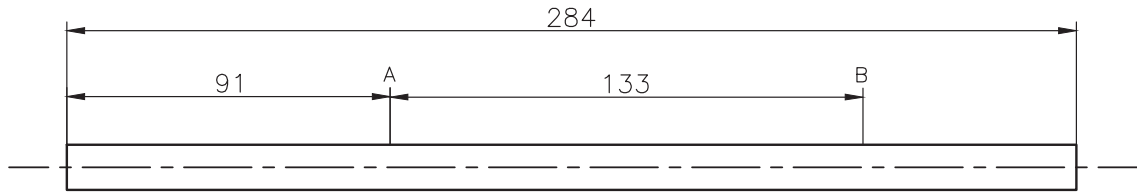
Trat. Térmico	Ninguno	E.P.N.	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Arias, Danny
MATERIAL: ACERO INOXIDABLE 316 SS	Tol. Gral. ± 1	Escala: 1:1	Dis.	Arias, Danny
			Rev.	Ing. Ricardo Soto
			TUBING 1/2 IN LP-(31)	
1.3366.131		Fecha: 2016-07-11		

DESARROLLO:

N10

NOTA:

DOBLAR EN A HASTA B DE TAL FORMA QUE EXISTA UNA DISTANCIA DE 49 mm RESPECTO AL COMIENZO Y FINAL DEL TUBING.



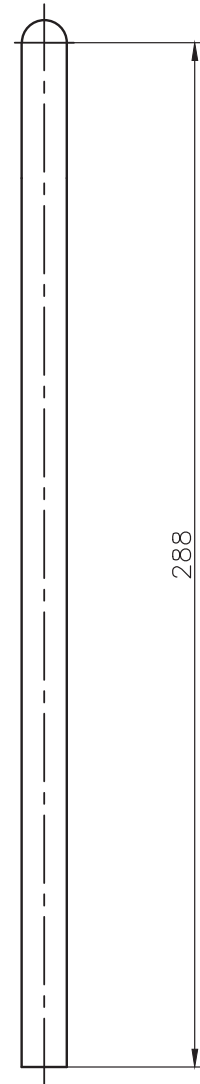
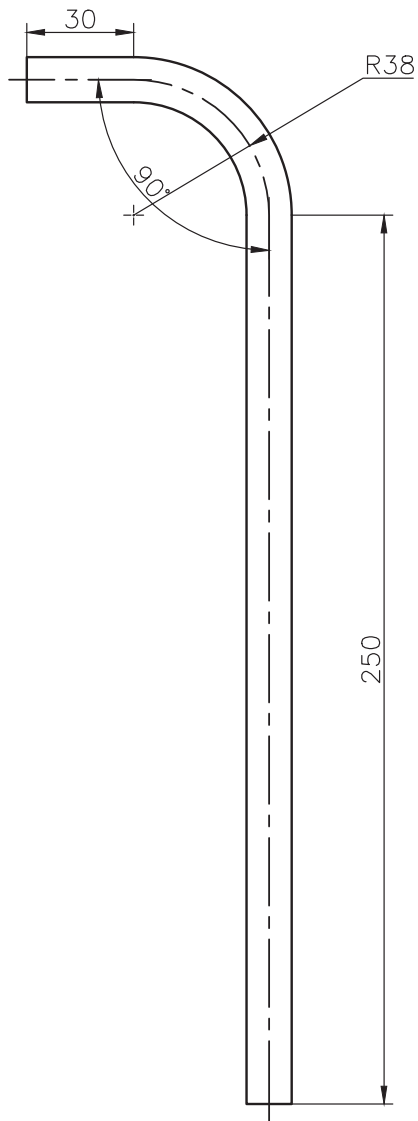
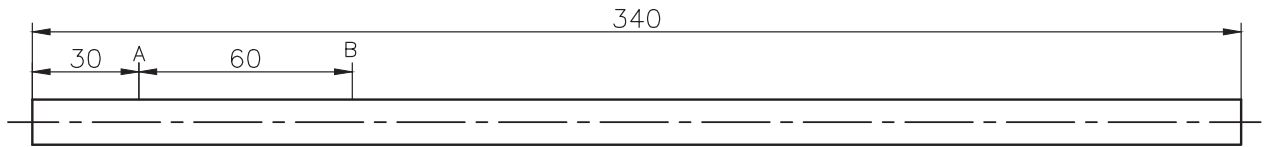
Trat. Térmico	Ninguno	E.P.N.	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Arias, Danny
MATERIAL: ACERO INOXIDABLE 316 SS		Tol. Gral. ± 1	Escala: 1:2	Dis. Arias, Danny
				Rev. Ing. Ricardo Soto
TUBING 1/2 IN LP-(32)		1.3366.132		Fecha: 2016-07-11

DESARROLLO:

NOTA:

DOBLAR EN A HASTA B 90° CON RADIO 38 mm, HACIA LA DERECHA.

N10



Trat. Térmico	Ninguno	E.P.N.	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Arias, Danny
MATERIAL: ACERO INOXIDABLE 316 SS	Tol. Gral. ± 1	Escala: 1:2	Dis.	Arias, Danny
			Rev.	Ing. Ricardo Soto
			TUBING 1/2 IN LP-(33)	
		1.3366.133		Fecha: 2016-07-11

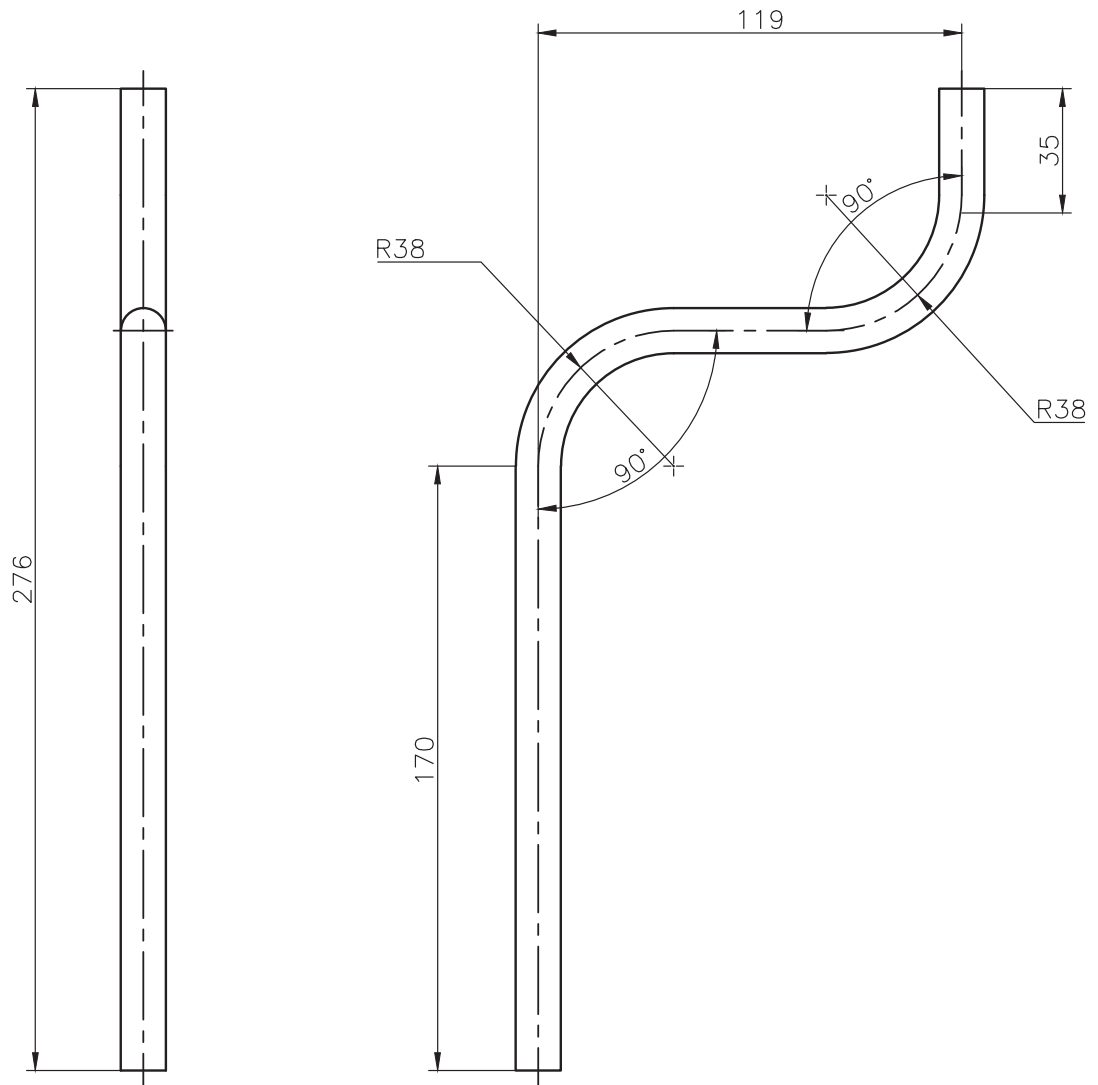
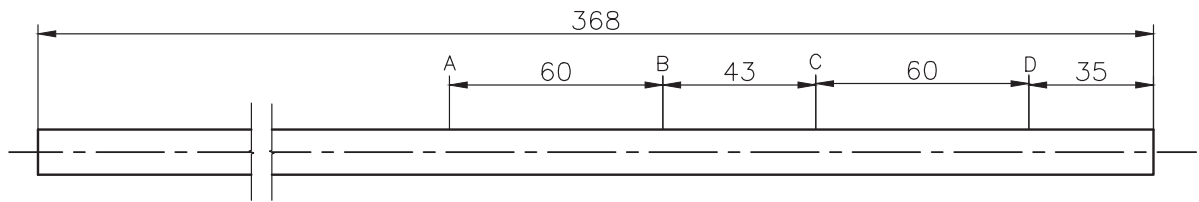
DESARROLLO:

N10

NOTA:

DOBLAR EN A HASTA B 90° CON RADIO 38 mm, HACIA LA DERECHA.

DOBLAR EN C HASTA D 90° CON RADIO 38 mm, HACIA LA ARRIBA.



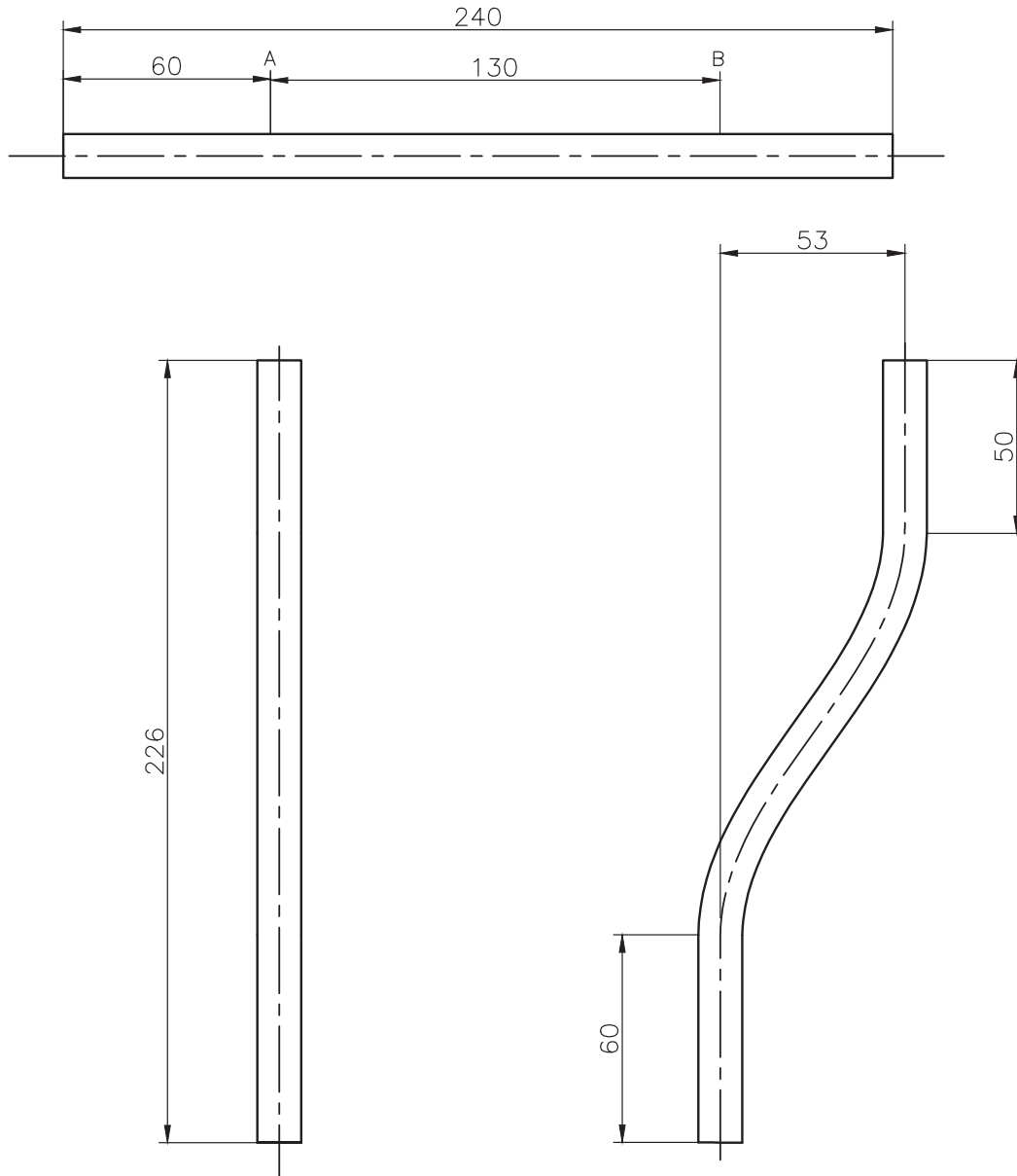
Trat. Térmico	Ninguno	E.P.N.	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Arias, Danny
MATERIAL: ACERO INOXIDABLE 316 SS	Tol. Gral. ± 1	Escala: 1:2	Dis.	Arias, Danny
			Rev.	Ing. Ricardo Soto
			TUBING 1/2 IN LP-(34)	

DESARROLLO:

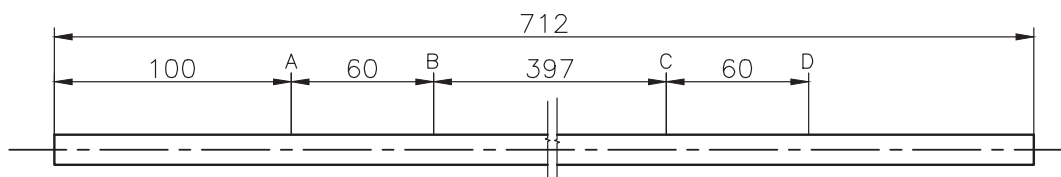
N10

NOTA:

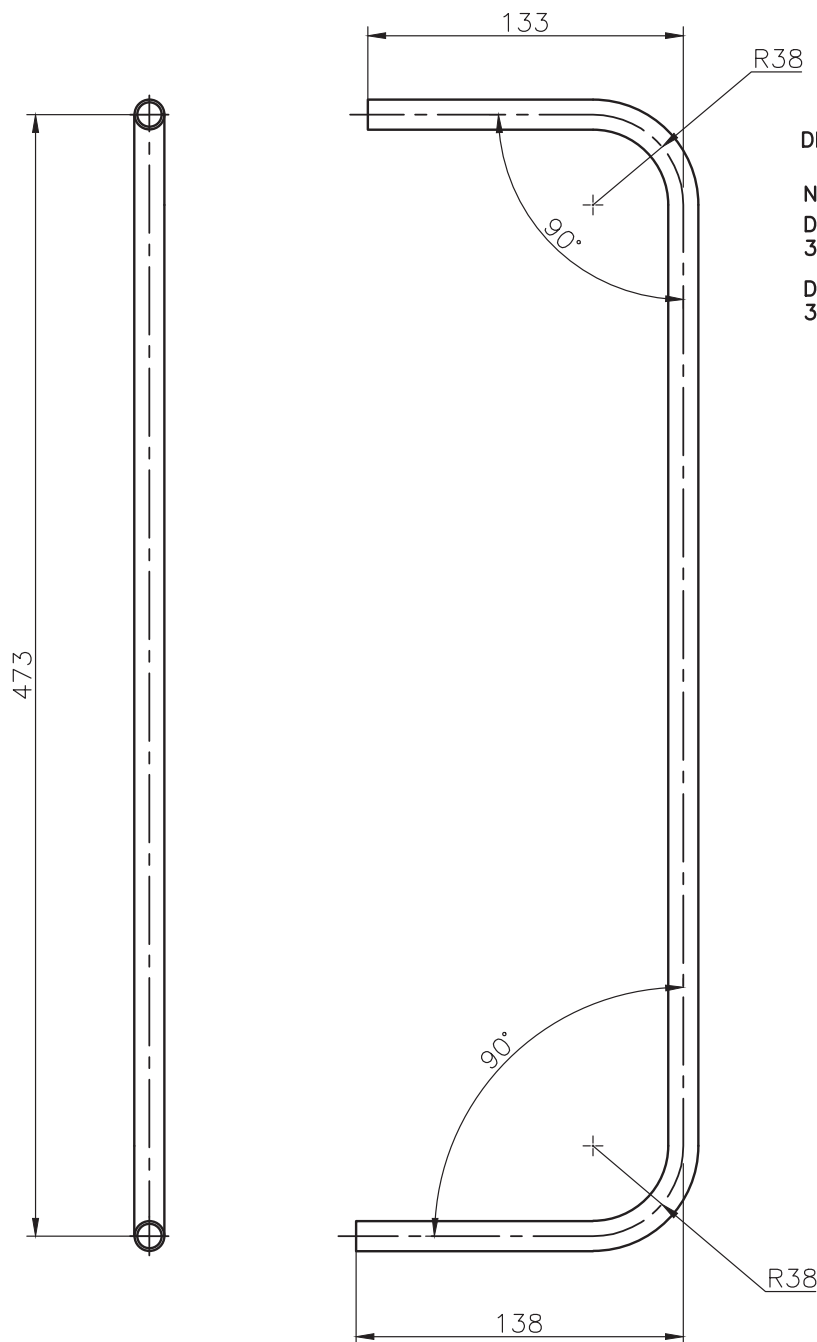
DOBLAR EN A HASTA B DE TAL FORMA QUE EXISTA UNA DISTANCIA DE 49 mm RESPECTO AL COMIENZO Y FINAL DEL TUBING.



Trat. Térmico	Ninguno	E.P.N.	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Arias, Danny
MATERIAL:		Escala: 1:2	Dis.	Arias, Danny
ACERO INOXIDABLE 316 SS			Rev.	Ing. Ricardo Soto
TUBING 1/2 IN LP-(35)			1.3366.135	
		Fecha: 2016-07-11		



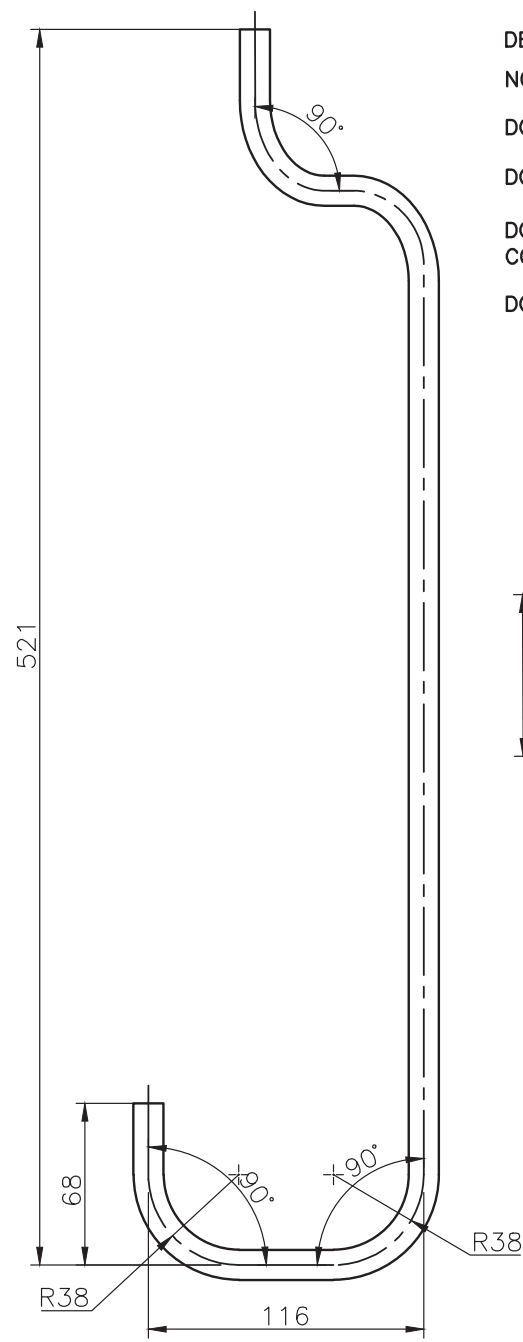
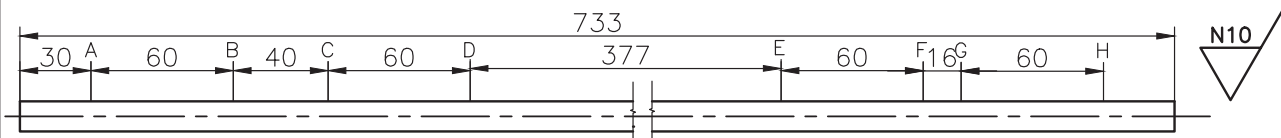
N10



DESARROLLO:

NOTA:
DOBLAR EN A HASTA B 90° CON RADIO 38 mm, HACIA LA DERECHA.
DOBLAR EN C HASTA D 90° CON RADIO 38 mm, HACIA ARRIBA.

Trat. Térmico	Ninguno	E.P.N.	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Arias, Danny
MATERIAL: ACERO INOXIDABLE 316 SS	Tol. Gral. ± 1	Escala: 1:3	Dis.	Arias, Danny
			Rev.	Ing. Ricardo Soto
			TUBING 1/2 IN LP-(37)	



DESARROLLO:

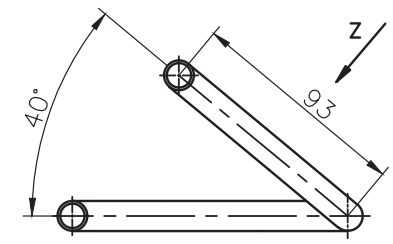
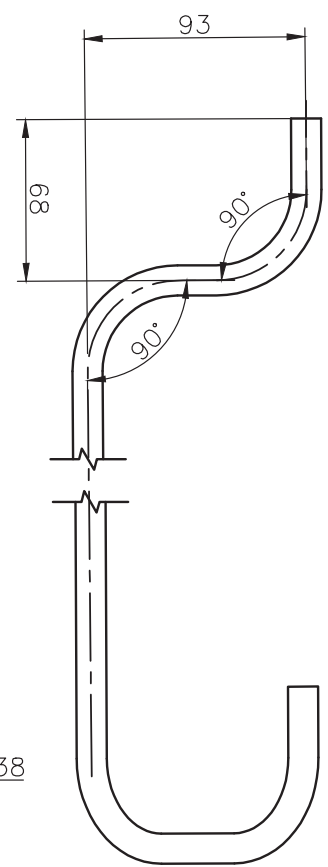
NOTA:

DOBLAR EN A HASTA B 90° CON RADIO 38 mm, HACIA LA IZQUIERDA.

DOBLAR EN C HASTA D 90° CON RADIO 38 mm, HACIA ARRIBA.

DOBLAR EN E HASTA F 90° CON RADIO 38 mm, HACIA LA DERECHA CON UN ÁNGULO DE 40° HACIA ADELANTE.

DOBLAR EN G HASTA H 90° CON RADIO 38 mm, HACIA ARRIBA.

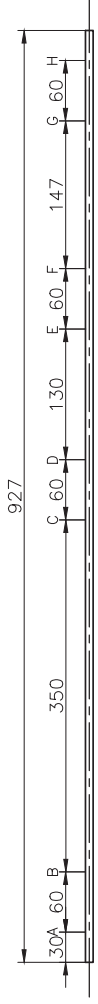


Trat. Térmico	Ninguno	E.P.N.	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Arias, Danny
MATERIAL: ACERO INOXIDABLE 316 SS	Tol. Gral. ± 1	Escala: 1:3	Dis.	Arias, Danny
			Rev.	Ing. Ricardo Soto
			TUBING 1/2 IN LP-(38)	

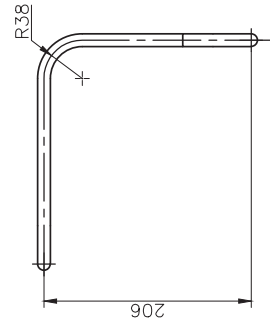
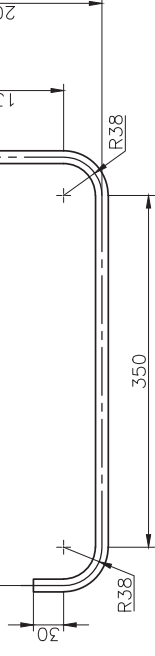
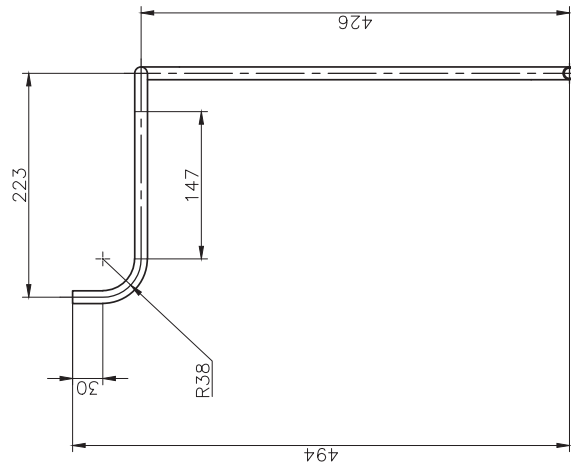
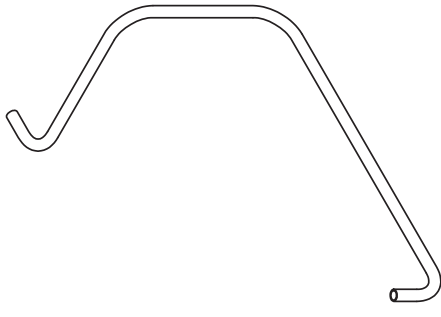
DESARROLLO:

NOTA:

- DOBLAR EN A HASTA B 90° CON RADIO 38 mm, HACIA LA DERECHA.
- DOBLAR EN C HASTA D 90° CON RADIO 38 mm, HACIA ARRIBA.
- DOBLAR EN E HASTA F 90° CON RADIO 38 mm, HACIA ADELANTE.
- DOBLAR EN G HASTA H 90° CON RADIO 38 mm, HACIA LA DERECHA.



VISTA ISOMÉTRICA



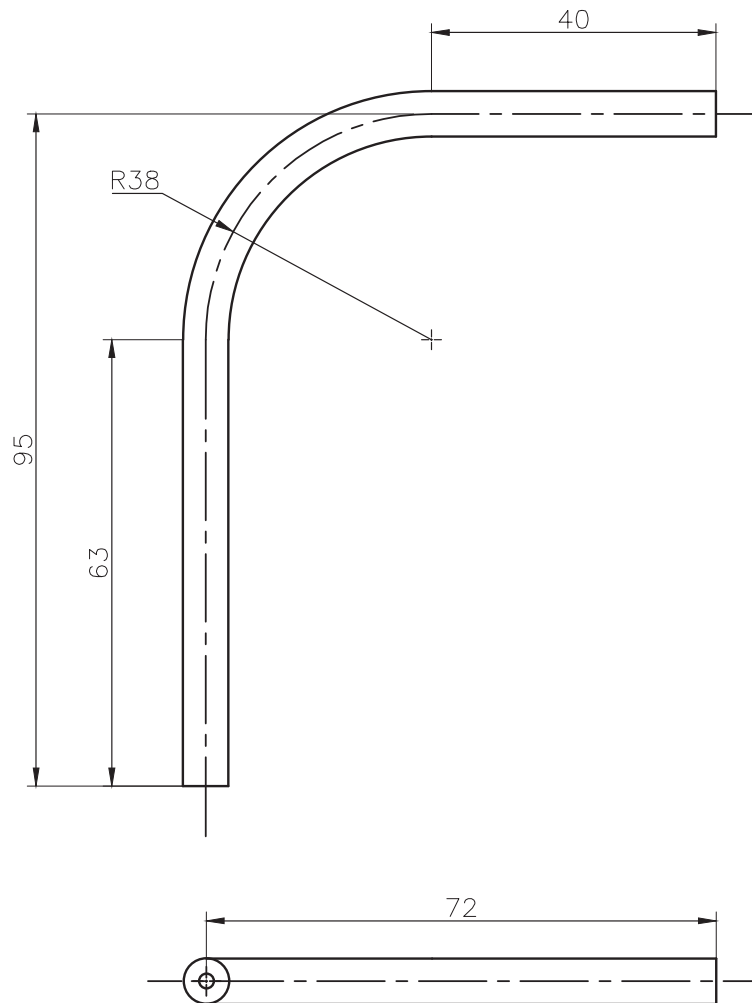
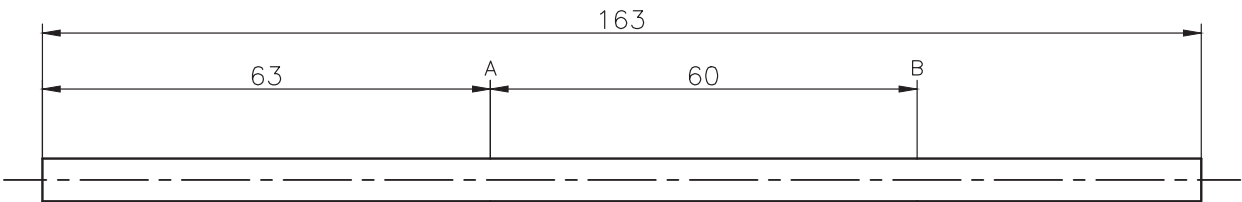
Trat. Térmico	Ninguno	E.P.N.	FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA
Recubrimiento	Ninguno	Dib.	Arias, Danny
MATERIAL:	Tol. Gral. ± 1	Dis.	Arias, Danny
ACERO INOXIDABLE 316 SS	Escala: 1:5	Rev.	Ing. Ricardo Soto
TUBING 1/2 IN LP--(39)		1.3366.139	
			Fecha: 2016-07-11

DESARROLLO:

N10

NOTA:

DOBLAR EN A HASTA B 90° CON RADIO 38 mm, HACIA LA DERECHA.



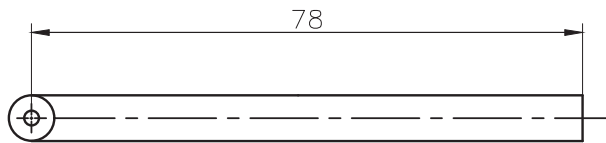
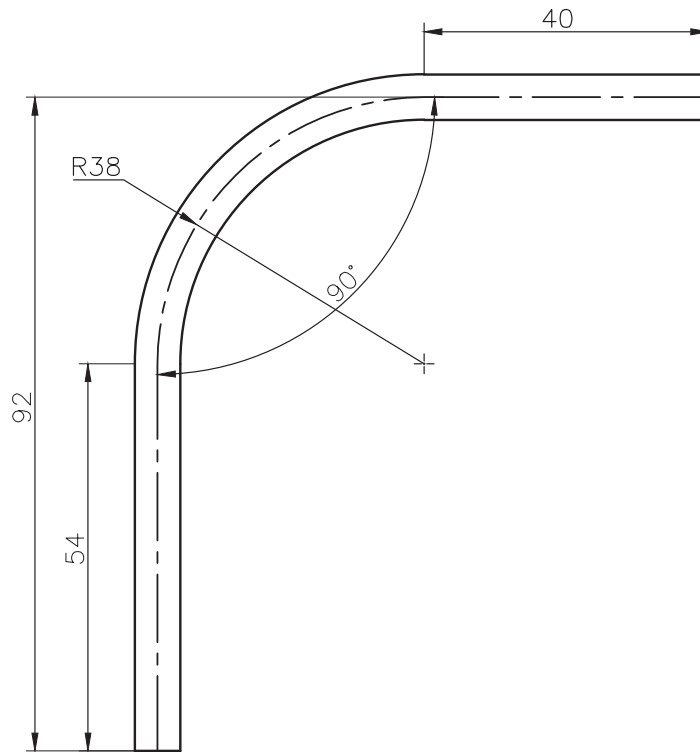
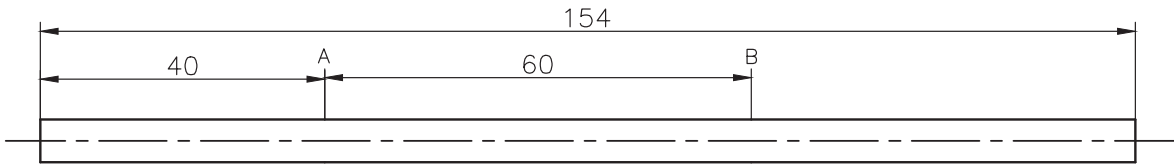
Trat. Térmico	Ninguno	E.P.N.	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Arias, Danny
MATERIAL: ACERO INOXIDABLE 316 SS	Tol. Gral. ± 1	Escala: 1:2	Dis.	Arias, Danny
			Rev.	Ing. Ricardo Soto
			TUBING 1/4 IN HP-(40)	

DESARROLLO:

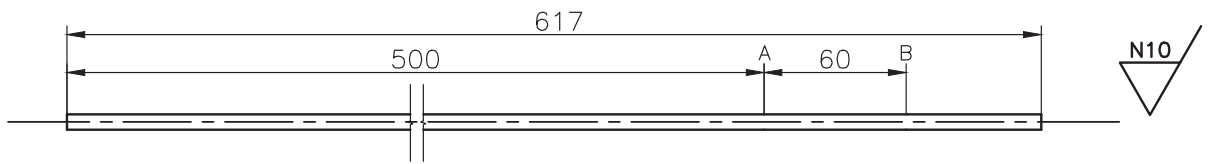
N10

NOTA:

DOBLAR EN A HASTA B 90° CON RADIO 38 mm, HACIA LA DERECHA.



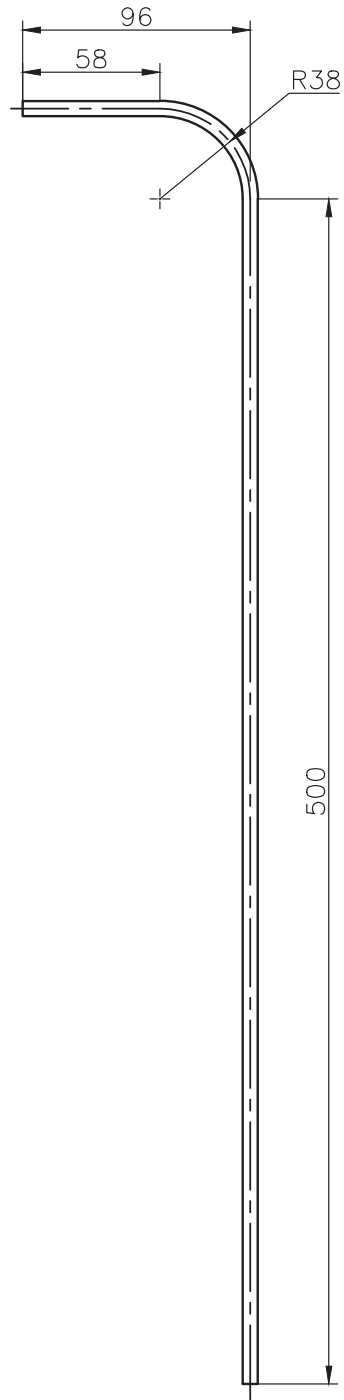
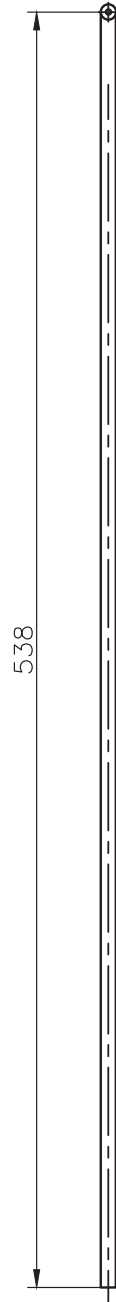
Trat. Térmico	Ninguno	E.P.N.	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Arias, Danny
MATERIAL: ACERO INOXIDABLE 316 SS	Tol. Gral. ± 1	Escala: 1:1	Dis.	Arias, Danny
			Rev.	Ing. Ricardo Soto
			TUBING 1/4 IN HP-(41)	
1.3366.141		Fecha: 2016-07-11		



DESARROLLO:

NOTA:

DOBLAR EN A HASTA B 90°
CON RADIO 38 mm, HACIA
LA DERECHA.



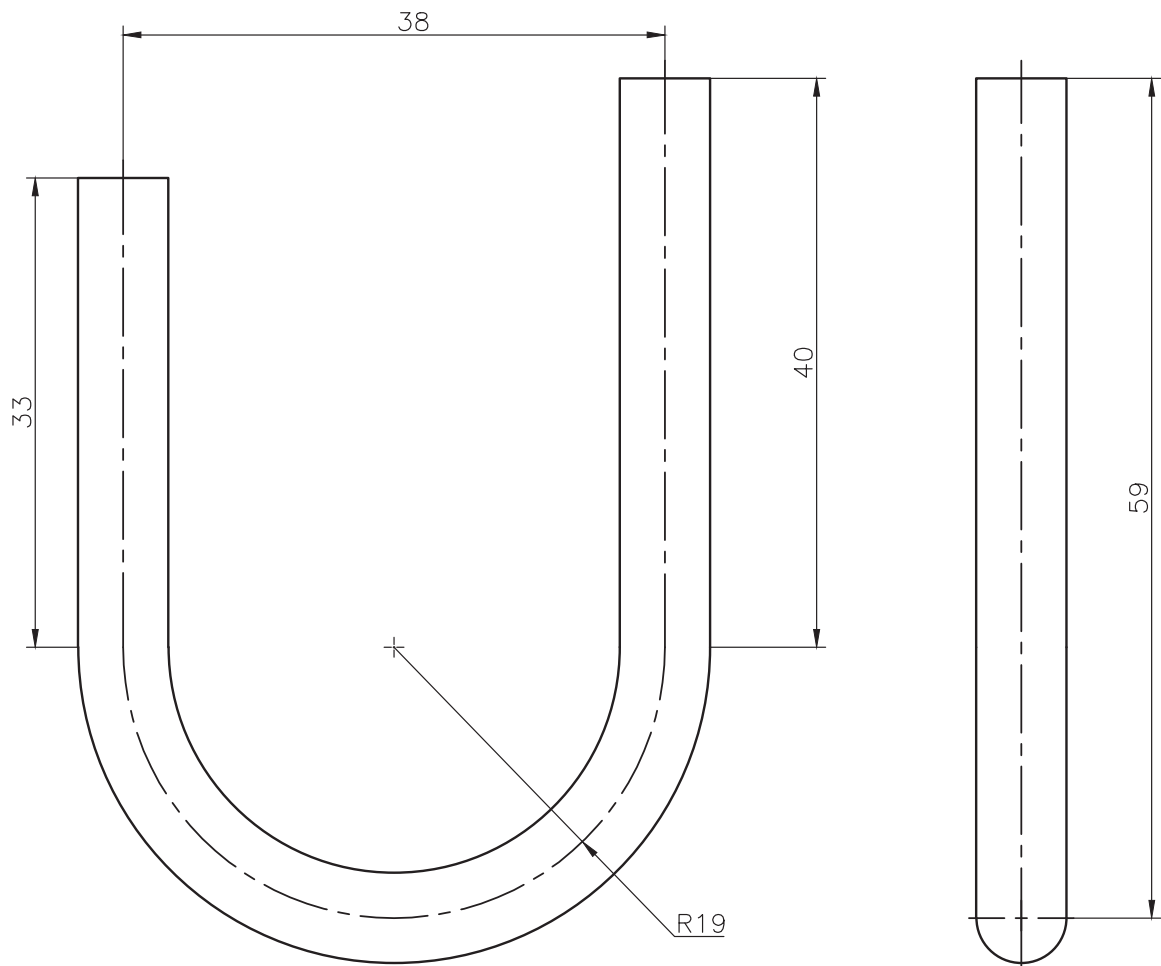
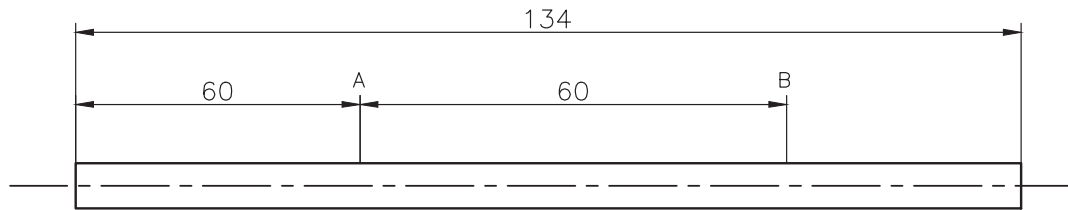
Trat. Térmico	Ninguno	E.P.N.	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Arias, Danny
MATERIAL: ACERO INOXIDABLE 316 SS	Tol. Gral. ± 1	Escala: 1:3	Dis.	Arias, Danny
			Rev.	Ing. Ricardo Soto
			TUBING 1/4 IN HP-(42)	

DESARROLLO:

NOTA:

DOBLAR EN A HASTA B 180° CON RADIO 19 mm.

N10



Trat. Térmico	Ninguno	E.P.N.	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Arias, Danny
MATERIAL: ACERO INOXIDABLE 316 SS	Tol. Gral. ± 1	Escala: 2:1	Dis.	Arias, Danny
			Rev.	Ing. Ricardo Soto
			TUBING 1/4 IN LP-(43)	
1.3366.143		Fecha: 2016-07-11		

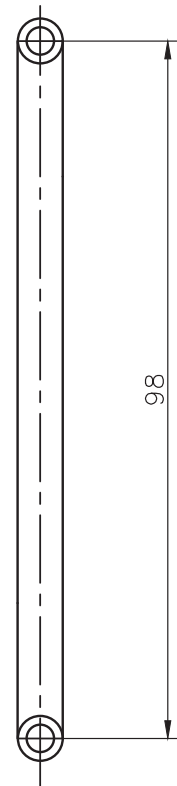
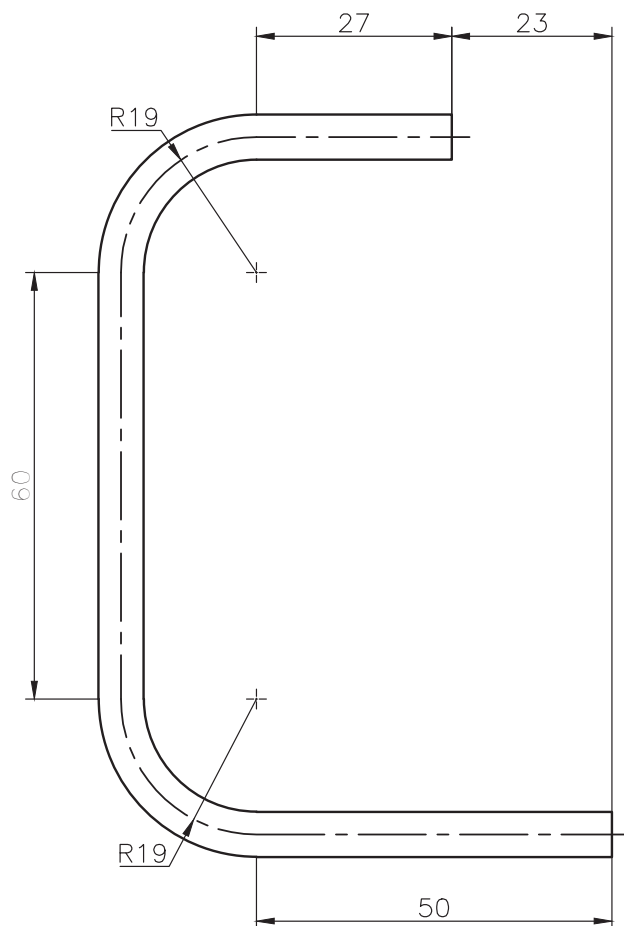
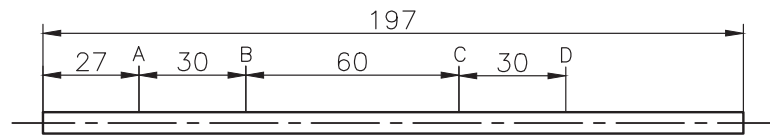
DESARROLLO:

ESCALA: 1:2

NOTA:

DOBLAR EN A HASTA B 90° CON RADIO 19 mm, HACIA LA DERECHA.

DOBLAR EN C HASTA D 90° CON RADIO 19 mm, HACIA LA ARRIBA.



Trat. Térmico	Ninguno	E.P.N.	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Arias, Danny
MATERIAL: ACERO INOXIDABLE 316 SS	Tol. Gral. ± 1	Escala: 1:1	Dis.	Arias, Danny
			Rev.	Ing. Ricardo Soto
			TUBING 1/4 IN LP-(44)	

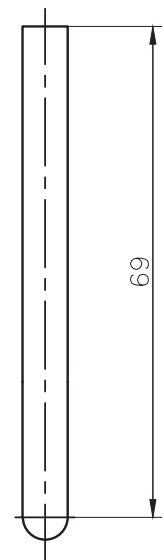
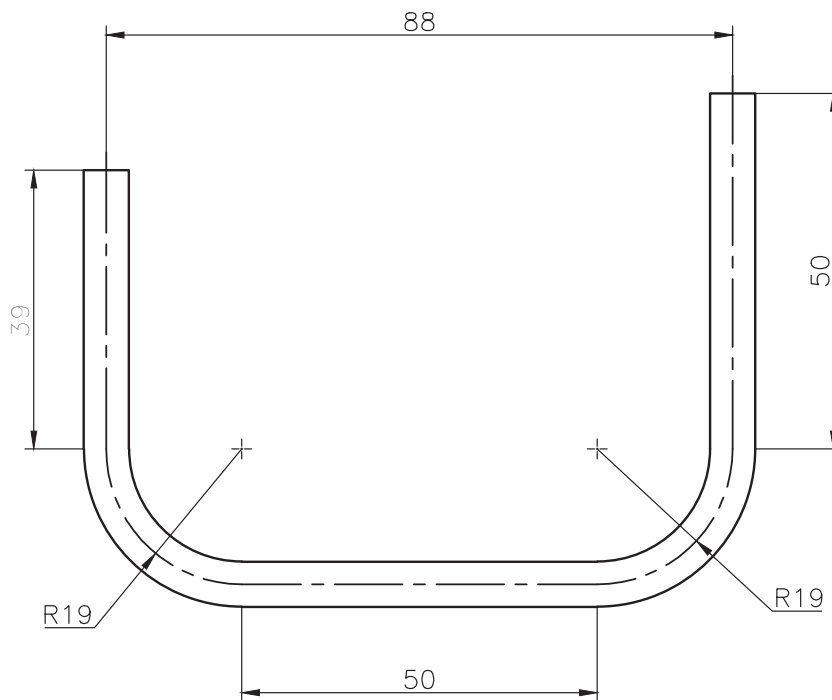
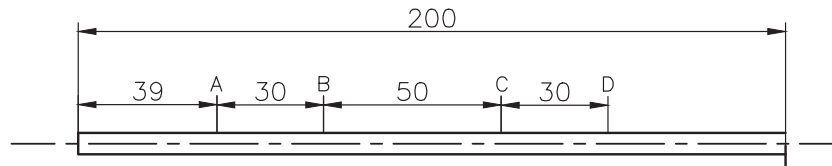
DESARROLLO:

ESCALA: 1:2

NOTA:

DOBLAR EN A HASTA B 90° CON RADIO 19 mm, HACIA LA DERECHA.

DOBLAR EN C HASTA D 90° CON RADIO 19 mm, HACIA LA ARRIBA.



Trat. Térmico	Ninguno	E.P.N.	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Arias, Danny
MATERIAL: ACERO INOXIDABLE 316 SS	Tol. Gral. ± 1	Escala: 1:1	Dis.	Arias, Danny
			Rev.	Ing. Ricardo Soto
			TUBING 1/4 IN LP-(45)	
1.3366.145		Fecha: 2016-07-11		

DESARROLLO:

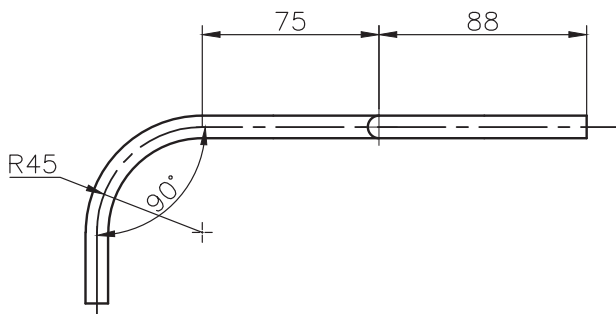
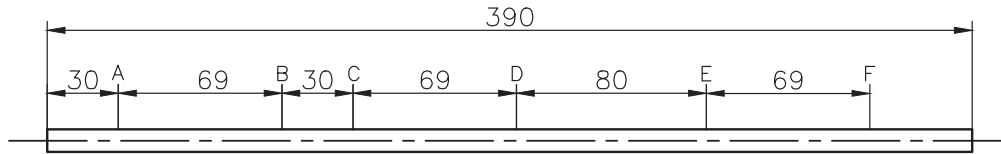
NOTA:

DOBLAR EN A HASTA B 90° CON RADIO 45 mm, HACIA LA DERECHA.

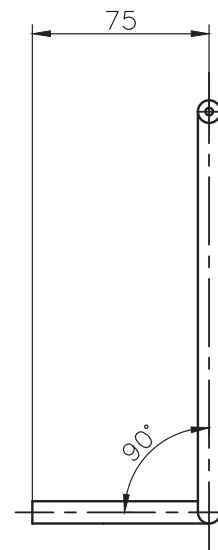
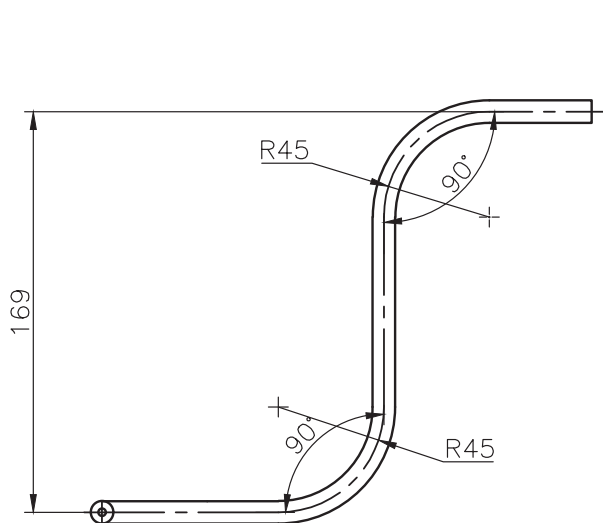
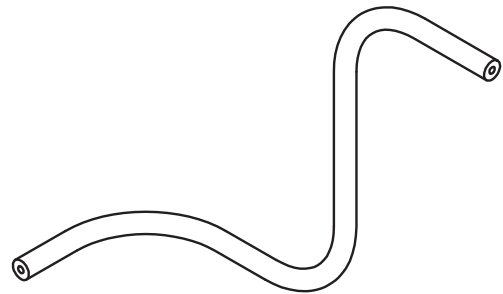
DOBLAR EN C HASTA D 90° CON RADIO 45 mm, HACIA ARRIBA.

DOBLAR EN E HASTA F 90° CON RADIO 45 mm, HACIA LA DERECHA.

N10



VISTA ISOMÉTRICA



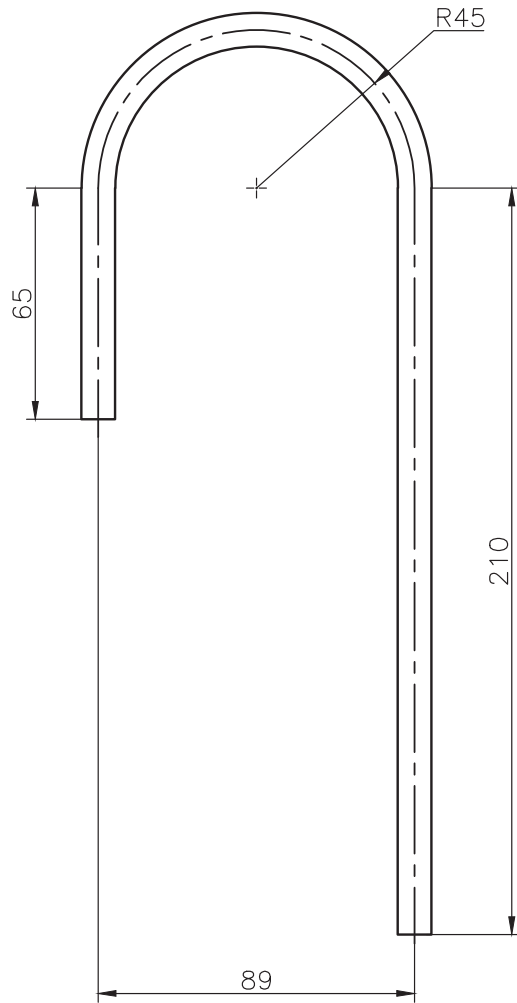
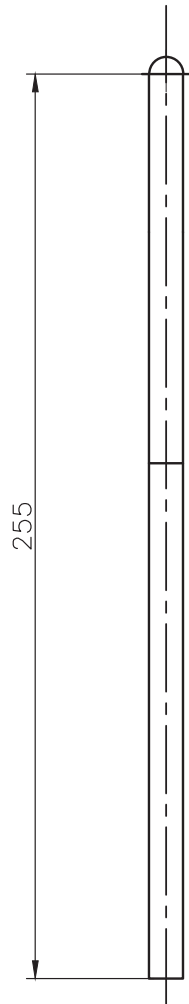
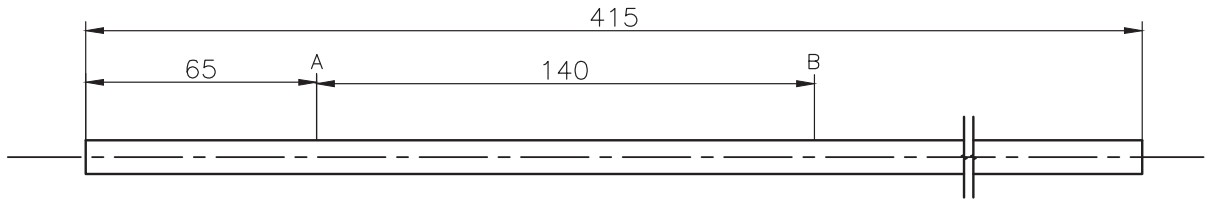
Trat. Térmico	Ninguno	E.P.N.	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Arias, Danny
MATERIAL: ACERO INOXIDABLE 316 SS	Tol. Gral. ± 1	Escala: 1:3	Dis.	Arias, Danny
			Rev.	Ing. Ricardo Soto
			TUBING 3/8 IN HP-(46)	

DESARROLLO:

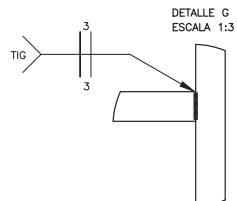
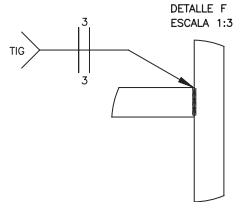
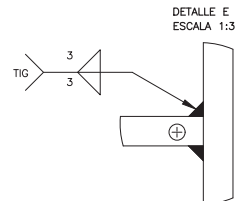
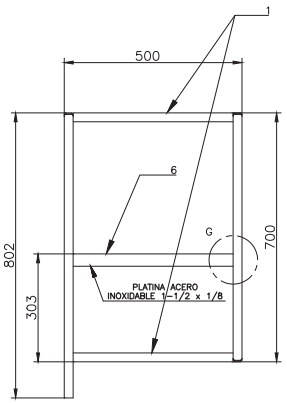
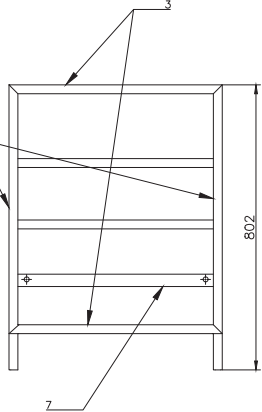
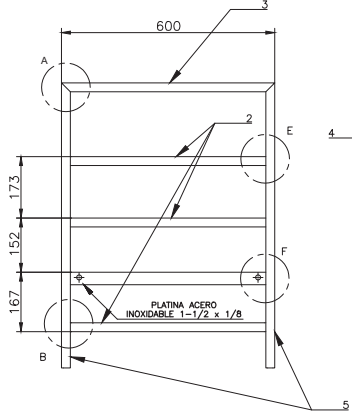
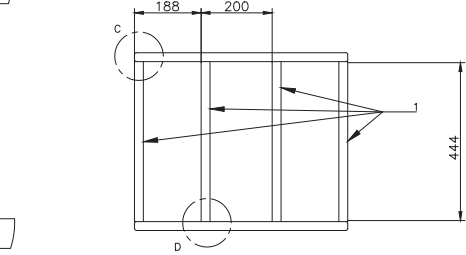
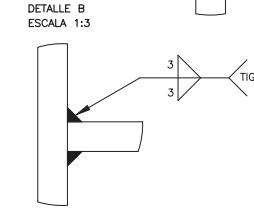
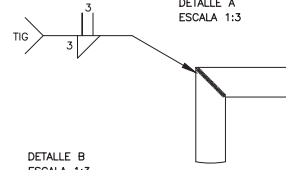
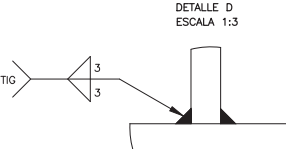
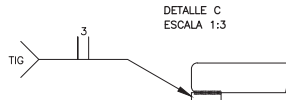
NOTA:

DOBLAR EN A HASTA B 180° CON RADIO 45 mm.

N10



Trat. Térmico	Ninguno	E.P.N.	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Arias, Danny
MATERIAL:		Escala: 1:2	Dis.	Arias, Danny
ACERO INOXIDABLE 316 SS			Rev.	Ing. Ricardo Soto
TUBING 3/8 IN HP-(47)			1.3366.147	
				Fecha: 2016-07-11



NOTA:
 LA SOLDADURA DE LA PARTE SUPERIOR CORRESPONDE AL DETALLE A Y C.
 LA SOLDADURA DE LA PARTE INFERIOR CORRESPONDE A LOS DETALLES B Y D.
 LA SOLDADURA DE LA PARTE POSTERIOR CORRESPONDE A LOS DETALLES E Y F.
 LA SOLDADURA DE LA PARTE LATERAL CORRESPONDE AL DETALLE G.
 LA SOLDADURA SE LO REALIZARA CON TIG.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Altura de la estructura:	802 mm
Ancho de la estructura:	600 mm
Largo de la estructura:	500 mm

7	J-4	PLATINA ACERO INOXIDABLE 1-1/2X1/8 (40 mm x 3 mm) x L=544 mm, SS-316	1	316 SS		
6	D-9	PLATINA ACERO INOXIDABLE 1-1/2X1/8 (40 mm x 3 mm) x L=444 mm, SS-316	1	316 SS		
5	I-7	TUBO CUADRADO 1" x 2,5 mm x L = 798 mm, SS-316	2	316 SS		
4	H-10	TUBO CUADRADO 1" x 2,5 mm x L = 692 mm, SS-316	2	316 SS		
3	G-7	TUBO CUADRADO 1" x 2,5 mm x L = 600 mm, SS-316	3	316 SS		
2	C-13	TUBO CUADRADO 1" x 2,5 mm x L = 544 mm, SS-316	3	316 SS		
1	C-11	TUBO CUADRADO 1" x 2,5 mm x L = 444 mm, SS-316	6	316 SS		
N°	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO Y/O NORMA	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIÓN
Trat. Térmico		Ninguno		E.P.N.		FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA
Recubrimiento		Ninguno				Dib. Arias, Danny
MATERIAL:		ACERO INOXIDABLE 316 SS		Tol. Gral. ± 1	Escala: 1:10	Dis. Arias, Danny
						Rev. Ing. Ricardo Soto
ESTRUCTURA					1.3366.200	
						Fecha: 2016-07-11