

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA VÁLVULA DE GUILLOTINA PARA  
CONTENCIÓN DE PRODUCTOS DE LA INDUSTRIA PETROQUÍMICA EN  
CARROS CISTERNA.**

**CARLOS MANUEL ALVAREZ PINILLA  
EDWIN FERNEY GONZÁLEZ CAMARGO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2015**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA VÁLVULA DE GUILLOTINA PARA  
CONTENCIÓN DE PRODUCTOS DE LA INDUSTRIA PETROQUÍMICA EN  
CARROS CISTERNA.**

**CARLOS MANUEL ALVAREZ PINILLA  
EDWIN FERNEY GONZÁLEZ CAMARGO**

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

**Director**

**Pedro José Díaz Guerrero  
Ingeniero Mecánico**

**Codirector**

**Ricardo Alfonso Jaimes Rolon  
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2015**

## DEDICATORIA

A Dios por haberme acompañado y guiado durante toda mi carrera, y permitirme lograr esta meta tan importante en mi vida.

A mis padres por creer siempre en mí y mostrarme su incondicional apoyo.

A mi hermano Andrés Felipe por haber sido de gran ayuda en un momento crucial en mi formación como ingeniero.

A Mónica Jaimes porque fue un pilar muy importante en mi carrera, dándome apoyo y comprensión en los momentos más duros de ésta.

A mi gran amigo Luis Fernando, con el que compartí todo mi estudio, y pasamos las dificultades en equipo.

Muchas gracias.

Carlos Álvarez.

## DEDICATORIA

A Dios por guiarme e iluminarme en los momentos difíciles que he pasado durante el transcurso de la carrera, para de esta manera llegar a cumplir este gran objetivo de mi vida.

A mi madre, Alireya Camargo por todo su sacrificio y amor que ha hecho siempre para brindarme más de lo necesario para salir adelante, por brindarme su comprensión y confianza en todos los momentos de mi vida para superar los obstáculos más difíciles.

A mis hermanos y demás familiares que me han dado su apoyo durante este arduo trabajo.

A Gisselle Rodríguez por su amor, apoyo y comprensión incondicional durante esta etapa de  
mi vida

A todos mis compañeros y amigos que de una u otra forma me ayudaron para superar y  
llegar con éxito a terminar esta dura pero hermosa carrera.

Muchas gracias.

Edwin González.

## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestros padres por habernos formado en el seno de una familia unida, enseñándonos el valor del trabajo duro y la responsabilidad, mostrándonos que hay cosas en la vida que solo se aprenden con la práctica.

A la gerencia de INDUSTRIAS IMR por habernos dado la oportunidad y la confianza de aplicar nuestra formación como ingeniero en la toma de decisiones a la hora de desarrollar este proyecto.

A su equipo técnico y operarios por hacer más de lo que les corresponde y ser de gran ayuda en las decisiones que solo la experiencia puede tomar.

Al profesor Pedro José Díaz, director de esta tesis, por sus enseñanzas, asesorías y su tiempo dedicado al desarrollo de este gran trabajo.

A todos los profesores que nos transmitieron sus conocimientos, no solo teóricos sino también de la vida diaria, durante todo el transcurso de la carrera.

A nuestros compañeros y amigos por su apoyo.

Los autores.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	23
1. DISEÑO METODOLÓGICO.....	25
1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA .....	25
1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA.....	27
1.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO.....	28
1.3.1 Objetivos generales.....	28
1.3.2 Objetivos específicos.....	28
1.4 REQUERIMIENTOS DEL CONSUMIDOR .....	29
1.5 ORGANIZACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS.....	29
1.6 MATRIZ CALIDAD (QFD) .....	30
1.7 ALTERNATIVAS PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA VÁLVULA DE GUILLOTINA.....	31
1.7.1 Alternativa 1 .....	31
1.7.2 Alternativa 2 .....	32
1.7.3 Alternativa 3 .....	33
1.8 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS .....	34
1.9 ESPECIFICACIÓN DE LA ALTERNATIVA GANADORA.....	34
2. DISEÑO CONCEPTUAL .....	36
2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA VÁLVULA.....	36
2.2 SUBCONJUNTOS.....	37
2.2.1 Yugo .....	37
2.2.2 Empaquetadura.....	42
2.2.3 Bastidor .....	46
2.3 MATRICES .....	49

3. DISEÑO DE DETALLE.....	52
3.1 CÁLCULO DE LAS FUERZAS QUE ACTÚAN EN LA COMPUERTA.....	52
3.2 CÁLCULO DEL TORQUE REQUERIDO PARA CERRAR LA COMPUERTA DE LA VÁLVULA.....	57
3.3 CÁLCULO DE LAS FUERZAS QUE ACTÚAN SOBRE LOS TORNILLOS .....	60
3.4 RESULTADOS FINALES DE LOS CÁLCULOS.....	62
3.5 ANÁLISIS CAE .....	63
3.5.1 Análisis estático de las matrices.....	63
3.5.2 Análisis estático del bastidor .....	70
3.5.3 Análisis estático de los platos de sellado .....	76
3.5.4 Análisis estático del tornillo roscado.....	81
3.6 RESULTADOS FINALES DEL ANÁLISIS CAE DE LA VÁLVULA Y LAS MATRICES.....	87
4. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE.....	88
4.1 ELABORACIÓN DE PLANOS PARA CORTE LÁSER DE PIEZAS.....	88
4.2 ELABORACIÓN DE PLANOS PARA FABRICACIÓN DE MATRICES .....	89
4.3 CONSTRUCCIÓN DE LOS UTILAJES DE SUJECIÓN .....	90
4.3.1 Utilaje de sujeción para acoples.....	90
4.3.2 Utilaje de sujeción para los platos de sellado.....	92
4.4 CONSTRUCCIÓN DEL BASTIDOR .....	93
4.5 CONSTRUCCIÓN DE LOS PLATOS DE SELLADO.....	94
4.5.1 Estampado de los sellos .....	95
4.5.2 Mecanizado de sellos.....	97
4.6 CONSTRUCCIÓN DE LOS ACOPLÉS .....	97
4.6.1 Proceso de maquinado de los acoples.....	98
4.7 CONSTRUCCIÓN DE LA CABEZA ROSCADA.....	99

4.8 CONSTRUCCIÓN DE EL BUJE DE CONTENCIÓN.....	100
4.9 CONSTRUCCIÓN DEL ANILLO DE COMPRESIÓN .....	100
4.10 CONSTRUCCIÓN DE LAS MATRICES.....	101
4.11 CONSTRUCCIÓN DEL TORNILLO Y LA TUERCA DE DESPLAZAMIENTO.....	103
4.11.1 Mecanizado de tuerca de desplazamiento y tornillo.....	104
4.11.2 Tratamiento térmico de tornillos .....	106
4.12 SOLDADURA .....	106
5. MONTAJE .....	108
6. PRESUPUESTO .....	114
7. PRUEBAS .....	117
7.1 PRUEBAS APLICABLES SEGÚN LA NORMA API 598.....	117
7.2 EXAMINACIÓN, PRUEBAS Y PRUEBAS SUPLEMENTARIAS DE LA VÁLVULA.....	117
7.2.1 Inspección realizada en la planta del fabricante.....	117
7.2.2 Grado de inspección .....	118
7.2.3 Exámenes .....	118
7.2.4 Exámenes suplementarios .....	118
7.3 PRUEBAS DE PRESIÓN.....	119
7.3.1 Lugar de la prueba .....	119
7.3.2 Equipo requerido para la prueba .....	119
7.3.3 Prueba requerida.....	119
7.3.4 Fluido de prueba .....	120
7.3.5 Pruebas de presión .....	120
7.3.6 Duración de la prueba .....	120
7.3.7 Prueba de fugas.....	121
7.4 PROCEDIMIENTO PARA LA PRUEBA DE PRESIÓN .....	122

7.4.1 Generalidades.....	122
7.4.2 Prueba del casco.....	123
7.4.3 Prueba en los sellos.....	123
7.4.4 Prueba de baja presión.....	123
7.5 CERTIFICACIÓN Y DUPLICACIÓN DE PRUEBA EN VÁLVULA.....	125
7.6 DESARROLLO DE LAS PRUEBAS.....	126
7.6.1 Prueba de hermeticidad de los sellos.....	126
7.6.2 Prueba de hermeticidad del casco.....	127
7.6.3 Pruebas de resistencia de los empaques al ácido.....	129
7.7 RESULTADOS FINALES DE LAS PRUEBAS.....	131
8. CONCLUSIONES.....	133
BIBLIOGRAFÍA.....	136
ANEXOS.....	138

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Válvula de guillotina.....	26
Figura 2. Válvula de guillotina recta accionada por tornillo. ....	31
Figura 3. Válvula de guillotina recta accionada por yugo de palanca. ....	32
Figura 4. Válvula de guillotina en cuña accionada por tornillo. ....	33
Figura 5. a) Explosión en CAD de la válvula, b) Válvula ensamblada en CAD. ....	36
Figura 6. Explosión del subconjunto yugo.....	37
Figura 7. Tornillo roscado. ....	38
Figura 8. Detalle de la rosca del tornillo.....	39
Figura 9. Tuerca de desplazamiento.....	41
Figura 10. Plato de sellado. ....	41
Figura 11. Vista en corte del plato de sellado. ....	42
Figura 12. Explosión del subconjunto empaquetadura. ....	42
Figura 13. Disco de fricción.....	43
Figura 14. Cordón grafitado. ....	44
Figura 15. Anillo de compresión.....	44
Figura 16. Tuerca de empaquetadura.....	45
Figura 17. Buje de contención. ....	46
Figura 18. Explosión del subconjunto bastidor.....	46
Figura 19. Bridas de sujeción del bastidor. ....	47
Figura 20. Modelo del Bastidor a construir.....	48
Figura 21. Matriz para el estampado de las compuertas. a) Vista isométrica. b) Vista en corte. c) Detalle del estampado de las compuertas. ....	49
Figura 22. Fuerzas que actúan en la compuerta en una sola cara. ....	53
Figura 23. Fuerzas que actúan en la compuerta en ambas caras. ....	54
Figura 24. Corte transversal de la válvula.....	60
Figura 25. Mallado de las matrices. ....	64

Figura 26. Vista isométrica del corte de las matrices con su carga, b) Vista frontal del corte de las matrices con su carga.....	65
Figura 27. Valores de esfuerzos sobre la matriz.....	67
Figura 28. Análisis de desplazamiento de la matriz. ....	68
Figura 29. Análisis de factor de seguridad de la matriz. ....	69
Figura 30. Mallado del bastidor.....	70
Figura 31. Cargas aplicadas en el casco o bastidor. ....	71
Figura 32. Valores de esfuerzos sobre el bastidor.....	73
Figura 33. Análisis de desplazamiento del bastidor. ....	74
Figura 34. Análisis de factor de seguridad del bastidor. ....	75
Figura 35. Mallado de los platos de sellado.....	76
Figura 36. Cargas aplicadas en los platos de sellado.....	77
Figura 37. Valores de esfuerzos sobre los platos de sellado.....	78
Figura 38. Análisis de desplazamiento de los platos de sellado. ....	79
Figura 39. Análisis de factor de seguridad de los platos de sellado.....	80
Figura 40. Mallado del tornillo roscado. ....	81
Figura 41. Cargas aplicadas en el tornillo roscado. ....	82
Figura 42. Valores de esfuerzos sobre el tornillo roscado. ....	84
Figura 43. Análisis de desplazamiento del tornillo roscado. ....	85
Figura 44. Análisis de factor de seguridad del tornillo roscado.....	86
Figura 45. Ejemplo de planos para corte de piezas. ....	88
Figura 46. Plano de la vista frontal en corte de la matriz. ....	89
Figura 47. Utilaje de sujeción para los acoples.....	90
Figura 48. Utilaje de sujeción para acoples montado en el torno.....	91
Figura 49. Vista lateral del CAD del utilaje de sujeción para acoples montado en el torno.....	91
Figura 50. Utilaje de sujeción para los platos de sellado. ....	92
Figura 51. Utilaje de sujeción para los platos de sellado montado en el torno.....	93
Figura 52. Láminas curvadas superiores e inferiores. ....	94
Figura 53. Platos de sellado.....	95

Figura 54. Matrices y platos de sellado.....	96
Figura 55. Platos de sellado después de haber sido estampados. ....	96
Figura 56. Mecanizado de los platos de sellado en el torno. ....	97
Figura 57. Corte de los acoples. ....	98
Figura 58. Maquinado de los acoples en el torno. ....	98
Figura 59. Acoples maquinados.....	99
Figura 60. Cabeza roscada.....	99
Figura 61. Buje de contención. ....	100
Figura 62. Anillo de compresión.....	101
Figura 63. Material para la construcción de las matrices. ....	102
Figura 64. Matrices terminadas.....	102
Figura 65. Corte del material para la tuerca de desplazamiento.....	103
Figura 66. Corte del material para el tornillo roscado. ....	103
Figura 67. Mecanizado de la tuerca de desplazamiento. ....	104
Figura 68. Tuerca de desplazamiento terminada.....	104
Figura 69. Mecanizado del tornillo roscado.....	105
Figura 70. Tornillo roscado terminado. ....	105
Figura 71. Tornillos con tratamiento térmico.....	106
Figura 72. Proceso de soldadura TIG. ....	107
Figura 73. Proceso de soldado de la parte superior del bastidor.....	108
Figura 74. Proceso de soldado de la parte inferior del bastidor. ....	109
Figura 75. Proceso de soldado de los acoples de la válvula.....	109
Figura 76. Proceso de soldado de los platos de sellado.....	110
Figura 77. Proceso de soldado de la tuerca de empaquetadura.....	110
Figura 78. Elementos de la válvula para ensamble. ....	111
Figura 79. Ensamble de la tuerca de empaquetadura y buje de contención.....	111
Figura 80. Ensamble del tornillo roscado y la parte superior del bastidor.....	112
Figura 81. Ensamble de platos de sellado y tornillo roscado. ....	112
Figura 82. Ensamble general de la válvula. ....	113
Figura 83. Prueba de hermeticidad del sello A. ....	126

Figura 84. Prueba de hermeticidad del sello B. ....	127
Figura 85. Prueba de hermeticidad del casco.....	128
Figura 86. Empaques sumergidos en ácido sulfúrico. ....	129
Figura 87. Empaque de teflón sumergido en ácido al cabo de 30 días. ....	130
Figura 88. Empaque de neopreno sumergido en ácido al cabo de 30 días. ....	130

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Organización de los requerimientos.....	29
Tabla 2. Matriz de calidad.....	30
Tabla 3. Evaluación de las opciones de diseño de la válvula. ....	34
Tabla 4. Lista de elementos principales de la válvula. ....	37
Tabla 5. Lista de elementos del subconjunto yugo. ....	38
Tabla 6. Lista de elementos del subconjunto empaquetadura. ....	43
Tabla 7. Lista de elementos del subconjunto bastidor. ....	47
Tabla 8. Resultados obtenidos en los cálculos de la válvula. ....	62
Tabla 9. Información de la malla para las matrices.....	64
Tabla 10. Propiedades mecánicas del material AISI 1045.....	66
Tabla 11. Información de la malla para el bastidor. ....	71
Tabla 12. Propiedades mecánicas del material AISI 304.....	72
Tabla 13. Información de la malla para los platos de sellado.....	77
Tabla 14. Información de la malla para el tornillo roscado.....	82
Tabla 15. Propiedades mecánicas del material AISI 420.....	83
Tabla 16. Resultados del análisis CAE de las matrices. ....	87
Tabla 17. Resultados del análisis CAE del bastidor.....	87
Tabla 18. Resultados del análisis CAE de los platos de sellado.....	87
Tabla 19. Resultados del análisis CAE del tornillo roscado. ....	88
Tabla 20. Costos de los materiales utilizados. ....	114
Tabla 21. Costos de maquinados, doblados, soldados y tratamientos térmicos. .	114
Tabla 22. Costos totales del proyecto.....	115
Tabla 23. Costo de fabricación de una válvula. ....	116
Tabla 24. Pruebas requeridas según el tipo de válvula. ....	120
Tabla 25. Duración de la prueba de presión. ....	121

Tabla 26. Máximas fugas permitidas. ....	122
Tabla 27. Resultados de la prueba de hermeticidad de los sellos A y B. ....	131
Tabla 28. Resultados de la prueba de hermeticidad del casco. ....	131
Tabla 29. Resultados de las pruebas de resistencia de los empaques al ácido. .	132

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Propiedades del electrodo ER308L para soldadura TIG.....	138
ANEXO B. Propiedades del acero AISI 304.....	139
ANEXO C. Propiedades del acero AISI 420.. .....	140
ANEXO D. Propiedades del acero AISI 1045.. .....	141
ANEXO E. Carta de compromiso de financiación.....	142
ANEXO F. Manual de mantenimiento y operación de la válvula.....	143
ANEXO G. Planos de construcción.....	148

## RESUMEN

**TITULO:** DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA VÁLVULA DE GUILLOTINA PARA CONTENCIÓN DE PRODUCTOS DE LA INDUSTRIA PETROQUÍMICA EN CARROS CISTERNA.\*

**AUTORES:** CARLOS MANUEL ALVAREZ, EDWIN FERNEY GONZÁLEZ.\*\*

**PALABRAS CALVES:** Diseño y construcción, válvula de guillotina, carros cisterna.

### **DESCRIPCIÓN:**

El presente trabajo de grado surge como una respuesta a la necesidad de la industria fabricante de carros cisterna de mejorar sus productos y servicios, apoyándose en la formación que la Universidad Industrial de Santander brinda a sus estudiantes de ingeniería, los cuales mediante el desarrollo de este proyecto dan solución a un problema recurrente en dicha industria. Los camiones cisterna que actualmente se fabrican cuentan con tres separaciones internas, en donde se instala una válvula de guillotina por cada división que permite el flujo entre éstas.

En la industria nacional se fabrican válvulas de guillotina para contención de diferentes productos, como hidrocarburos, ácidos, aceites, catalizadores, etc., las cuales en su gran mayoría tienen fallas de diseño y fabricación, ya que presentan fugas, enclavamientos, daños en sellos que causan contaminación de los productos transportados y serios problemas de desmontaje, debido a la afectación que recibe el recipiente por el corte de la válvula averiada para su extracción.

Para tal fin se diseñará y construirá un prototipo de válvula de guillotina para camiones cisterna, en cuyo resultado adecuado se abrirá una posibilidad de mercado importante para INDUSTRIAS IMR, haciéndola pionera en el servicio completo de fabricación, montaje y mantenimiento. La ejecución de este proyecto de pregrado, fomentará el desarrollo de nuevos profesionales que contribuyan a la misión de la universidad.

En el desarrollo de este proyecto se especifican las condiciones de diseño y fabricación de este equipo, las cuales se presentan de forma clara y entendible desde los cálculos básicos pasando por la fabricación y el ensamblaje.

Por último, se encontrarán los anexos de todos los componentes requeridos para el diseño y fabricación del dispositivo con sus respectivos planos.

---

\*Trabajo de Grado.

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Ing. Pedro José Díaz Guerrero.

## ABSTRACT

**TITLE:** DESIGN AND CONSTRUCTION OF A KNIFE GATE VALVE FOR CONTAINING PRODUCTS OF THE PETROCHEMICAL INDUSTRY IN TANK TRUCKS.\*

**AUTHORS:** CARLOS MANUEL ALVAREZ, EDWIN FERNEY GONZÁLEZ.\*\*

**KEY WORDS:** Design and construction, knife gate valve, tank trucks.

### DESCRIPTION:

This degree work is a response to the need for tank trucks manufacturing industry to improve its products and services, based on the formation that the Industrial University of Santander offers its engineering students, which through the development of this project give a solution for a recurring problem in this industry. Tankers currently manufactured have three internal partitions, where a gate valve is installed for each division that allows flow between them.

In the domestic industry knife gate valves are used for containment of various products, such as hydrocarbons, acids , oils , catalysts, etc. , which mostly are design and manufactured with flaws, since leaks , interlocks , damaged seals causing contamination of the products transported and dismantling serious problems due to the effects that receiving container by cutting the damaged valve for removal.

For that purpose, design and build a prototype of knife gate valve for tankers, in which proper result opens a possibility of significant market for IMR INDUSTRIES, making it a pioneer in full service manufacturing, installation and maintenance. The implementation of this undergraduate project encourages the development of new professionals who contribute to the mission of the university.

In developing this project specified design conditions and manufacture of this equipment presenting a clear and understandable way from basic calculations through manufacturing and assembly.

Finally the annexes of all components required for the design and manufacture of the device with their respective planes are found.

---

\*Graduation Project.

\*\*School of Physics and Mechanics, School of Mechanical Engineering, Pedro José Díaz Guerrero Engineer.

## INTRODUCCIÓN

Debido al crecimiento de la industria petrolera, la demanda de carros cisterna para llevar el crudo desde los puntos de acopio a los puertos del país, ha venido en aumento exigiendo a la industria nacional aumentar su capacidad de producción para lograr cubrir los requerimientos de acuerdo al volumen de crudo que necesita salir del país diariamente.

La continua necesidad de productos de mejor calidad fiables en el tiempo hace necesaria la aplicación de la teoría a la práctica, en este caso el conocimiento de ingeniería en el diseño mecánico y manufactura es de vital importancia en la fabricación de mejores productos

Los camiones cisterna que actualmente se fabrican cuentan con tres separaciones internas, en donde se instala una válvula de guillotina por cada división que permite el flujo entre éstas. Dichas válvulas se fabrican en la industria nacional para contención de diferentes productos, como hidrocarburos, ácidos, aceites, catalizadores, etc.

El problema radica en que estas válvulas en su gran mayoría tienen fallas de diseño y fabricación, ya que presentan fugas, enclavamientos, daños en sellos que causan contaminación de los productos transportados y serios problemas de desmontaje, debido a la afectación que recibe el recipiente por el corte de la válvula averiada para su extracción

Es ahí donde radica la importancia de los ingenieros mecánicos, quienes son los encargados de aplicar todos sus conocimientos a la solución de problemas, siendo éstos de vital importancia en el desarrollo de las empresas, pues hacen posible el diseño nuevos productos o mejorar los existentes.

El actual escenario de competitividad en el que se mueven las empresas de ingeniería demanda nuevos enfoques de producción y comercialización, donde las compañías deben brindar soluciones integrales, donde no es suficiente satisfacer con el servicio sino que también es muy importante ofrecer el producto, el cual sea representativo a nivel comercial, por su buena calidad y precio.

INDUSTRIAS IMR es una empresa privada santandereana del sector manufacturero y mantenimiento industrial con más de 20 años de experiencia y operación a nivel andino en la industria del gas y del petróleo, que busca con este proyecto dar apoyo de ingeniería a una de sus líneas de montaje y mantenimiento. Actualmente se encarga de la comercialización de válvulas de guillotina para los carros cisterna, pero cuyo nuevo objetivo es la fabricación de las mismas, pues tiene toda la capacidad tecnológica para lograrlo.

Con la aplicación de los conocimientos de ingeniería mecánica, la metodología de diseño debe seleccionar entre todas las posibilidades, cuál es la que de acuerdo a nuestro criterio es la más adecuada y dar solución acertada al problema en estudio.

# 1. DISEÑO METODOLÓGICO

## 1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

De acuerdo con las estimaciones de la Asociación Colombiana del petróleo (ACP) para el 2014 se prevé que el nivel de extracción de crudo se ubicaría en 1'030.000 barriles por día. Como consecuencia de esto, los transportadores se han convertido en una pieza fundamental para trasladar los productos de esta industria desde las zonas de operación hacia los puertos para su exportación y otros como derivados hacia el interior del país, generando así un incremento del 23% en la tasa de fabricación de carros cisterna en el territorio nacional, como lo afirma el informe 'Situación Automotriz', de Bbva Research.

Cada camión cisterna cuenta con una separación interna de 3 secciones esto con el fin de bloquear la agitación excesiva y evitar que el vehículo ruede con un movimiento errático. Cada división requiere de una válvula cuya función sea contener los productos de cada compartimiento y permitir el descargue de los mismos.

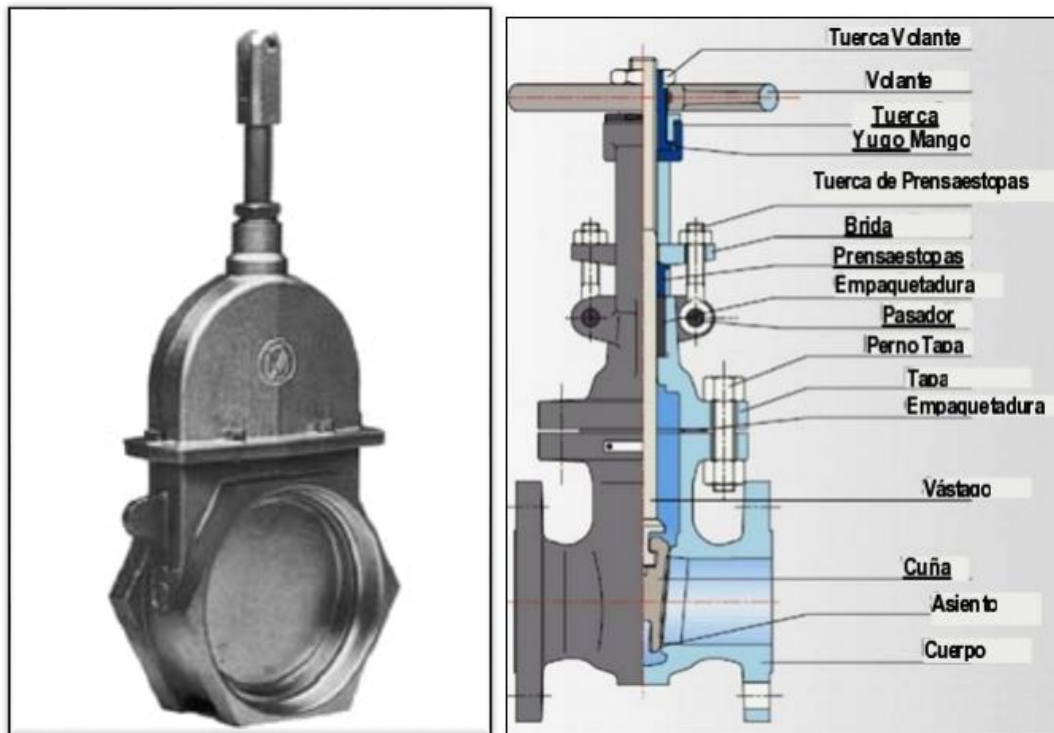
En la industria nacional se fabrican válvulas de guillotina para contención de diferentes productos, como hidrocarburos, ácidos, aceites, catalizadores, etc., las cuales en su gran mayoría tienen fallas de diseño y fabricación, ya que presentan fugas, enclavamientos y daños en sellos que causan contaminación de los productos transportados y serios problemas de desmontaje, debido a la afectación que recibe el recipiente por el corte de la válvula averiada para su extracción.

Actualmente estas válvulas se están importando del exterior a un costo de \$ 2.300.000, debido a la baja calidad de las válvulas nacionales anteriormente mencionadas. De ahí que INDUSTRIAS IMR, una organización privada dedicada a la prestación de servicios en el área metalmecánica con una trayectoria en el

mercado de más de 20 años de experiencia, la cual se especializa en la fabricación y comercialización de productos especiales para la industria petroquímica, del gas, alimenticia y del papel, tenga como interés diseñar y construir una válvula de guillotina para camiones cisterna, teniendo en cuenta que el producto sea de calidad, además que satisfaga las necesidades de operación y de costos de fabricación.

Para tal fin se diseñará y construirá un prototipo de válvula de guillotina para camiones cisterna, en cuyo resultado adecuado se abrirá una posibilidad de mercado importante para INDUSTRIAS IMR, haciéndola pionera en el servicio completo de fabricación, montaje y mantenimiento. La ejecución de este proyecto de pregrado, fomentará el desarrollo de nuevos profesionales que contribuyan a la misión de la universidad.

**Figura 1. Válvula de guillotina.**



Valvula de guillotina. Disponible página web; <<http://www.milwaukeeerubber.com/valves.html>>

## 1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA

Según la revista semana aproximadamente 4000 camiones cisterna circulan por las vías colombianas transportando crudo desde los diferentes yacimientos hasta los puertos de salida del país. De éstos se estima que la mitad se fabrican en Santander, pues su capacidad industrial y de apoyo al sector petroquímico así lo demuestra.

Los camiones cisterna que actualmente se fabrican cuentan con tres separaciones internas, en donde se instala una válvula de guillotina por cada división que permite el flujo entre éstas. En un panorama general, la ciudad de Bucaramanga suministra repuestos y válvulas para un promedio de 2000 camiones cisterna en todo el país con un saldo de 6000 válvulas, cuyo tiempo de vida es de 2 años aproximadamente a un costo de 1 millón de pesos por válvula. Este costo corresponde a las que se fabrican en el sector de dudosa calidad y bajo desempeño.

Teniendo en cuenta diseños previos, se determinará la forma que genere la mejor estanqueidad en el sello, se seleccionará un material que sea químicamente resistente con el fin de garantizar su durabilidad y resistencia a los agentes corrosivos durante la operación. En cuanto a la funcionalidad del diseño y construcción de la válvula de guillotina se evaluará la opción más apropiada cuyo fin sea un montaje y mantenimiento sencillo.

Finalmente, de acuerdo a todo lo anteriormente mencionado se requiere un diseño de carcasa, sellos y sistema de cierre desmontable con los más altos grados de calidad y funcionalidad en cada uno de los parámetros involucrados.

## **1.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO**

### **1.3.1 Objetivo general**

- Desarrollar el diseño mecánico y construcción para una válvula que facilite el manejo de fluidos en la industria petroquímica, para de esta manera contribuir con la misión de la universidad de aportar al avance tecnológico y generar conocimiento, así como desarrollar habilidades para diseñar componentes y dar solución a necesidades planteadas.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Diseñar una válvula de guillotina de 6 pulgadas para su utilización en camiones cisterna que asegure buena estanqueidad en los sellos y no enclavamiento del tornillo de la compuerta para la contención de productos como: ACPM, gasolina corriente, jet y productos de la industria química como ácido sulfúrico.
- Diseñar y construir las matrices necesarias para la fabricación de la compuerta de la válvula por estampado, teniendo en cuenta la disponibilidad tecnológica del sector a fin de hacerlo viable y productivo.
- Desarrollar una metodología que permita establecer las condiciones de operación segura de la válvula en ausencia de una normativa nacional para su implementación en carros cisterna.
- Construir un prototipo de válvula de guillotina para carros cisterna que cumpla con los requerimientos de calidad, costo, desempeño y seguridad.

## 1.4 REQUERIMIENTOS DEL CONSUMIDOR

A continuación se establecen las demandas básicas de los interesados en el desarrollo de la válvula:

- Peso
- Resistente
- Seguro
- Fácil mantenimiento
- Económico
- Resistente a la corrosión
- Buen acabado

## 1.5 ORGANIZACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS

Los requerimientos de la válvula se ordenaron en subgrupos de acuerdo a sus relaciones:

**Tabla 1. Organización de los requerimientos.**

CONSTRUCCIÓN	SENCILLA ECONÓMICA BUEN ASPECTO
OPERACIÓN	SEGURA RESISTENTE LIVIANA
PROLONGADO SERVICIO	DURABLE FÁCIL MANTENIMIENTO RESISTENTE A LA CORROCIÓN

El resultado de esta organización constituye las necesidades o requerimientos del cliente y deben introducirse en la matriz de calidad en las celdas verticales. A estas necesidades se le han asignado un valor que estima la importancia para el consumidor, además se establecieron los requisitos previos del proyecto como características de ingeniería medibles. Estos requisitos se introducen en la parte superior de la matriz de calidad y se establece una relación entre las necesidades del consumidor y los requisitos del proyecto, asignándole unos valores en las casillas de la matriz de calidad.

## 1.6 MATRIZ CALIDAD (QFD)

**Tabla 2. Matriz de calidad.**

		Tolerancias (buen sello)	Pocas piezas	Seguridad	Resistente	Montaje	Piezas estándar	Ergonomía	Materiales económicos	Fácil Construcción	Hojas de cálculo y Planos
Resistente	8	24 3	72 9	72 9	72 9	48 6	72 9	8 1	72 9	48 6	72 9
Resistente a la corrosión	8	24 3	24 3	72 9	72 9	24 3	48 6	8 1	72 9	48 6	72 9
Económica	8	24 3	72 9	72 9	72 9	24 3	48 6	48 6	72 9	72 9	8 1
Planos	5	45 9	45 9	45 9	5 1	45 9	45 9	45 9	5 1	45 9	45 9
Fácil Mantenimiento	4	24 6	36 9	24 6	12 3	36 9	36 9	24 6	12 3	36 9	36 9
Seguro	3	3 1	3 1	27 9	27 9	9 3	3 1	27 9	27 9	27 9	27 9
Peso	2	18 9	12 6	2 1	18 9	2 1	6 3	2 1	6 3	12 6	18 9
Ergonómica	1	3 3	1 1	9 9	1 1	6 6	1 1	9 9	1 1	6 6	9 9
TOTAL		165	265	323	279	194	259	171	267	294	287

## 1.7 ALTERNATIVAS PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA VÁLVULA DE GUILLOTINA

Una vez obtenidos los resultados de la matriz de calidad y la ponderación de las prioridades a tener en cuenta, se realizará la selección de la solución teniendo como base los requerimientos obtenidos del QFD.

**1.7.1 Alternativa 1.** Válvula de guillotina recta de bastidor fundido y accionada por tornillo.

Ésta posee una estructura fundida bastante rígida elaborada en acero inoxidable y de compuerta recta. Es una válvula de paso total y accionamiento lento, donde el disco se mantiene abierto o cerrado. Éste utiliza una empaquetadura de goma que permite dar un sellado adecuado, por lo cual una desventaja es que el combustible y los ácidos degradan rápidamente los sellos de material polimérico, causando más costos de mantenimiento sumado a su alto costo fundición y mecanizado.

**Figura 2. Válvula de guillotina recta accionada por tornillo.**



Válvula de guillotina. Disponible página web;  
<[http://www.fnwvalve.com/FNWValve/products.jsp?CATEGORY=2&PARENT\\_CATEGORY=3&NavLink=37](http://www.fnwvalve.com/FNWValve/products.jsp?CATEGORY=2&PARENT_CATEGORY=3&NavLink=37)>

**1.7.2 Alternativa 2.** Válvula de guillotina recta de bastidor estampado accionada por yugo de palanca.

Su bastidor es una estructura rígida estampada de fácil fabricación, la cual tiene un mando por palanca, aunque resulta un poco más fácil su montaje y mantenimiento, la compuerta resulta menos efectiva debido a que el movimiento del carro cisterna o la agitación excesiva del producto puede generar que la cuña se levante de su asiento, lo que afectaría la estanqueidad de sus sellos.

**Figura 3. Válvula de guillotina recta accionada por yugo de palanca.**

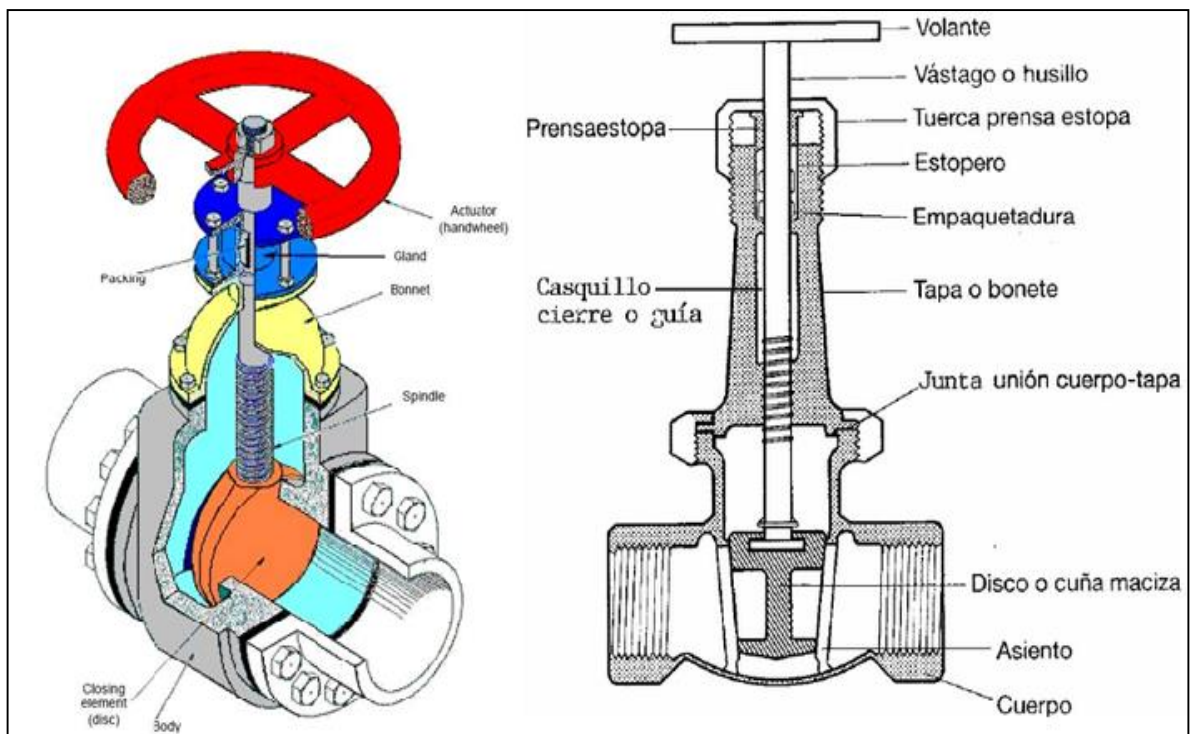


Válvula de guillotina. Disponible página web; <<http://www.milwaukeeerubber.com/valves.html>>

### 1.7.3 Alternativa 3. Válvula de guillotina en cuña accionada por tornillo con bastidor estampado.

Esta válvula se construye a partir de un bastidor conformado por chapa metálica y dividido en dos secciones, las cuales permiten un ensamblaje más sencillo. Su asiento se hace por contacto metal-metal, en forma de cuña, la cual está compuesta por dos discos ahusados y estampados en forma de w que permite un sellado flexible y hermético de las superficies. Las ventajas de este conformado son sus bajos costos de producción, pues una vez las matrices estén listas su fabricación será económica, además que permite una mejor estanqueidad debido a la geometría de su compuerta.

**Figura 4. Válvula de guillotina en cuña accionada por tornillo.**



Válvula de guillotina. Disponible página web; <<http://www.inevid.com/2013/12/valvulas-de-compuerta.html>>

## 1.8 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

Para decidir cuál de estas opciones anteriormente mencionadas es la más adecuada para cada una de las alternativas, se hace una ponderación final que está de acuerdo a las indicaciones obtenidas del QFD.

**Tabla 3. Evaluación de las opciones de diseño de la válvula.**

				Válvulas					
				Opción 1		Opción 2		Opción 3	
Criterios de evaluación		Parámetros	Pond	Nota	Ponderación	Nota	Ponderación	Nota	Ponderación
Hojas de Cálculo y Planos	0.24	Resistente	0.168	2	0.336	3	0.504	5	0.84
		Peso	0.048	3	0.144	3	0.144	4	0.192
		Planos	0.024	2	0.048	4	0.096	5	0.12
Seguridad	0.27	Seguro	0.27	4	1.08	4	1.08	5	1.35
Resistente	0.24	Resistente a la oxidación	0,144	4	0.576	5	0.72	4	0.576
		Económica	0,096	4	0.384	3	0.288	5	0.48
Fácil Construcción	0.25	Fácil mantenimiento	0.175	3	0.525	3	0.525	4	0.7
		Ergonómica	0.075	4	0.3	4	0.3	4	0.3
<b>TOTAL</b>				3.393		3.657		4.558	

Notas	1	Deficiente
	5	Óptimo

## 1.9 ESPECIFICACIÓN DE LA ALTERNATIVA GANADORA

La solución que se tomará para la válvula, se obtuvo del análisis de las opciones más factibles para cada aspecto del proyecto.

La válvula será de tipo compuerta en cuña con accionamiento por tornillo, ya que ésta dispone de las mejores características de estanqueidad en los sellos, ofreciendo una construcción más compacta y de fácil mantenimiento. Este tipo de

válvula presenta un grado de dificultad mayor a la hora de construir comparada con la de compuerta recta debido a su geometría en forma de cuña, pero podemos utilizar dicha geometría para darle mejor sello a la válvula, ya que al final es la característica más importante de la válvula que el cliente busca.

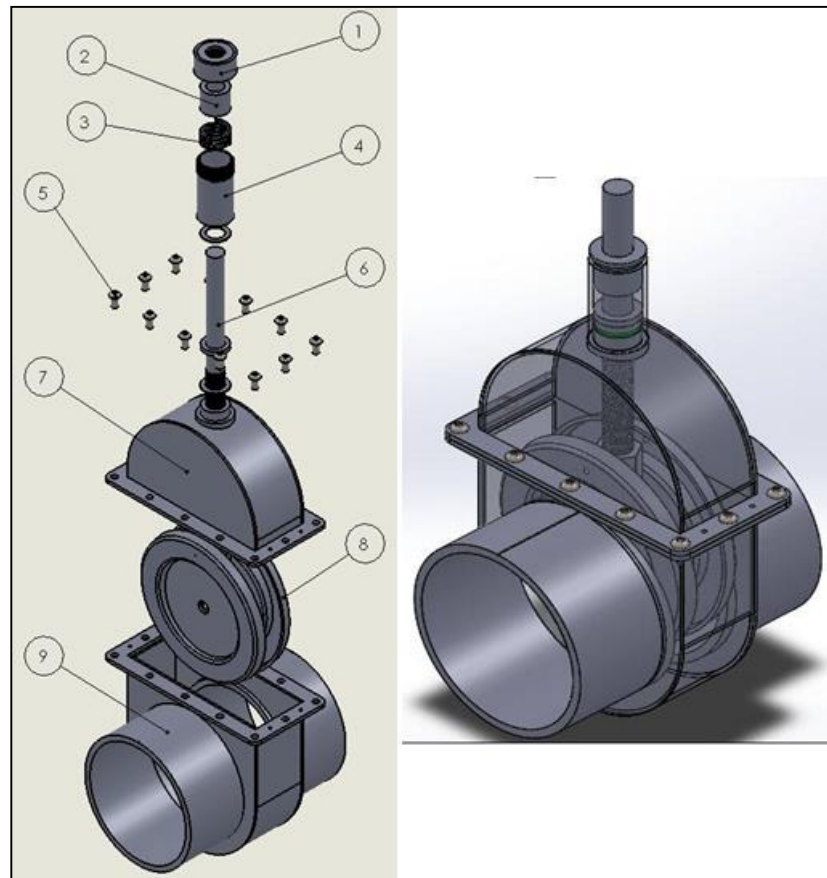
Por otra parte, el accionamiento por tornillo nos facilita la operación de la válvula desde una distancia mayor, facilitándole al operario poder abrir la válvula desde la parte superior del tanque del camión cisterna, además que se puede asegurar mucho mejor la compuerta por medio del tornillo, pues éste ofrece una mejor carga de apriete.

## 2. DISEÑO CONCEPTUAL

### 2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA VÁLVULA

La válvula de guillotina con compuerta en cuña logra la separación de los compartimientos en el tanque del carro cisterna con el fin de evitar fuerzas excesivas debido a la agitación de la sustancia transportada, para de esta forma evitar un movimiento errático del vehículo.

**Figura 5. a) Explosión en CAD de la válvula, b) Válvula ensamblada en CAD.**



a)

b)

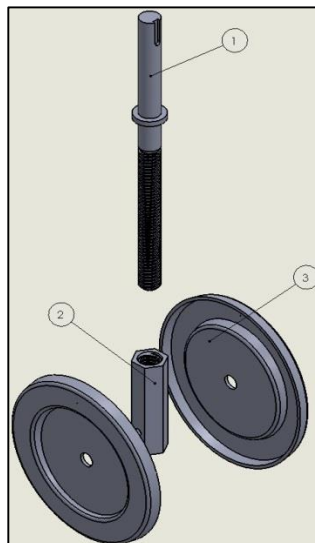
**Tabla 4. Lista de elementos principales de la válvula.**

<b>NÚMERO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
1	Tuerca de empaquetadura
2	Anillo de compresión
3	Cordón grafitado
4	Buje de contención
5	Tornillos
6	Tornillo roscado
7	Bastidor
8	Platos de sellado
9	Acoplamiento

## **2.2 SUBCONJUNTOS**

**2.2.1 Yugo.** El yugo está conformado por un tornillo roscado, la tuerca de desplazamiento y los discos o platos de sellado. Es el encargado de generar la apertura y cerrado de la válvula por medio del desplazamiento de los platos de sellado.

**Figura 6. Explosión del subconjunto yugo.**

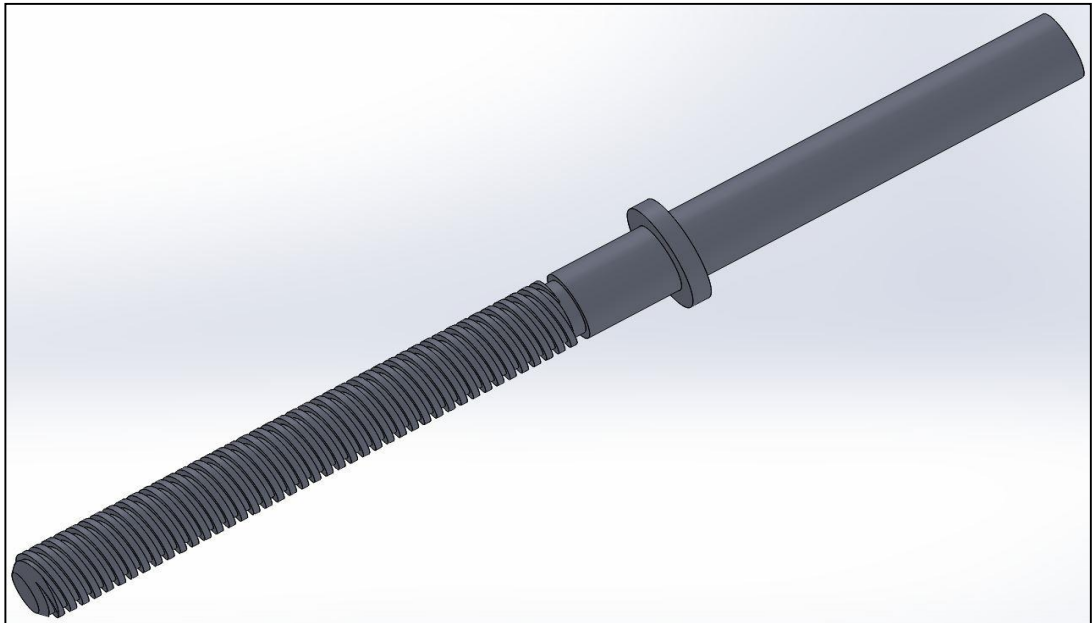


**Tabla 5. Lista de elementos del subconjunto yugo.**

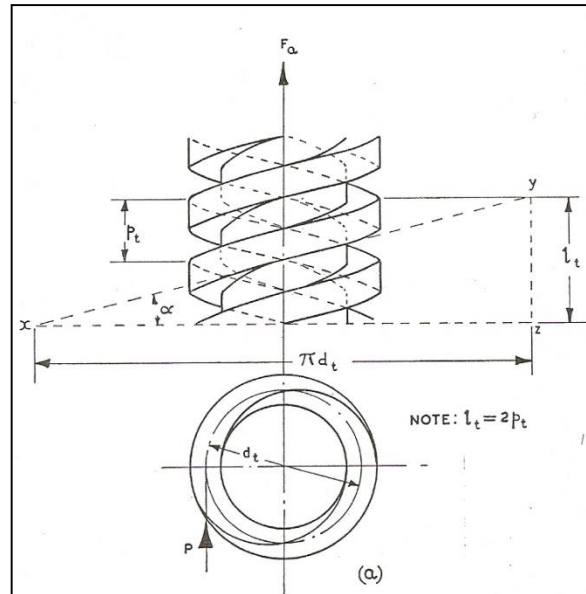
<b>NUMERO</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD</b>
1	Tornillo roscado	1
2	Tuerca de desplazamiento	1
3	Platos de sellado	2

**2.2.1.1 Tornillo roscado.** El tornillo roscado es el encargado de mover los platos de sellado para dar cierre a la válvula. Está construido de acero AISI 420 templado de 7/8" de diámetro, longitud 340 mm y de dos entradas. Se diseñó con tipo de rosca cuadrada, un paso de 1/6" y una longitud roscada de 174 mm.

**Figura 7. Tornillo roscado.**



**Figura 8. Detalle de la rosca del tornillo.**



Fuente: Pearson, G. H. The design of valves and fittings. London: Sir Isaac Pitman & Sons, 1953. p.54.

➤ **Ángulo de hélice ( $\alpha$ )**

Teniendo en cuenta que el diámetro medio es:

$$d_m = d_t - \frac{P_t}{2}$$

$$d_m = \frac{7}{8} - \frac{\left(\frac{1}{6}\right)}{2} = 0,792''$$

Por lo tanto en ángulo de hélice es:

$$\alpha = \frac{P_t}{\pi * d_m}$$

$$\alpha = \frac{\left(\frac{1}{6}\right)}{\pi * 0,792} = 0,06698 \text{ rad}$$

$$\alpha = 3,83^\circ$$

➤ **Eficiencia del tornillo de rosca cuadrada**

Teniendo en cuenta que el valor de  $\mu = 0,18^1$  para contacto entre materiales de acero-acero:

$$\eta_s = \frac{P_t(\pi * d_m - \mu * P_t)}{\pi * d_t(P_t + \mu * \pi * d_m)}$$

$$\eta_s = \frac{1/6(\pi * 0,792 - 0,18 * 1/6)}{\pi * 0,792(1/6 + 0,18 * \pi * 0,792)}$$

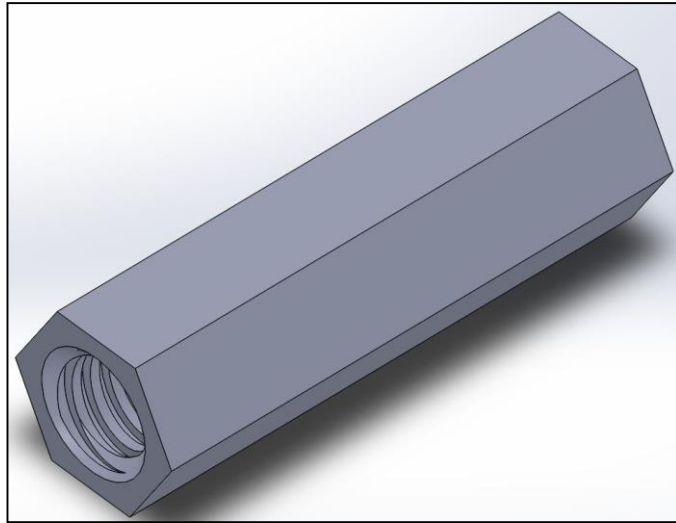
$$\eta_s = 0,267$$

**2.2.1.2 Tuerca de desplazamiento.** La tuerca de desplazamiento es la encargada de unir los platos de sellado al tornillo roscado, para de esta forma seguir la trayectoria de apertura y cierre. Está construida de AISI 304 hexagonal de 1 ¼", y 150 mm de longitud. Tiene una rosca interna cuadrada de dos entradas con una longitud roscada de 40 mm y un paso de 1/6".

---

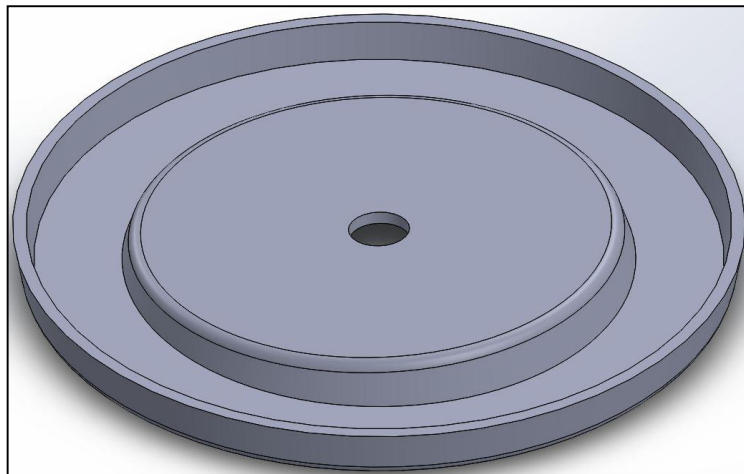
<sup>1</sup> KOSHKIN N.I y SHIRKÉVICH M.G. Manual de física elemental. MIR,1975.

**Figura 9. Tuerca de desplazamiento.**

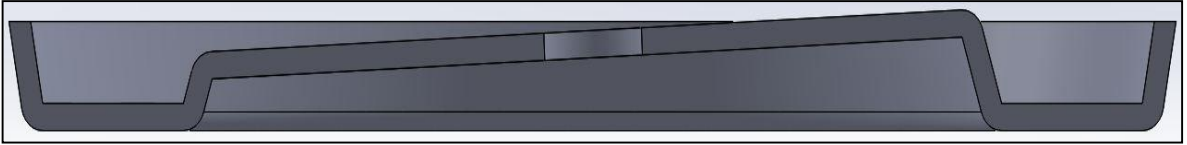


**2.2.1.3 Platos de sellado.** Como su nombre lo indica, son los encargados de dar el sello en la válvula para de esta manera mantener la estanqueidad. Están contruidos por medio de estampado en matriz, usando una lámina de acero AISI 304 de 3,5 mm de espesor y 192 mm de diámetro.

**Figura 10. Plato de sellado.**

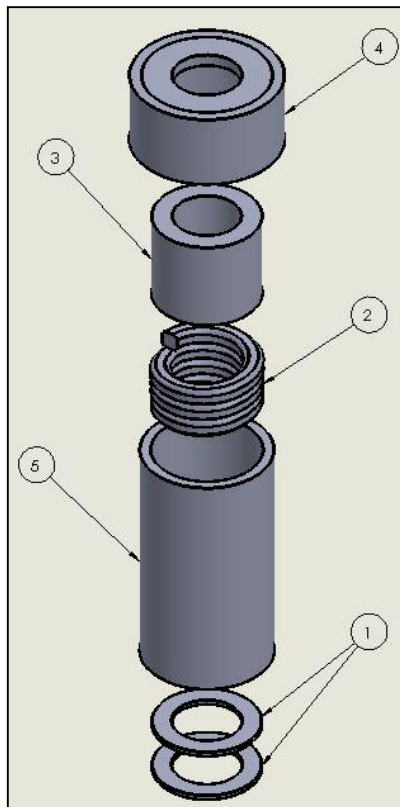


**Figura 11. Vista en corte del plato de sellado.**



**2.2.2 Empaquetadura.** Está conformada por el disco de fricción, cordón grafitado, anillo de compresión, tuerca de la tapa y buje de contención. Entre las funciones que cumple está en dar sello en el extremo superior de la válvula y así evitar fugas en el tornillo roscado. También permite fijar el tornillo roscado de tal manera que éste pueda girar sin haber desplazamiento.

**Figura 12. Explosión del subconjunto empaquetadura.**

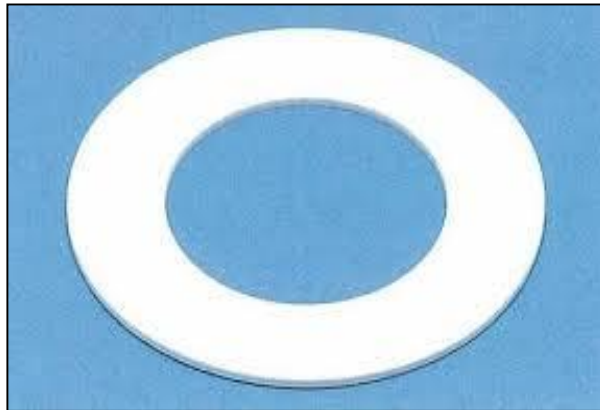


**Tabla 6. Lista de elementos del subconjunto empaquetadura.**

<b>NUMERO</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD</b>
1	Disco de fricción	2
2	Cordón grafitado	1
3	Anillo de compresión	1
4	Tuerca de empaquetadura	1
5	Buje de contención	1

**2.2.2.1 Disco de fricción.** Es el encargado de aislar las superficies entre el buje de contención y el tornillo, para de esta forma evitar enclavamientos. Está fabricado de teflón de 7/8" de diámetro interno, 34,7 mm de diámetro externo y un espesor de 1,5 mm.

**Figura 13. Disco de fricción.**



Disco. Disponible página web;

<[http://www.nipseals.com.my/index.php?ws=showproducts&products\\_id=70708&lang=&cat=PTFE/NAFLON/TEFLON&subcat=>](http://www.nipseals.com.my/index.php?ws=showproducts&products_id=70708&lang=&cat=PTFE/NAFLON/TEFLON&subcat=>)

**2.2.2.2 Cordón grafitado.** Es el encargado de dar sello interno en la válvula con el fin de evitar fugas del líquido transportado. Está producido con puro hilo de teflón expandido donde el grafito está encapsulado, lo que elimina

la migración del grafito y la expansión térmica. Trabaja a Temperaturas entre -200 °C a 280 °C y a presiones entre 50 bar a 200 bar.

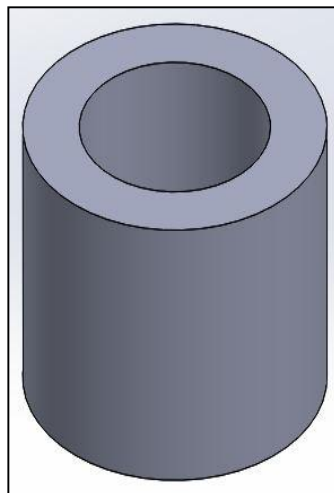
**Figura 14. Cordón grafitado.**



Cordón. Disponible página web; <<http://gargil.es/grafitada/>>

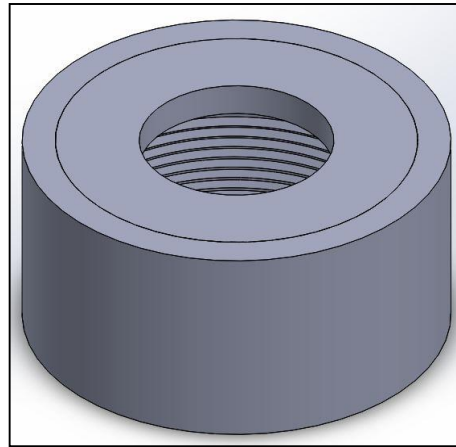
**2.2.2.3 Anillo de compresión.** Es el encargado de comprimir al cordón grafitado de tal forma que selle la parte interna de la empaquetadura y así evitar fugas. Está fabricado de un tubo de acero AISI 304 con 35 mm de diámetro externo, 7/8" de diámetro interno y 30 mm de longitud.

**Figura 15. Anillo de compresión.**



**2.2.2.4 Tuerca de empaquetadura.** Es el elemento que da el cierre total a la empaquetadura. Está fabricada de acero AISI 304 de 4 mm de espesor, 49 mm de diámetro exterior, 7/8" mm de diámetro interno y una longitud de 25 mm. Tiene una rosca interna en v aguda de 1,5 mm de paso y una longitud roscada de 18 mm.

**Figura 16. Tuerca de empaquetadura.**



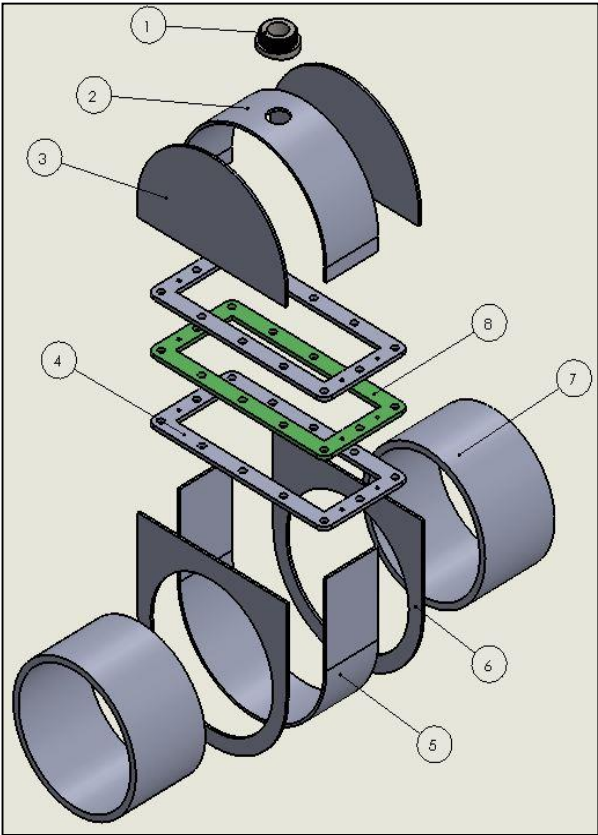
**2.2.2.5 Buje de contención.** Este elemento me asegura que el tornillo roscado de la válvula se quede en su posición mientras gira y da cierre o apertura por medio de los platos de sellado. Está construido de un tubo de acero AISI 304 con 43 mm de diámetro externo, 35,7 mm de diámetro interno y 78 mm de longitud. Lleva dos partes roscadas tipo v aguda, una interna y otra externa, de 1,5 mm de paso y 18 mm de longitud de rosca.

**Figura 17. Buje de contención.**



**2.2.3 BASTIDOR**

**Figura 18. Explosión del subconjunto bastidor.**



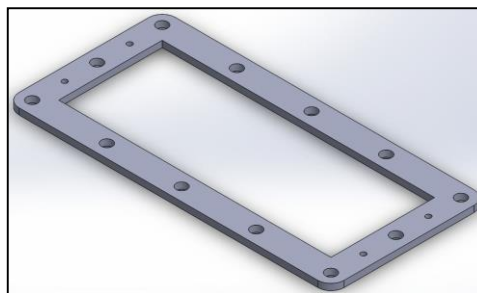
**Tabla 7. Lista de elementos del subconjunto bastidor.**

<b>NÚMERO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>
1	Cabeza roscada	1
2	Lámina curvada superior	1
3	Chapa lateral superior	2
4	Brida de acoplamiento	2
5	Lámina curvada inferior	1
6	Chapa lateral inferior	2
7	Acople lateral con chaflán	2
8	Empaque de teflón	1

El bastidor es el que da el cuerpo a la válvula para el montaje de cada uno de los conjuntos que la conforma. El material del bastidor se eligió el acero AISI 304 debido a su gran resistencia a la corrosión con un espesor de lámina de 1/8". Cada una de las partes que la conforman se cortaron de una lámina por medio de corte láser y fueron soldadas una a una hasta conformar el bastidor total, debido a que de esta manera resultó más conveniente la fabricación del mismo.

Con respecto a la brida rectangular que une la parte superior y la inferior de la carcasa, se diseñó de tal forma que fuera robusta para que resista las tensiones generadas por la presión en la válvula y las compresiones generadas por los tornillos. El material utilizado es acero AISI 304 con un espesor de lámina de 5 mm y tiene unas dimensiones de 118,35 mm x 246 mm. Ésta va soldada a tope en cada una de las dos partes del bastidor.

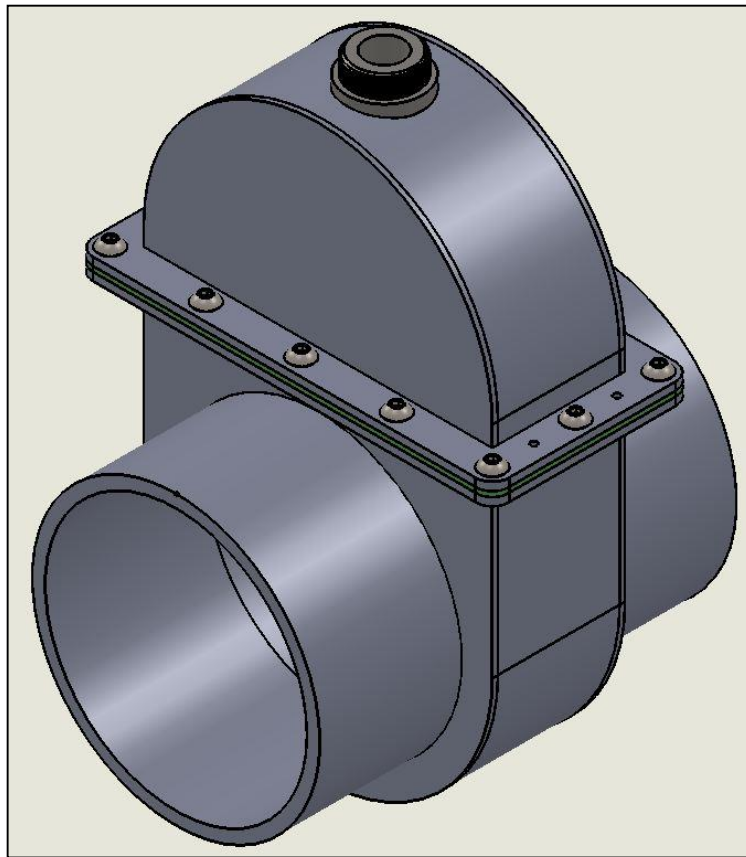
**Figura 19. Bridas de sujeción del bastidor.**



Los acoples de la válvula, los cuales son los encargados de permitir la unión de la válvula con los compartimientos de separación en el carro tanque, se realizaron con tubos de acero AISI 304 de 6" de diámetro y con un espesor de 7,5 mm. Ambos acoples van soldados en la válvula y cada uno de ellos tiene una longitud de 100 mm.

La siguiente ilustración nos muestra el modelo de bastidor a construir.

**Figura 20. Modelo del Bastidor a construir.**



La cabeza roscada que se sitúa en la parte superior de la válvula y que me permite dar tope al tornillo roscado para evitar que éste se mueva al girar, consta tubería de acero AISI 304 de 44,5 mm de diámetro exterior, 7/8" de diámetro interno y 8 mm

de espesor, la cual lleva una rosca externa en v aguda de 1,5 mm de paso y una longitud roscada de 12 mm. Tiene una longitud total de 17,5 mm.

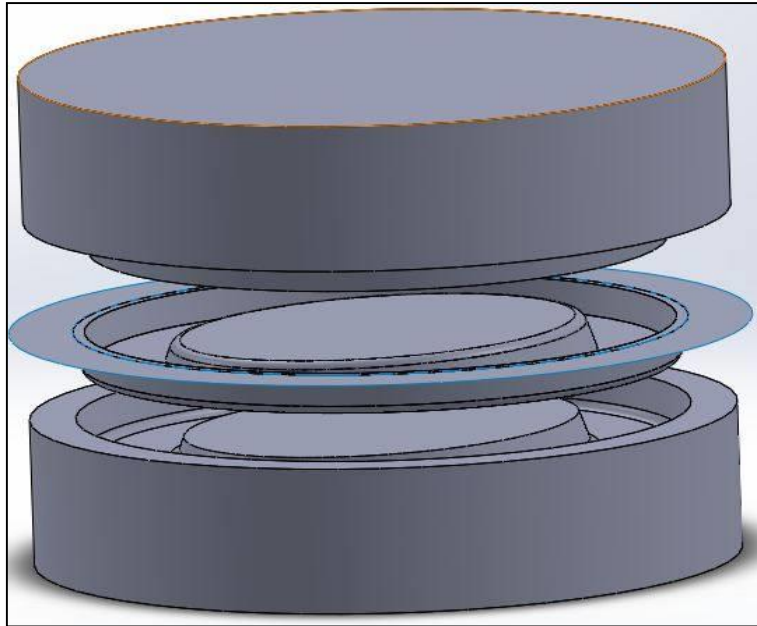
Para unir ambas secciones del bastidor se utilizaron 12 tornillos button inoxidable con su respectiva tuerca de 5/16" y 1" de longitud.

Las láminas curvadas se hicieron por rollado de acero AISI 304 de 1/8" de espesor de tal forma que tengan el mismo contorno de las chapas laterales.

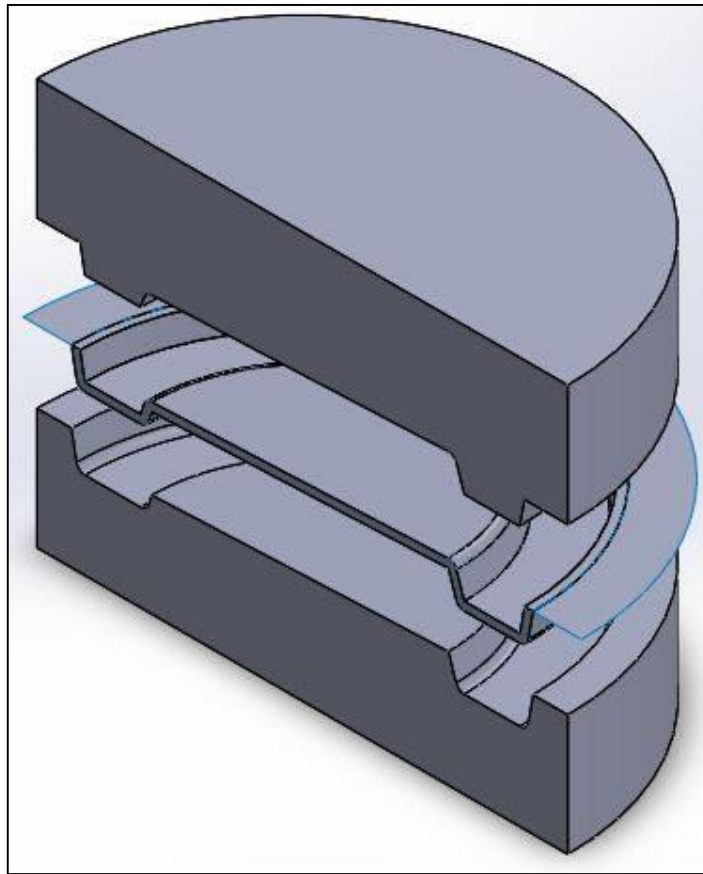
### **2.3 MATRICES**

Para el proceso de manufactura de los sellos o compuertas se utilizó el estampado por matrices, en donde por medio de ésta se le dio la forma característica de cuña. Las matrices se fabricaron de acero AISI 1045 cementado. Para el proceso de diseño de las matrices se utilizó la herramienta CAD SOLIDWORKS, en donde se realizó las dos matrices necesarias. Posteriormente se utilizó la herramienta PARASOLID, la cual teniendo en cuenta el CAD realizado, se generó un código compatible con las máquinas herramientas CNC y todo aquel software que necesite. Luego se usó la herramienta MASTERCAM, en la cual se generó el código definitivo para ser enviado a la fresadora CNC, para su posterior fabricación. Después de que la pieza se fabricó, se realizó el proceso de rectificado y cementado. Por medio de este proceso de cementado se elevará la resistencia de la matriz a las fuerzas de compresión cuando se lleve a cabo la fabricación de las compuertas.

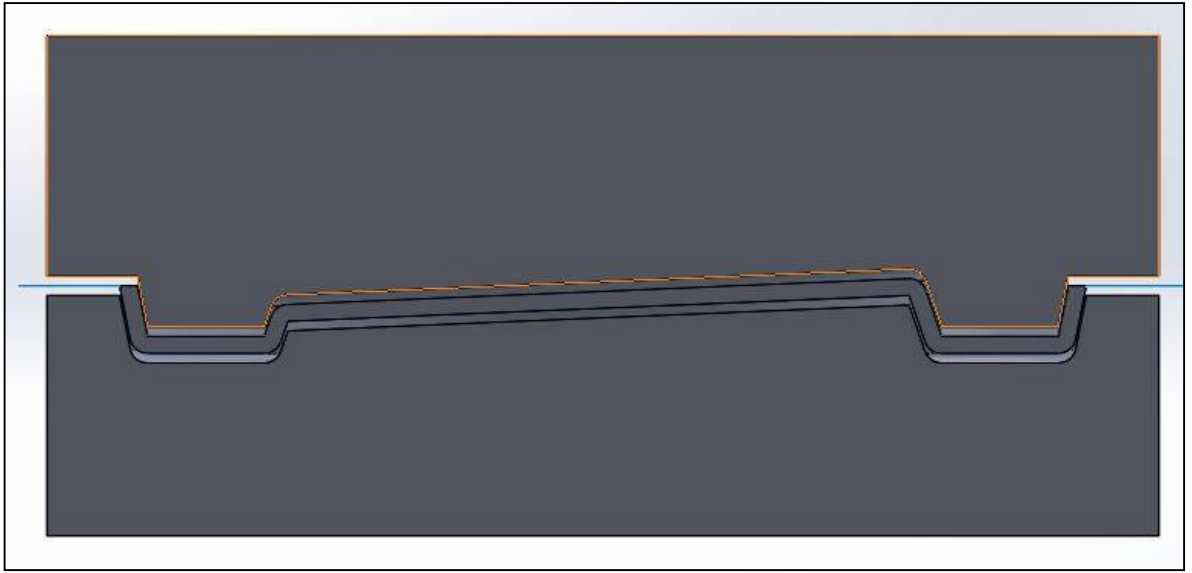
**Figura 21. Matriz para el estampado de las compuertas. a) Vista isométrica. b) Vista en corte. c) Detalle del estampado de las compuertas.**



a)



b)



c)

### 3. DISEÑO DE DETALLE

#### 3.1 CÁLCULO DE LAS FUERZAS QUE ACTÚAN EN LA COMPUERTA

Teniendo en cuenta nuestro texto guía<sup>2</sup>, las fuerzas que actúan en este tipo de válvulas de compuerta, estará sujeta a una fuerza  $H$  actuando en dirección coaxial con el eje central de la tubería, bajo la influencia de la línea de presión  $p$  actuando en un área inclinada de los platos de sellado de la válvula. La fuerza vertical hacia abajo  $P_1$  aplicada por medio del eje actuador, tiende a forzar la compuerta en una posición contra la resistencia que ejerce la fricción que actúa en la cara inclinada de ésta, la cual está sometida a la fuerza  $H$ .

Estas fuerzas y sus reacciones se muestran en fig. 22 (b) de donde decimos que:

$$P_1' = H * \tan\left(\frac{\theta}{2} + \varphi\right) \quad 1)$$

Por lo tanto:

$$P_1 = P_1'$$

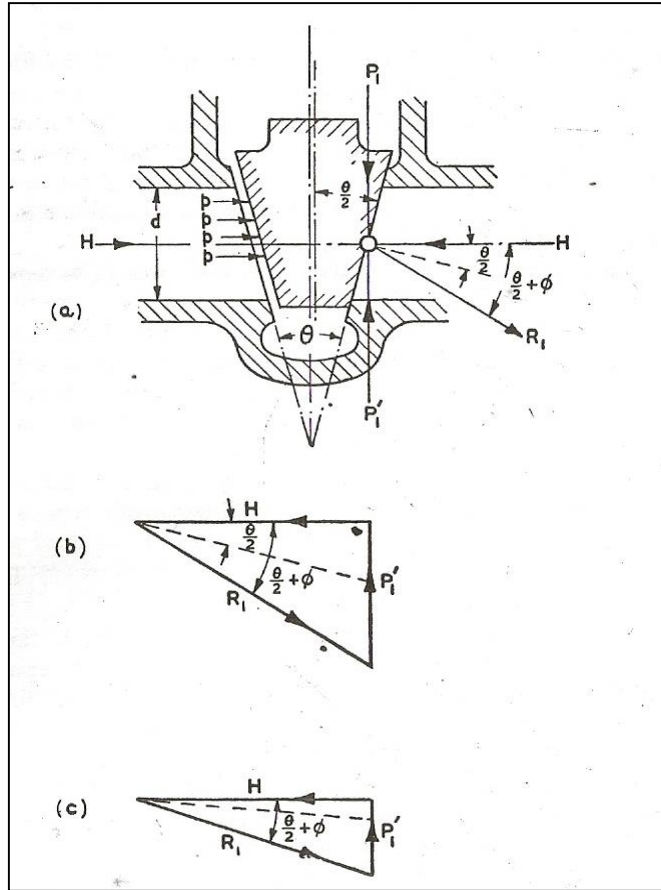
$$P_1 = \frac{\pi}{4} * p * d^2 * \tan\left(\frac{\theta}{2} + \varphi\right) \quad 2)$$

A pesar de la elección de adoptar un ángulo  $\theta$  exagerado en la compuerta, una gran porción de la fuerza axial requerida es absorbida al vencer la resistencia de la fricción que hay en las caras del asiento (ver figura 22).

---

<sup>2</sup> Pearson, G. H. The design of valves and fittings. London: Sir Isaac Pitman & Sons, 1953. p. 316-333.

Figura 22. Fuerzas que actúan en la compuerta en una sola cara.



Fuente: Pearson, G. H. The design of valves and fittings. London: Sir Isaac Pitman & Sons, 1953. p. 320.

Ahora consideramos el caso cuando la compuerta tiene la posición mostrada en la fig. 23 (a), en donde los platos de sellado en ambos lados de la válvula están en contacto con el fluido.

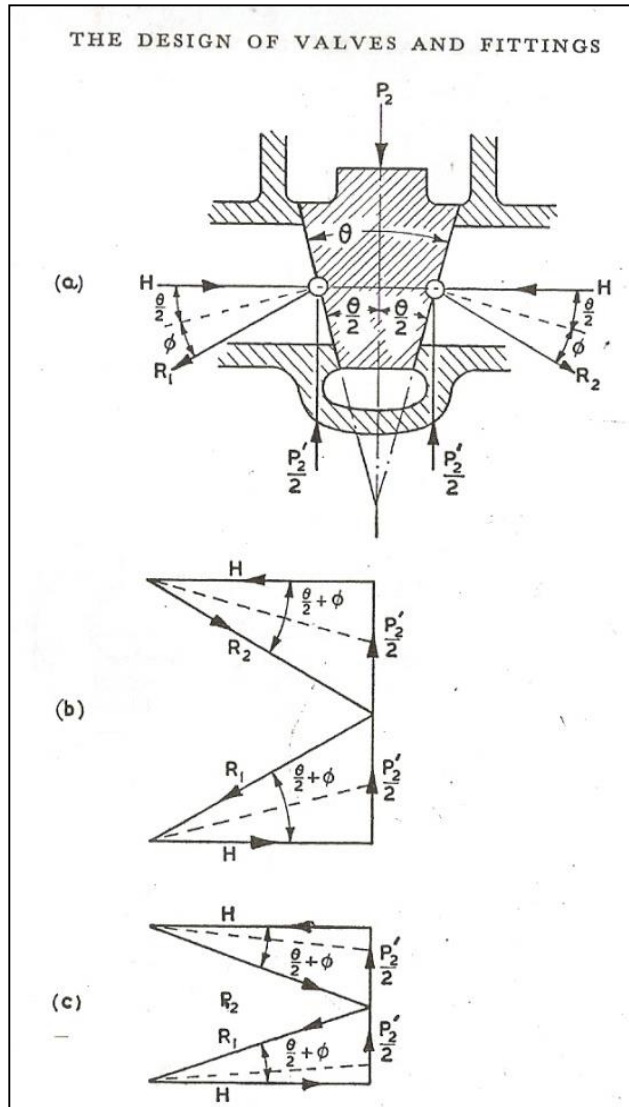
Si la cara de la cuña aguas arriba es requerida para ejercer una fuerza suficiente para balancear la línea de empuje  $H$ , entonces las condiciones serán como están indicadas en el diagrama de fuerzas fig.23 (b) del cual deducimos que:

$$\frac{P'_2}{2} = H * \tan\left(\frac{\theta}{2} + \varphi\right) \quad 3)$$

De donde:

$$P_2 = P'_2 = 2H * \tan\left(\frac{\theta}{2} + \phi\right) \quad 4)$$

**Figura 23. Fuerzas que actúan en la compuerta en ambas caras.**



Fuente: Pearson, G. H. The design of valves and fittings. London: Sir Isaac Pitman & Sons, 1953. p. 322.

Demostrando que la mínima fuerza axial requerida para un cierre seguro de ambas caras de la compuerta es dos veces que la requerida para cerrar una sola cara, tal como esperábamos.

Se recomienda que la fuerza axial  $P_2$ , determinada en la ecuación 4), se adopte en el diseño de la válvula de guillotina de compuerta en cuña, pero no es la única fuerza axial que el tornillo actuador requerirá transmitir. Hay una fuerza de resistencia axial adicional a vencer, la cual resulta cuando la línea de presión  $p$  actúa en el área inclinada de la compuerta de esa porción del eje que pasa por la prensa estopa.

Llamando esta fuerza axial adicional  $P_3$  y el diámetro del eje en ese punto  $d_c$ , entonces:

$$P_3 = \frac{\pi}{4} * p * d_c^2 \quad 5)$$

En el inicio del proceso de cerrado de la compuerta, la fuerza  $P_3$  es la única que esta haciendo resistencia (aparte de otras menores fuerzas de fricción) y solo hasta que la compuerta esté a punto de cerrarse, aparecerá la fuerza axial máxima. En este punto el tornillo requerirá impartir un empuje a la compuerta  $P_T$ , representado por la combinación de las fuerzas axiales de las ecuaciones 4) y 5).

Se sugiere que se haga una adición del 5% al valor total de las fuerzas axiales para compensar las pérdidas por fricción en el casquillo del prensaestopas.

Combinando las ecuaciones 4) y 5), el valor de la fuerza axial total  $P_T$  estará dada por:

$$P_T = 1,05(P_2 + P_3) \quad 6$$

Por lo tanto:

$$P_T = 1,05 \left( 2H * \tan \left( \frac{\theta}{2} + \varphi \right) + \frac{\pi}{4} * p * d_c^2 \right) \quad 7)$$

$$P_T = 1,05 \left( \frac{2\pi * p * d^2}{4} * \tan \left( \frac{\theta}{2} + \varphi \right) + \frac{\pi}{4} * p * d_c^2 \right) \quad 8)$$

Finalmente:

$$P_T = 0,825 * p \left( 2 * d^2 * \tan \left( \frac{\theta}{2} + \varphi \right) + d_c^2 \right) \quad 9)$$

Teniendo en cuenta que los datos de la válvula son los siguientes:

d=6" diámetro de la válvula

d<sub>c</sub> =7/8" diámetro del tornillo roscado

μ=0,18 coeficiente de fricción acero-acero

p=10 psi presión de trabajo de la válvula

Hallamos el ángulo de fricción φ:

$$\varphi = \tan^{-1} \mu$$

$$\varphi = \tan^{-1} 0,18 = 10,2^\circ$$

Procedemos a hallar la fuerza axial total que actúa en la compuerta de la válvula:

$$P_T = 0,825(10) \left[ 2 * 6^2 * \tan \left( \frac{5}{2} + 10,2 \right) + \left( \frac{7}{8} \right)^2 \right]$$

$$P_T = 140,18 \text{ lbf} \text{ Fuerza axial total}$$

### 3.2 CÁLCULO DEL TORQUE REQUERIDO PARA CERRAR LA COMPUERTA DE LA VÁLVULA

El torque total  $Q_T$  requerido para cerrar efectivamente la válvula en contra de la presión de trabajo será la suma de:

- a) El torque requerido para impartir un empuje axial al tornillo actuador lo suficiente para que la compuerta venza todas las resistencias que pueda tener ésta.
- b) El torque requerido para vencer la resistencia a la fricción del cuello del husillo.
- c) El torque requerido para vencer la resistencia a la fricción impuesta por la prensaestopas.

Considerándolas en el orden dado, se denotarán  $Q_a, Q_b, Q_c$  respectivamente:

$$Q_T = Q_a + Q_b + Q_c \quad 10)$$

$$Q_a = \frac{P_T * p_t}{2\pi * \eta} \quad 11)$$

En donde:

$P_T$  = Fuerza axial total

$p_t$  = Paso del tornillo actuador

$\eta$  = Eficiencia del tornillo actuador.

Teniendo en cuenta los datos de la válvula:

$$P_T = 140,18 \text{ lb}$$

$$p_t = 1/6''$$

Teniendo en cuenta que el valor de  $\mu = 0,18$  para contacto entre materiales de acero-acero

$$\eta = \frac{P_t(\pi * d_m - \mu * P_t)}{\pi * d_t(P_t + \mu * \pi * d_m)}$$

$$\eta = \frac{1/6(\pi * 0,792 - 0,18 * 1/6)}{\pi * 0,792(1/6 + 0,18 * \pi * 0,792)}$$

$$\eta = 0,267$$

Entonces:

$$Q_a = \frac{140,18 * (\frac{1}{6})}{2\pi * 0,267}$$

$$Q_a = 13,92 \text{ lb} - \text{in}$$

Ahora tenemos que:

$$Q_b = \frac{1}{2}\mu * P_T \left( \frac{D_c + d_c}{2} \right) \quad 12)$$

Donde  $D_c$  y  $d_c$  son los diámetros máximos y mínimos en el tornillo de empuje.

$$D_c = 1,34''$$

$$d_c = 7/8''$$

Entonces:

$$Q_b = \frac{1}{2} * 0,18 * 140,18 \left[ \frac{1,34 + \left(\frac{7}{8}\right)}{2} \right]$$

$$Q_b = 13,97 \text{ lb} - \text{in}$$

El valor de  $Q_c$  es prácticamente indeterminable, por lo tanto se toma un incremento del 5% en el torque neto.

Por lo tanto, combinando cada uno de los torques hallados anteriormente podemos calcular el torque total  $Q_T$  de la siguiente forma:

$$Q_T = 1,05(Q_a + Q_b) \quad 13)$$

Finalmente tenemos que el torque total para cerrar la válvula es:

$$Q_T = 1,05(13,92 + 13,97)$$

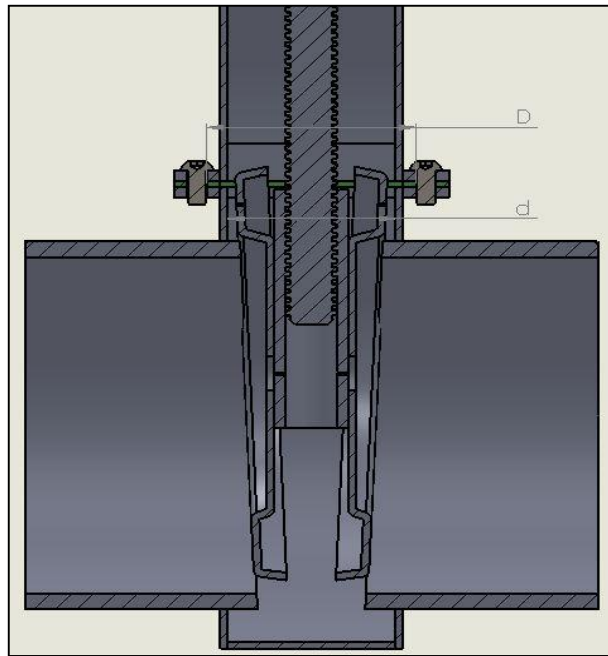
$$Q_T = 27,89 \text{ lb} - \text{in}$$

### 3.3 CÁLCULO DE LAS FUERZAS QUE ACTÚAN SOBRE LOS TORNILLOS

La fuerza de sujeción total que tiene que ser ejercida por los tornillos de la cubierta es igual a la suma de:

- La fuerza debida a la presión que tiende a separar las dos partes del bastidor.
- La fuerza requerida para mantener la estanqueidad en el sello.
- El empuje hacia arriba del tornillo en el proceso de cerrado.

Figura 24. Corte transversal de la válvula.



El área efectiva en la cual la presión se asume que actúa puede ser tomada como:

$$\frac{\pi}{4} \left( \frac{D + d}{2} \right)^2$$

Y la fuerza total ejercida por la presión de trabajo en el área expuesta de la cubierta está dada por:

$$\frac{\pi * p}{4} \left(\frac{D + d}{2}\right)^2$$

Asumiendo que una unidad de presión de sujeción de  $1,1p$  será suficiente para mantener la estanqueidad en el sello, entonces:

La fuerza de sujeción para ser ejercida en el sello para asegurar estanqueidad será:

$$\frac{1,1\pi * p}{4} (D^2 - d^2)$$

Entonces, la fuerza total de presión de sujeción para ser ejercida por todos los tornillos del bastidor será:

$$F_{cl} = \frac{\pi * p}{4} \left[ \left(\frac{D + d}{2}\right)^2 + \frac{1,1\pi * p}{4} (D^2 - d^2) \right] + F_a$$

Simplificando tenemos:

$$F_{cl} = \frac{\pi * p}{4} (1,35D^2 - 0,85d^2 + 0,5D * d) + F_a$$

Donde  $n$ = número de tornillos empleados.

La fuerza de sujeción que será ejercida por cada tornillo del bastidor será:

$$F_{el} = \frac{F_{cl}}{n}$$

Entonces:

$$F_{el} = \frac{\pi * p}{4 * n} (1,35D^2 - 0,85d^2 + 0,5D * d) + \frac{F_a}{n}$$

Teniendo en cuenta que la válvula tiene los siguientes datos:

$$D = 88,5 \text{ mm} = 3,48''$$

$$d = 70 \text{ mm} = 2,76''$$

$$F_a = 140,18 \text{ lb}$$
 Fuerza axial total para cerrar la válvula (hallada previamente)

$$p = 10 \text{ bar}$$
 Presión de trabajo

$$n = 12$$
 Tornillos

La fuerza que debe ser ejercida por cada tornillo será:

$$F_{el} = \frac{\pi * 10}{4 * 12} (1,35(3,48)^2 - 0,85(2,76)^2 + 0,5(3,48) * 2,76) + \frac{140,18}{12}$$

$$F_{el} = 21,28 \text{ lbf}$$
 Fuerza ejercida por cada tornillo

### 3.4 RESULTADOS FINALES DE LOS CÁLCULOS

Tabla 8. Resultados obtenidos en los cálculos de la válvula.

Resultados obtenidos de los cálculos	
Ítem	Valor
Ángulo de hélice del tornillo	3,83°
Eficiencia del tornillo	0,267
Fuerza axial total que actúa en la válvula	140,18 lbf
Torque total para cerrar la válvula	27,89 lb-in
Fuerza que debe ejercer cada tornillo de la brida	21,28 lbf

### 3.5 ANÁLISIS CAE

Ingeniería asistida por computadora (CAE) es el uso de software computacional para simular desempeño y así poder hacer mejoras a los diseños de productos o bien apoyar a la resolución de problemas de ingeniería para una amplia gama de industrias. Esto incluye la simulación, validación y optimización de productos, procesos y herramientas de manufactura.<sup>3</sup>

Un proceso típico de CAE incluyen pasos de pre-procesado, solución y post-procesado. En la fase de pre-procesado, los ingenieros modelan la geometría y las propiedades físicas del diseño, así como el ambiente en forma de cargas y restricciones aplicadas. En la fase de post-procesado, los resultados se presentan al ingeniero para su revisión.<sup>4</sup>

**3.5.1 Análisis estático de las matrices.** En el análisis estático se realiza análisis de tensión de Von Mises, desplazamiento y de factor de seguridad con las cargas halladas en los cálculos de fuerzas.

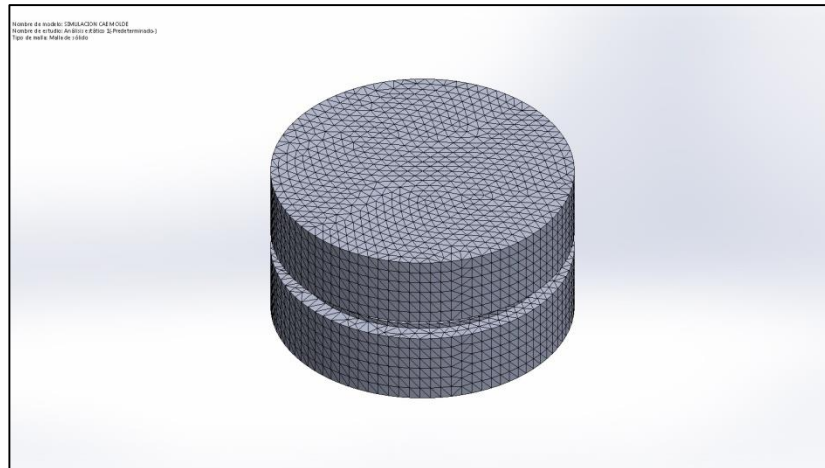
En este análisis se evaluó el comportamiento de los moldes elaborados en material AISI /SAE 1045 con características físicas de cementado bajo una carga de 60 toneladas para el estampado de los sellos.

---

<sup>3</sup>Análisis. Disponible página web; <[http://www.plm.automation.siemens.com/es\\_mx/plm/cae.shtml](http://www.plm.automation.siemens.com/es_mx/plm/cae.shtml)>

<sup>4</sup>Ibid.

**Figura 25. Mallado de las matrices.**



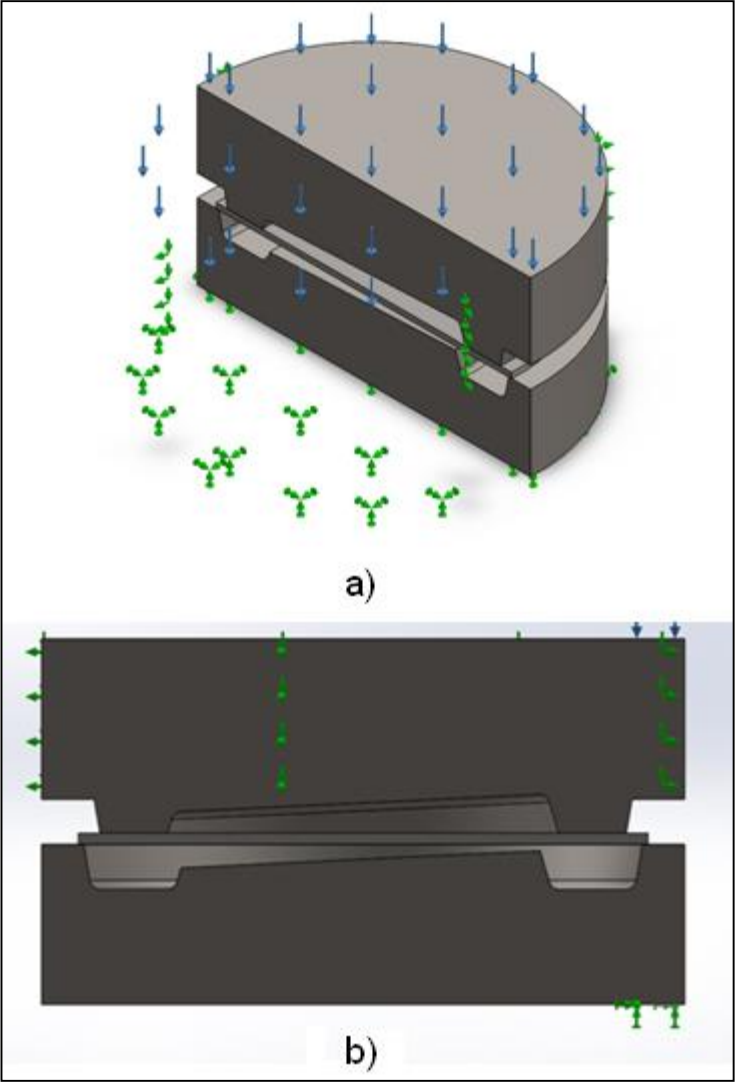
Para realizar este análisis, se procede primero a realizar el mallado de la pieza para poder conocer datos unitarios de cada punto que las conforman.

**Tabla 9. Información de la malla para las matrices.**

<b>Número total de nodos</b>	88914
<b>Número total de elementos</b>	59834
<b>Cociente máximo de aspecto</b>	9.2339
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &lt; 3</b>	98.6
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &gt; 10</b>	0
<b>% de elementos distorsionados (Jacobiana)</b>	0
<b>Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):</b>	00:00:04
<b>Nombre de computadora:</b>	LLANDREXLL-PC

Realizado lo anterior se procede a definir las cargas y el material del modelo.

**Figura 26. Vista isométrica del corte de las matrices con su carga, b) Vista frontal del corte de las matrices con su carga.**



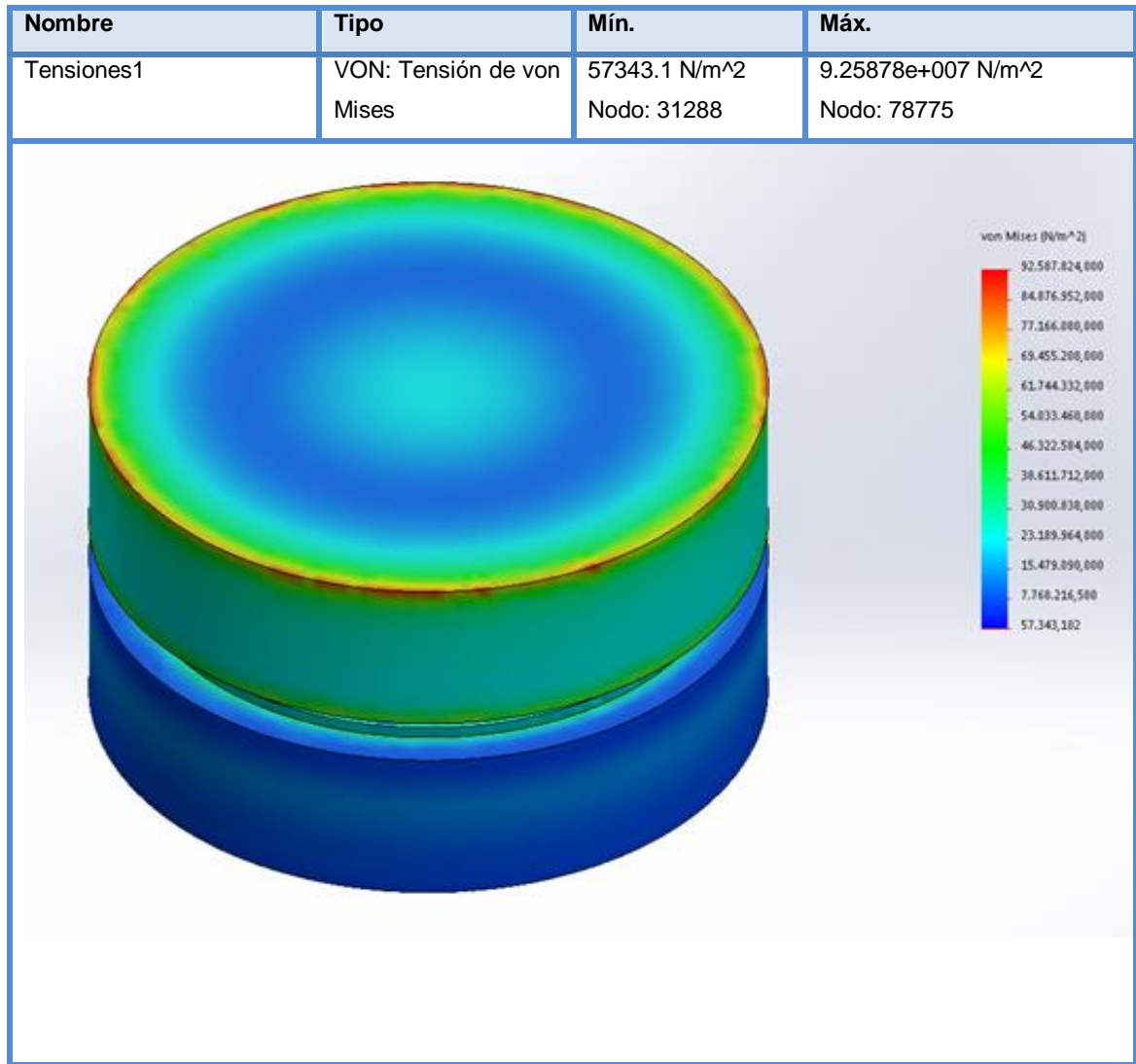
El modelo es sometido a las cargas del montaje, los puntos de apoyo y las fuerzas a las que se ve sometida en operación. Definido esto ya se puede realizar los análisis.

**Tabla 10. Propiedades mecánicas del material AISI 1045.**

	Nombre:	AISI 1045 Acero estirado en frío
	Tipo de modelo:	Isotrópico elástico lineal
	Criterio de error predeterminado:	Tensión máxima de von Mises
	Límite elástico:	5.3e+008 N/m <sup>2</sup>
	Límite de tracción:	6.25e+008 N/m <sup>2</sup>
	Módulo elástico:	2.05e+011 N/m <sup>2</sup>
	Coefficiente de Poisson:	0.29
	Densidad:	7850 kg/m <sup>3</sup>
	Módulo cortante:	8e+010 N/m <sup>2</sup>
	Coefficiente de dilatación térmica:	1.15e-005 /Kelvin

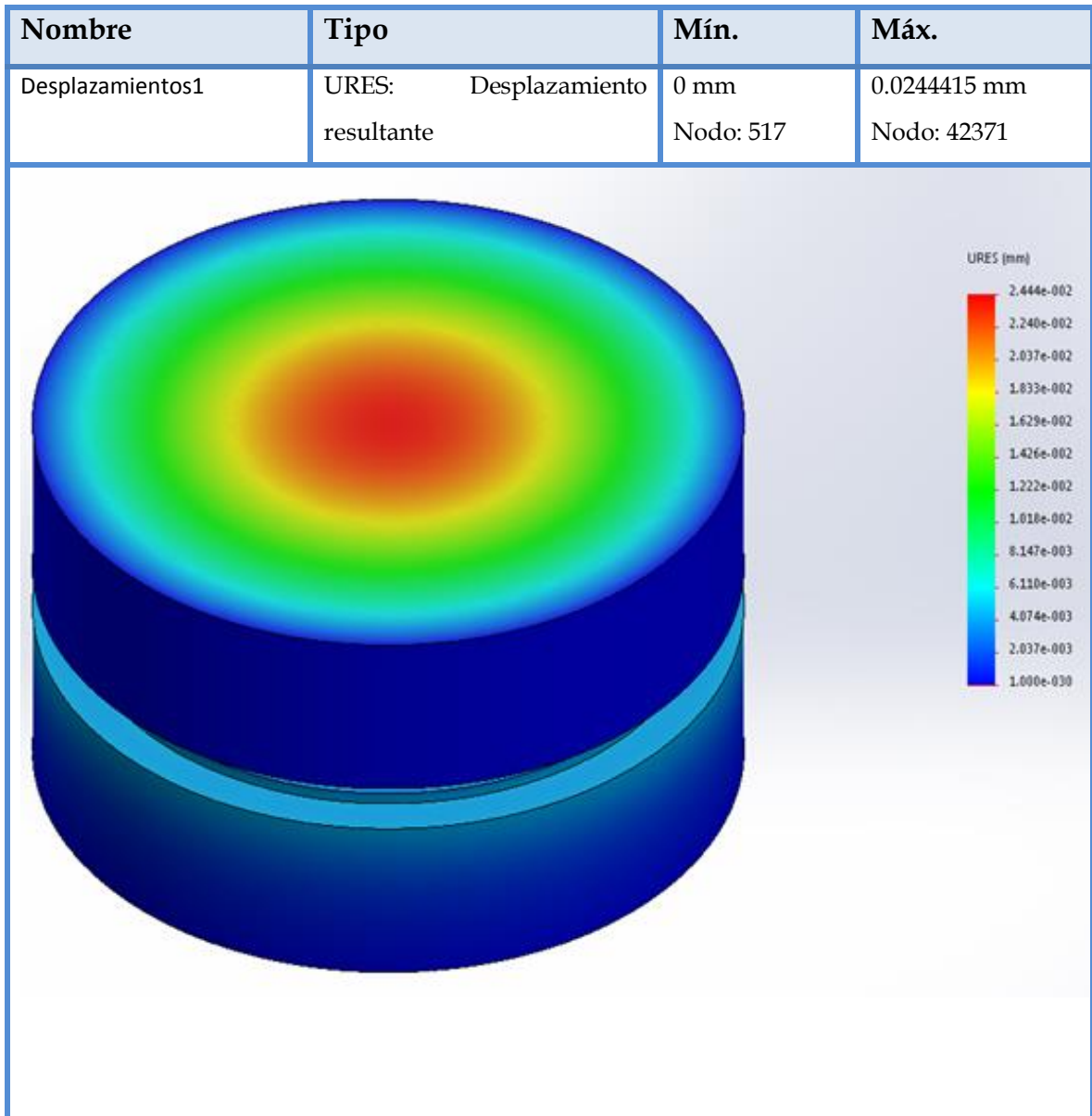
Se somete la matriz a una carga distribuida de compresión de 60 toneladas (600.000 N), la cual simula la fuerza ejercida por la prensa hidráulica. El material a prensar está en medio de las dos.

**Figura 27. Valores de esfuerzos sobre la matriz.**



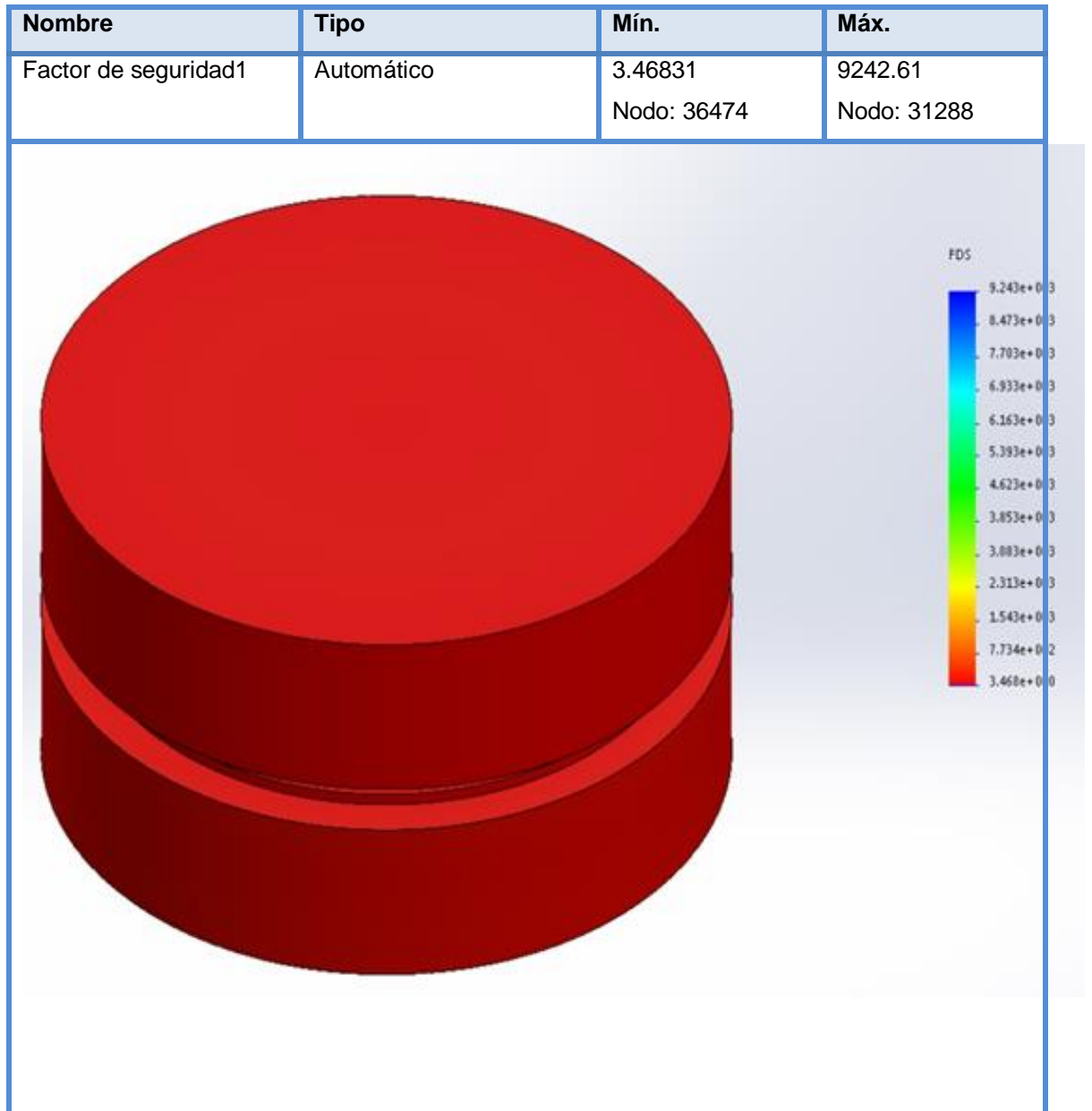
Observando los resultados del análisis de tensión de Von Misses, se puede ver que las matrices no van a fallar con las cargas que se le aplican en el trabajo que está realizando bajo condiciones estáticas, puesto que el valor máximo de esfuerzo que están soportando es de 92.587 [MPa] y el que puede resistir es de 625 [MPa].

**Figura 28. Análisis de desplazamiento de la matriz.**



Observando los resultados de desplazamiento que presentan las matrices con la carga que soporta, se observa que el máximo desplazamiento es de 0.0244415 mm, siendo éste un valor muy pequeño y aceptable.

**Figura 29. Análisis de factor de seguridad de la matriz.**

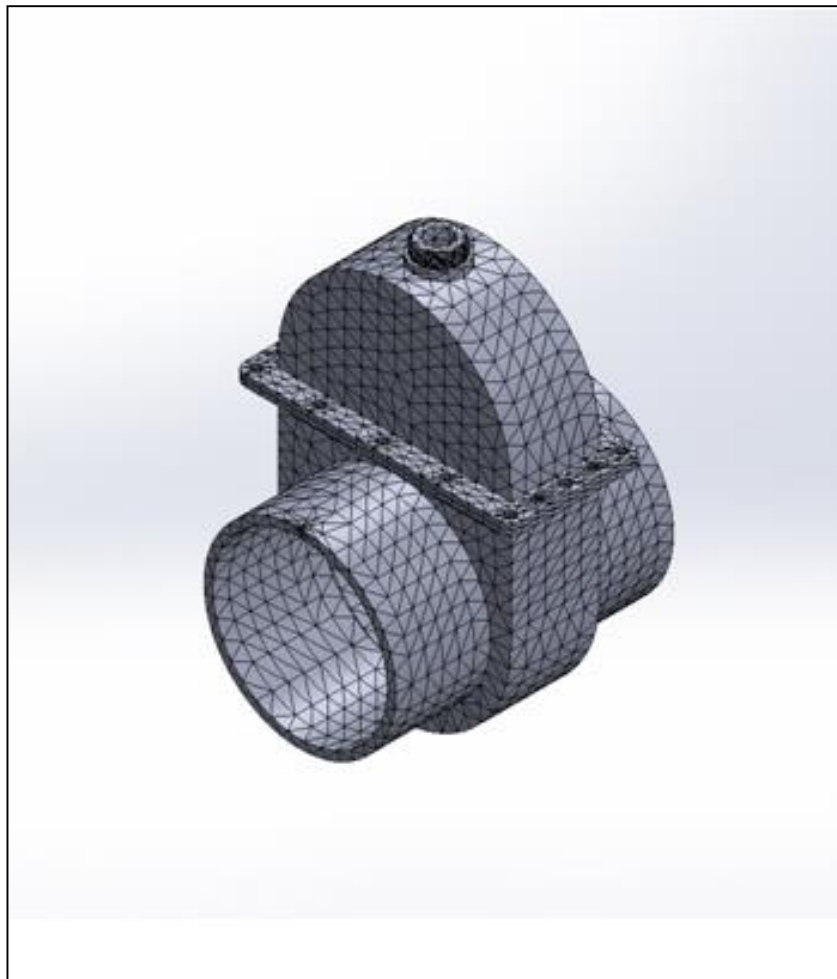


Observando los resultados del factor de seguridad, se encuentra que el valor mínimo es de 3.46, el cual es un valor aceptable para las condiciones de diseño y no presentarán daño alguno bajo la carga que se presente en la operación.

**3.5.2 Análisis estático del bastidor.** En el análisis estático se realiza análisis de tensión de Von Mises, desplazamiento y de factor de seguridad con las cargas halladas en los cálculos de fuerzas.

En este análisis se evaluó el comportamiento del bastidor, elaborado en material AISI /SAE 304, al ser aplicada la fuerza de cerrado de la válvula por la acción de la compuerta.

**Figura 30. Mallado del bastidor.**



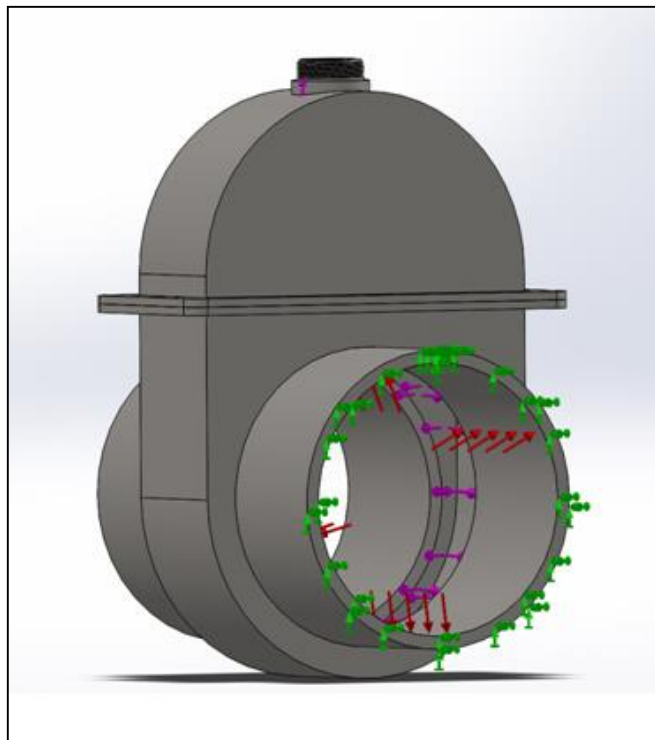
Para realizar este análisis, se procede a realizar el mallado de la pieza para poder conocer datos unitarios de cada punto que las conforman.

**Tabla 11. Información de la malla para el bastidor.**

Número total de nodos	24138
Número total de elementos	12527
Cociente máximo de aspecto	1289.3
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	50.3
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	2.79
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:08
Nombre de computadora:	LLANDREXLL-PC

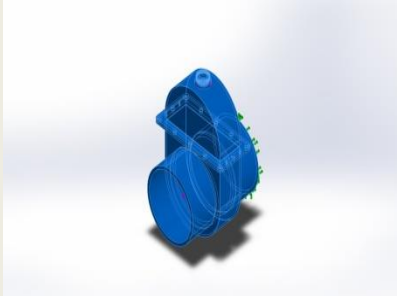
Se procede a definir las cargas y el material del modelo.

**Figura 31. Cargas aplicadas en el casco o bastidor.**



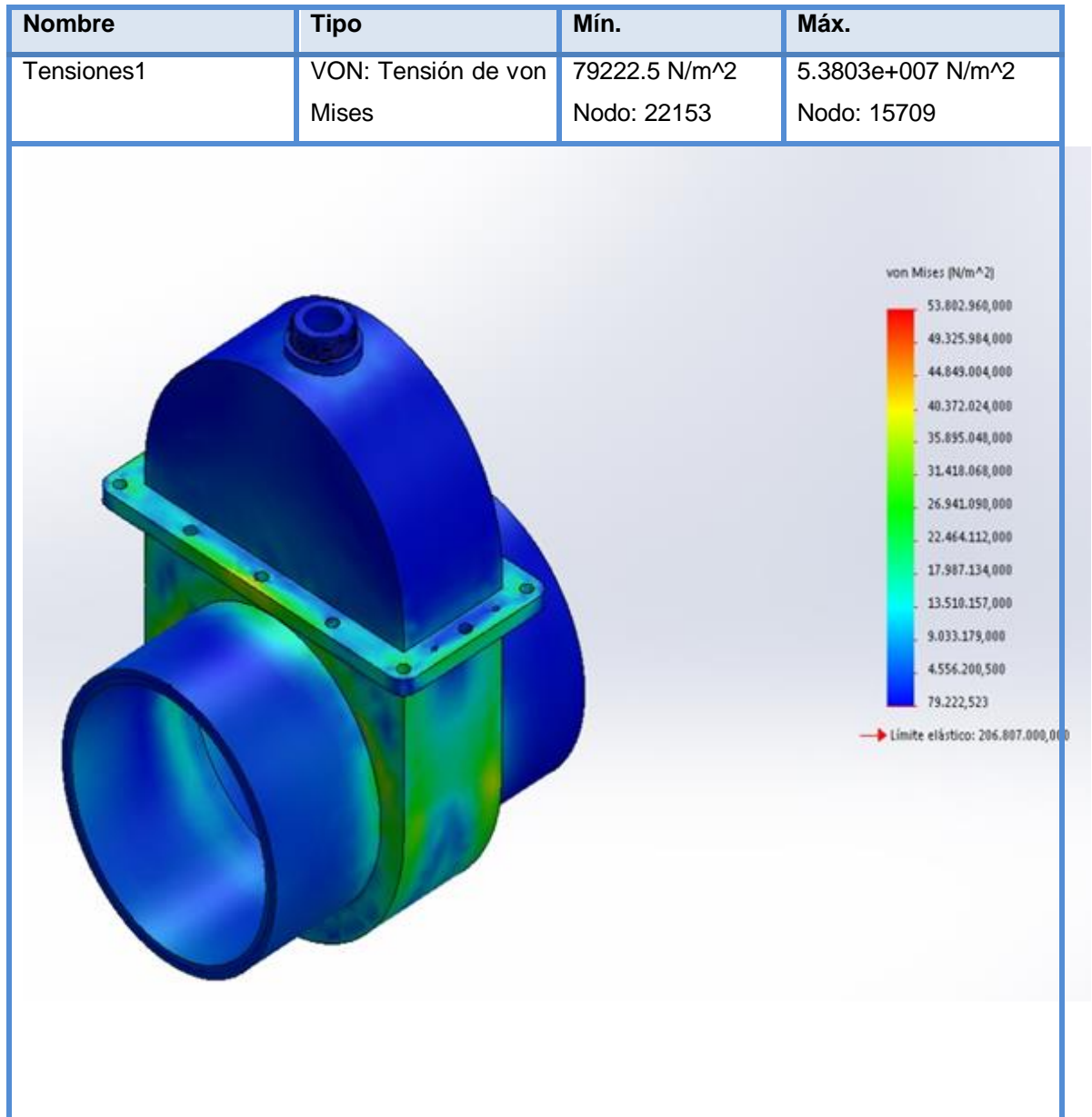
El modelo es sometido a las cargas que se producen durante el cierre de las compuertas, las cuales tienden a empujar los acoples de los sellos. Definido esto ya se puede realizar los análisis.

**Tabla 12. Propiedades mecánicas del material AISI 304.**

	<p><b>Nombre:</b> AISI 304</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión máxima de von Mises</p>
	<p>Límite elástico: 2.06807e+008 N/m<sup>2</sup></p> <p>Límite de tracción: 5.17017e+008 N/m<sup>2</sup></p> <p>Módulo elástico: 1.9e+011 N/m<sup>2</sup></p> <p>Coefficiente de Poisson: 0.29</p>
	<p>Densidad: 8000 kg/m<sup>3</sup></p> <p>Módulo cortante: 7.5e+010 N/m<sup>2</sup></p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: 1.8e-005 /Kelvin</p>

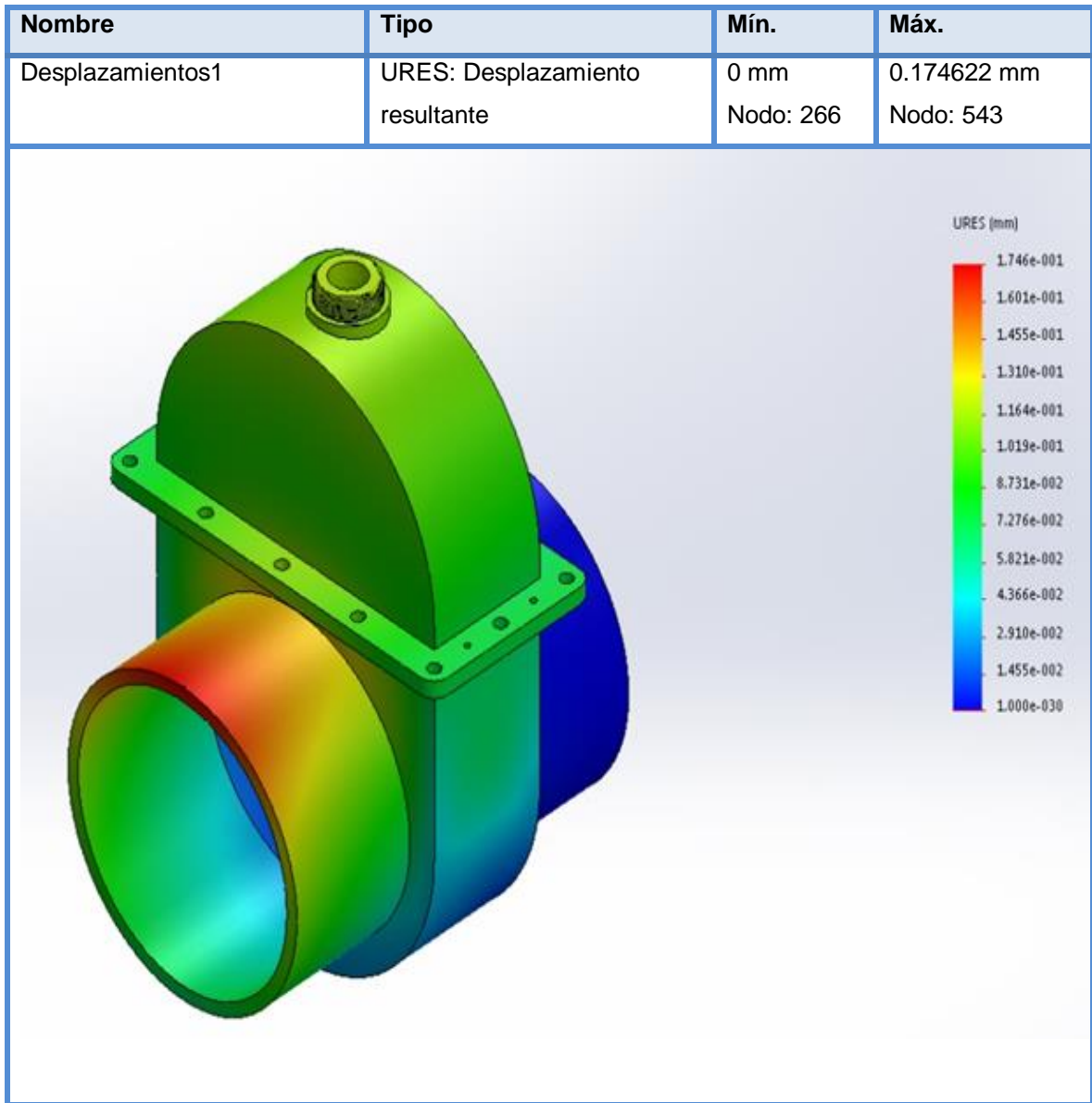
Se somete el casco a unas fuerzas ejercidas por la presión de 1090 lbf y una fuerza ejercida en la cuña de 1607 lbf.

**Figura 32. Valores de esfuerzos sobre el bastidor.**



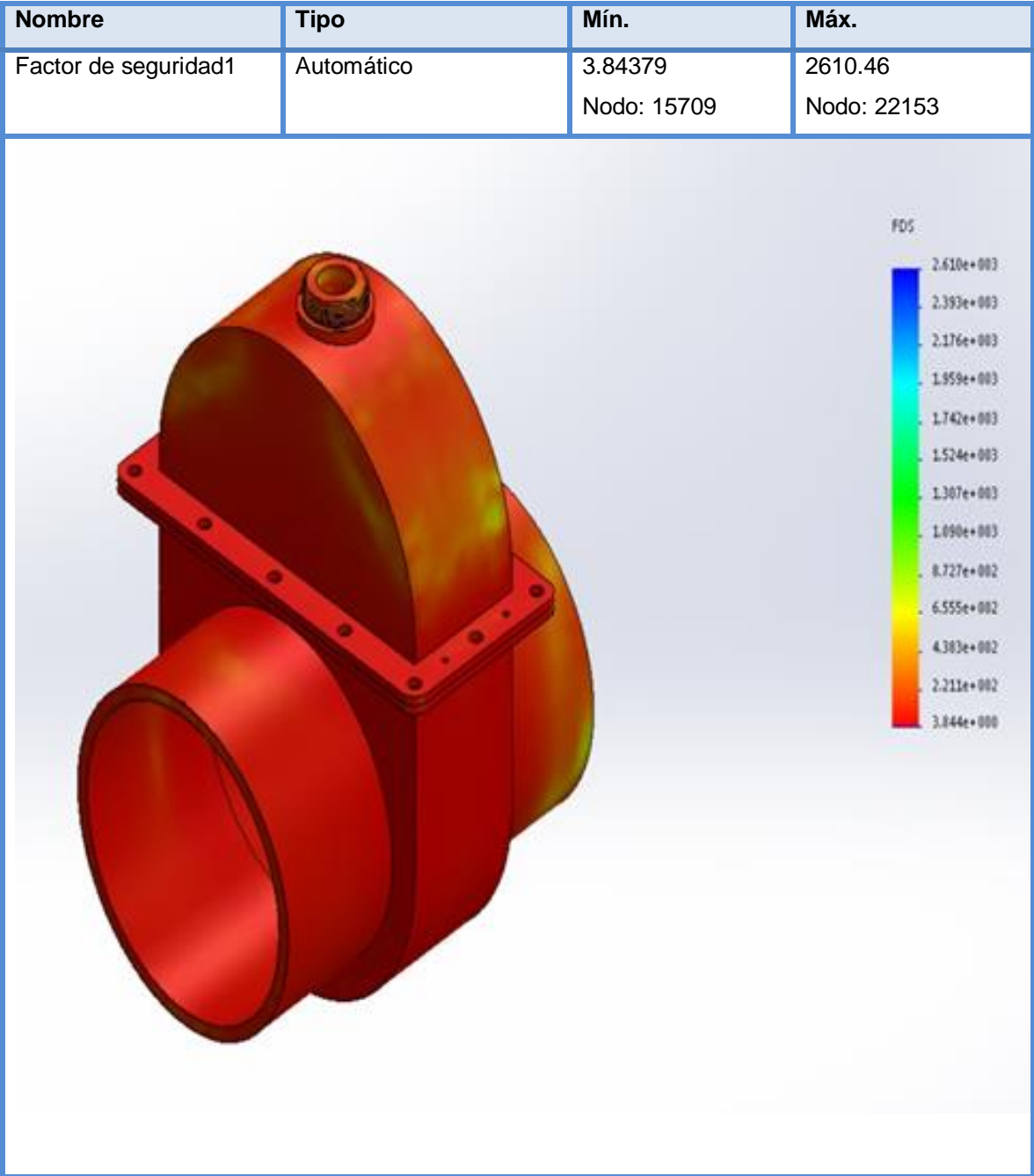
Observando los resultados del análisis de tensión de Von Misses, se puede ver que el casco no va a fallar con las cargas que se le aplican en el trabajo que está realizando bajo condiciones estáticas, puesto que el valor máximo de esfuerzo que están soportando es de 53 [MPa] y el que puede resistir es de 517 [MPa].

**Figura 33. Análisis de desplazamiento del bastidor.**



Observando los resultados de desplazamiento que presenta el bastidor con la carga que soporta, podemos notar que el máximo desplazamiento es de 0.174622 mm, el cual se da en la parte final de los acoples, siendo éste un valor muy pequeño y aceptable.

**Figura 4. Análisis de factor de seguridad del bastidor.**

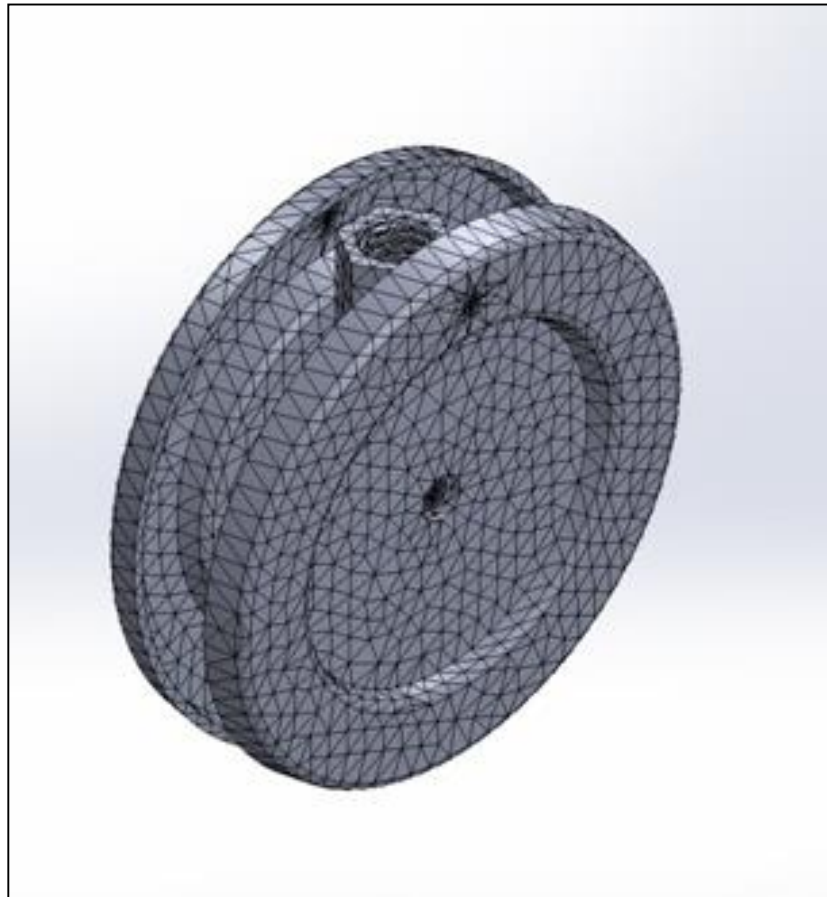


Observando los resultados del factor de seguridad, se encuentra que el valor mínimo es de 3.84, el cual es un valor aceptable para las condiciones de diseño y no presentarán daño alguno bajo la carga que se presente en la operación.

**3.5.3 Análisis estático de los platos de sellado.** En el análisis estático se realiza análisis de tensión de Von Misses, desplazamiento y de factor de seguridad con las cargas halladas en los cálculos de fuerzas.

En este análisis se evaluó el comportamiento de los platos de sellado elaborados en material AISI /SAE 304, conformados por estampado, bajo la acción de la fuerza que ejercen los asientos sobre éstos en el momento que la válvula se cierra.

**Figura 35. Mallado de los platos de sellado.**



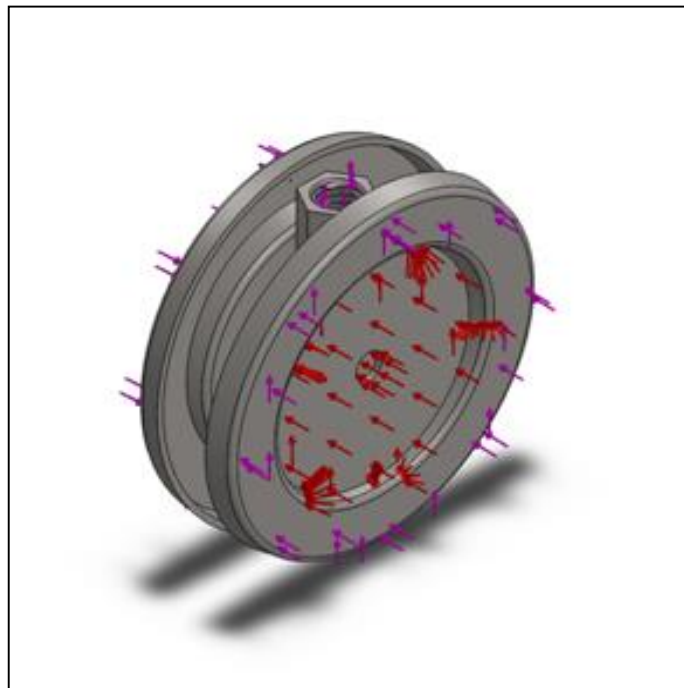
Para realizar este análisis, se procede primero a realizar el mallado de la pieza para poder conocer datos unitarios de cada punto que las conforman.

**Tabla 13. Información de la malla para los platos de sellado.**

Número total de nodos	23186
Número total de elementos	12066
Cociente máximo de aspecto	28.093
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	76.1
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0.348
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:09
Nombre de computadora:	LLANDREXLL-PC

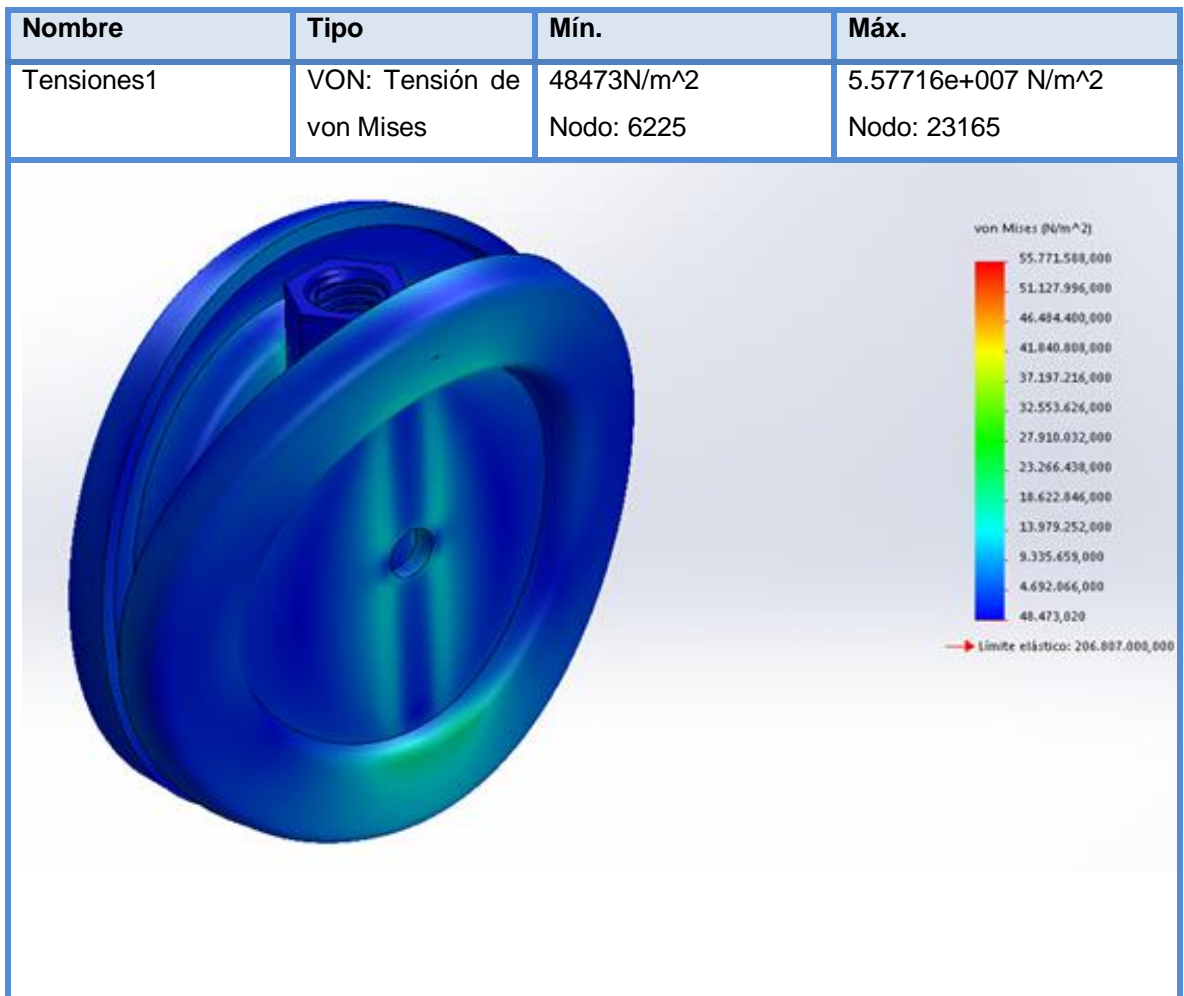
Se procede a definir las cargas y el material del modelo.

**Figura 36. Cargas aplicadas en los platos de sellado.**



El modelo se somete a las cargas que se producen durante el cierre de las compuertas y por acción de la presión, las cuales tienden a comprimir los platos de sellado. Por lo tanto, se somete los platos a una fuerza axial de 1607 lbf ejercida por la reacción en la cuña y 58 lbf por la presión. Definido esto ya se puede realizar los análisis.

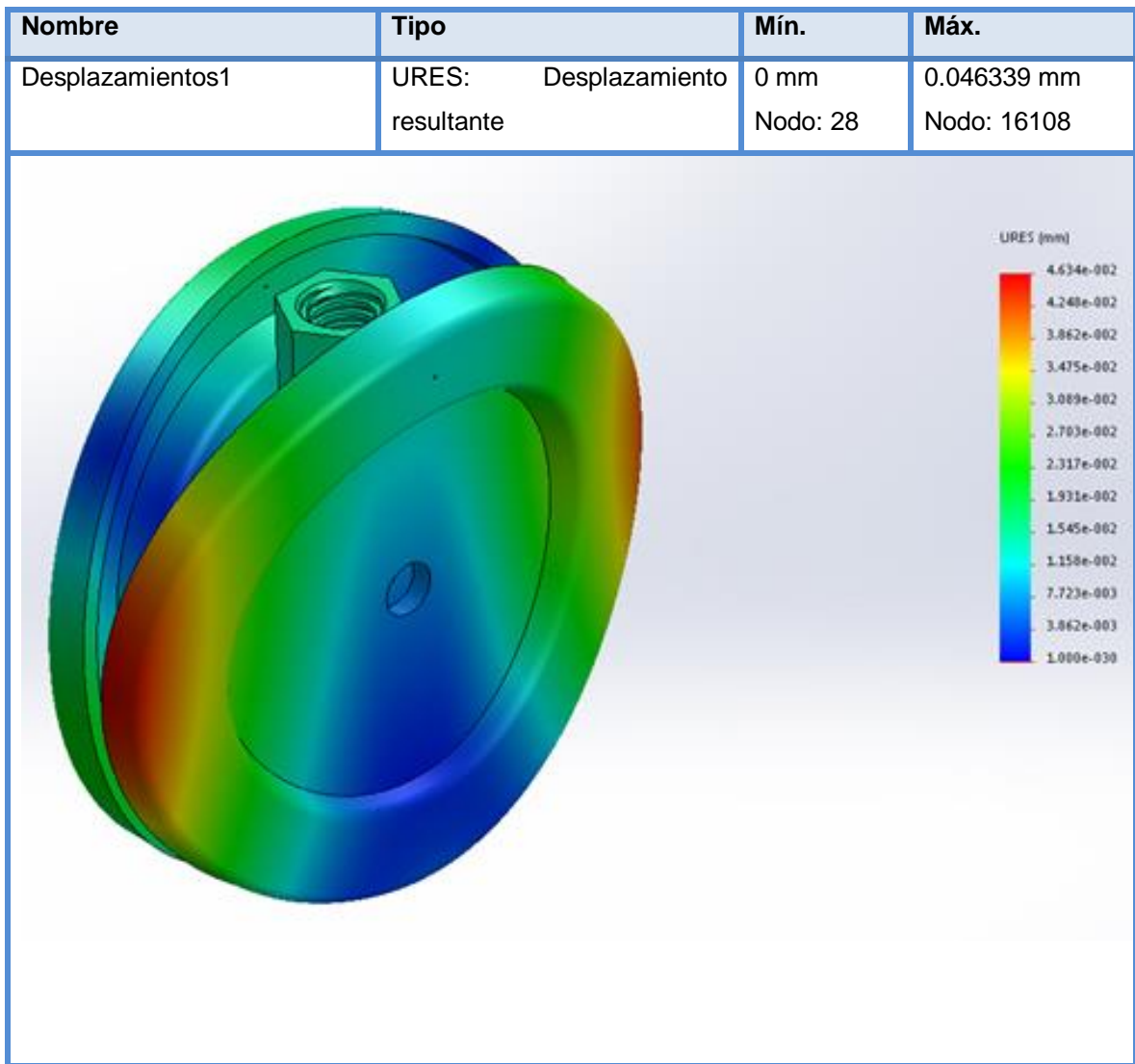
**Figura 37. Valores de esfuerzos sobre los platos de sellado.**



Observando los resultados del análisis de tensión de Von Mises, se puede ver que los platos de sellado no van a fallar con las cargas que se le aplican en el trabajo

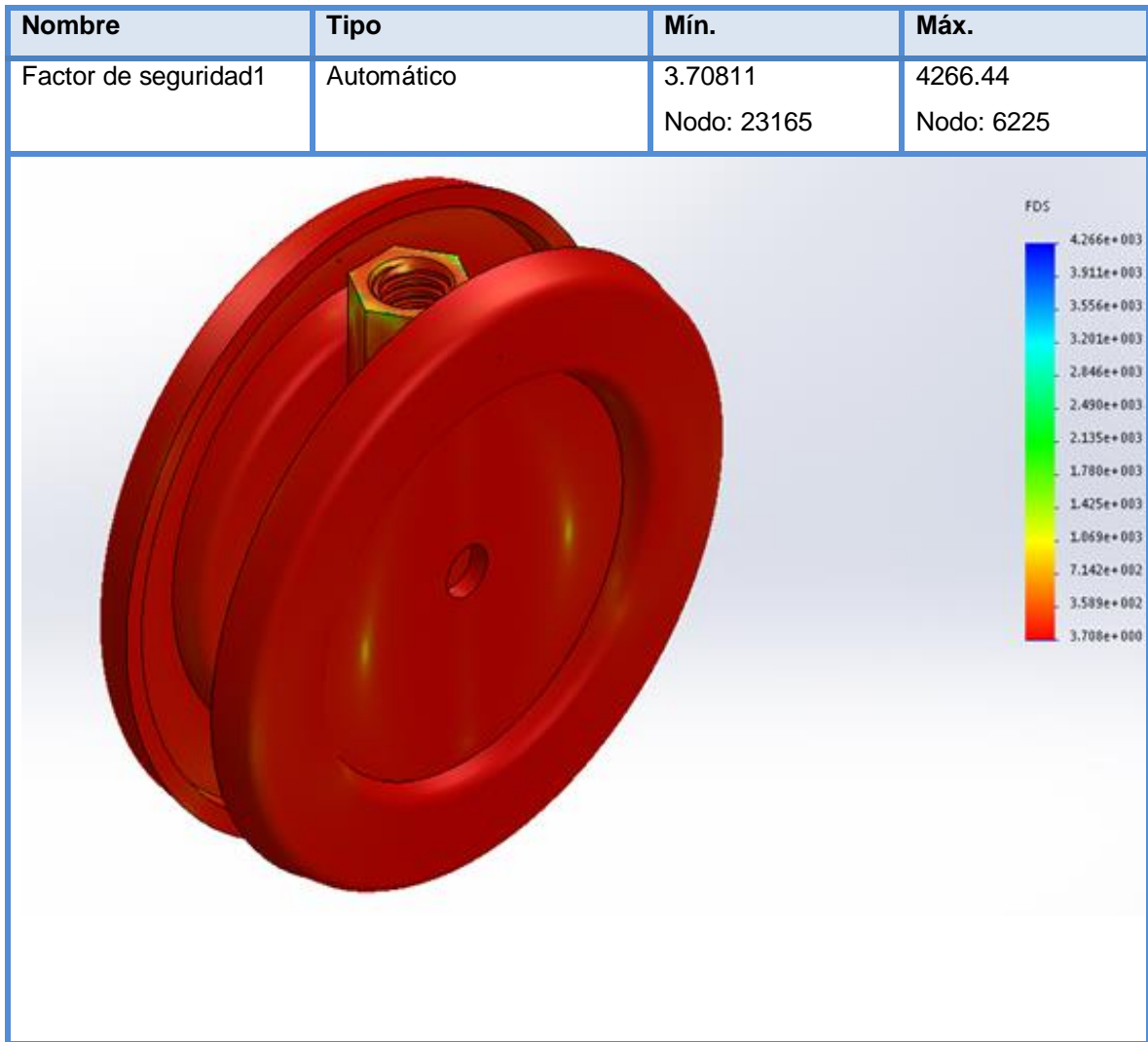
que está realizando bajo condiciones estáticas, puesto que el valor máximo de esfuerzo que están soportando es de 55.77 [MPa] y el que puede resistir es de 517 [MPa].

**Figura 38. Análisis de desplazamiento de los platos de sellado.**



Observando los resultados de desplazamiento que presenta los platos de sellado con la carga que soporta, se divisa que el máximo desplazamiento es de 0.046339 mm, el cual se da en la parte inferior, siendo éste un valor muy pequeño y aceptable.

**Figura 39. Análisis de factor de seguridad de los platos de sellado.**

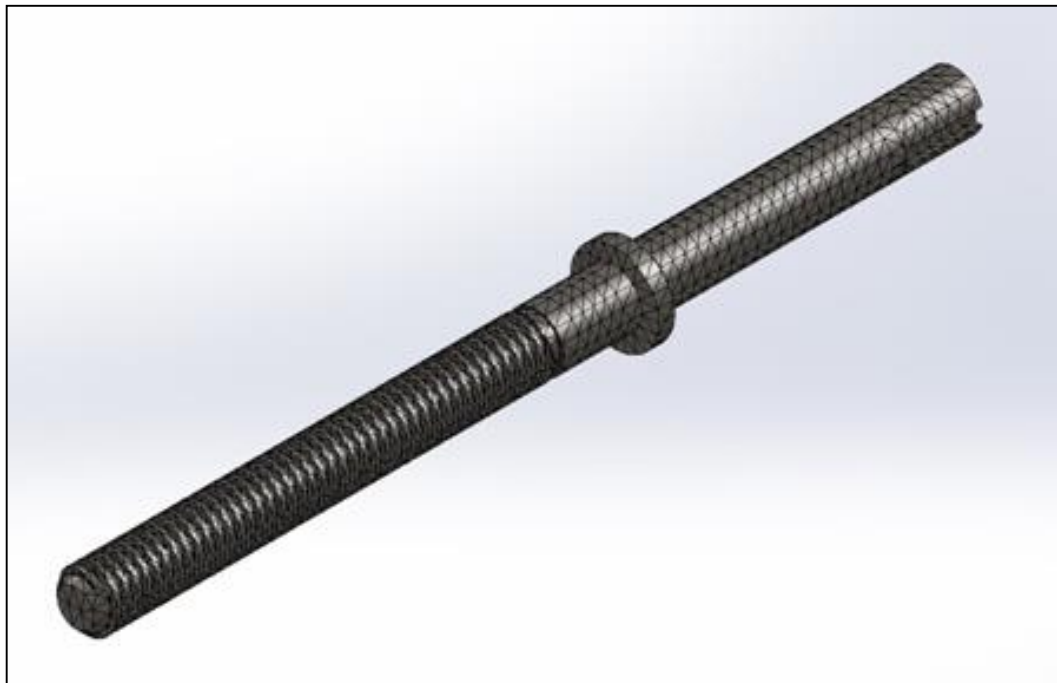


Observando los resultados del factor de seguridad, se encuentra que el valor mínimo es de 3.7, el cual es un valor aceptable para las condiciones de diseño y no presentarán daño alguno bajo la carga que se presente en la operación.

**3.5.4 Análisis estático del tornillo roscado.** En el análisis estático se realiza análisis de tensión de Von Mises, desplazamiento y de factor de seguridad con las cargas halladas en los cálculos de fuerzas.

En este análisis se evaluó el comportamiento del tornillo bajo las cargas que actúan en él, las cuales son el torque de cerrado y la fuerza axial que le imprime a éste el contacto del sello con el asiento. El tornillo se elaboró en acero AISI 420 con propiedades químicas especiales, que permiten dar temple, esto con el fin de cambiar su dureza superficial y evitar enclavamientos o atascamientos con la tuerca.

**Figura 40. Mallado del tornillo roscado.**



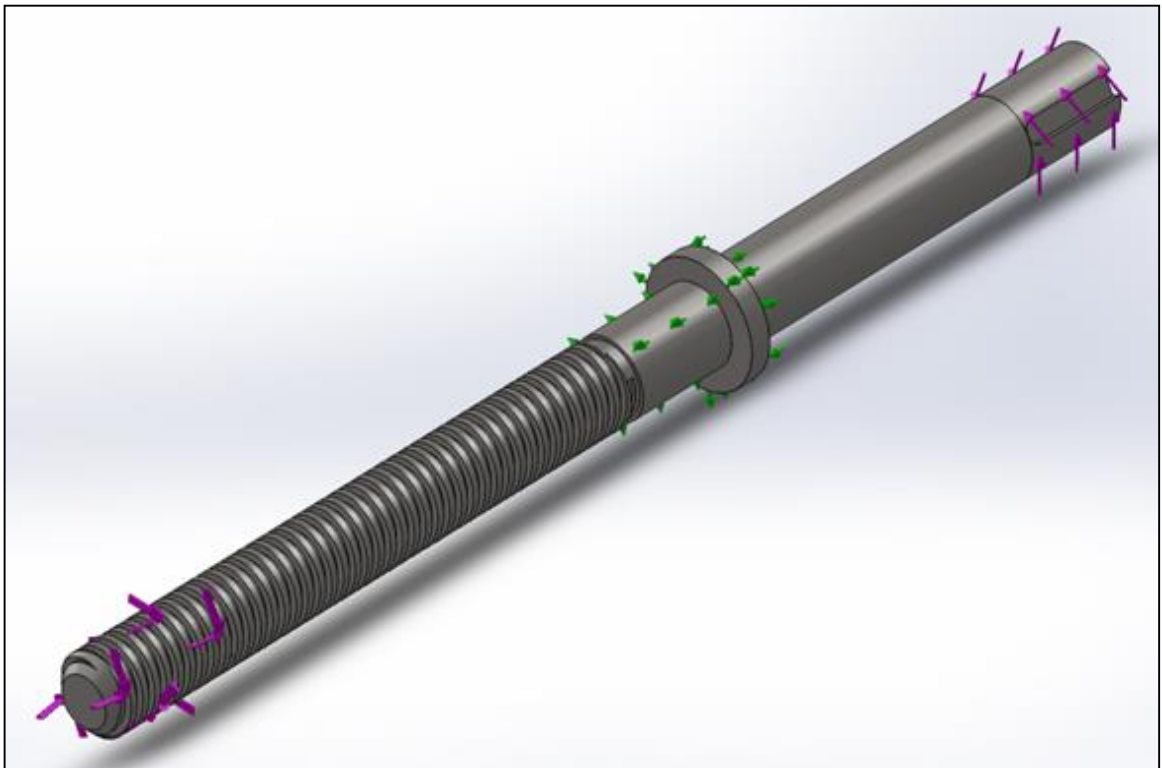
Para realizar este análisis, se procede primero a realizar el mallado de la pieza para poder conocer datos unitarios de cada punto que las conforman.

**Tabla 14. Información de la malla para el tornillo roscado.**

Número total de nodos	35249
Número total de elementos	21167
Cociente máximo de aspecto	28.865
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	95.1
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0.128
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:22
Nombre de computadora:	LLANDREXLL-PC

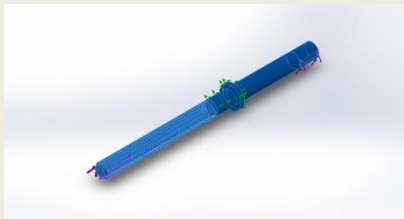
Se procede a definir las cargas y el material del modelo.

**Figura 41. Cargas aplicadas en el tornillo roscado.**



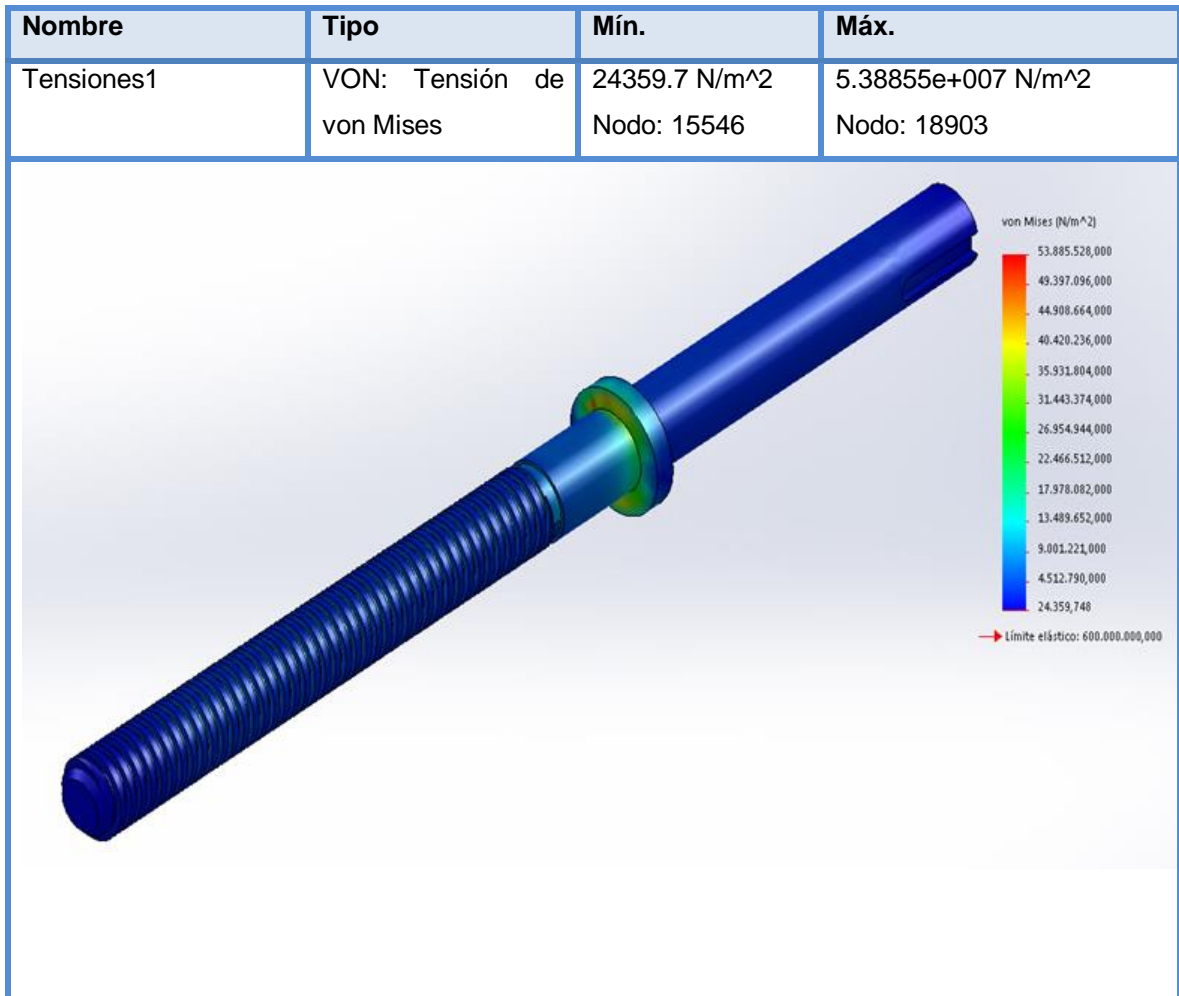
El modelo se somete a las cargas que actúan, las cuales son el torque de cerrado de 27,89 lb-in y la fuerza axial que le imprime a éste el contacto del sello con el asiento de 140,2 lbf. Definido esto ya se puede realizar los análisis.

**Tabla 15. Propiedades mecánicas del material AISI 420.**

	Nombre:	1.4021 (X20Cr13)
	Tipo de modelo:	Isotrópico elástico lineal
	Criterio de error predeterminado:	Tensión máxima de von Mises
	Límite elástico:	6e+008 N/m <sup>2</sup>
	Límite de tracción:	7.5e+008 N/m <sup>2</sup>
	Módulo elástico:	2.15e+011 N/m <sup>2</sup>
	Coefficiente de Poisson:	0.28
	Densidad:	7700 kg/m <sup>3</sup>
	Módulo cortante:	7.9e+010 N/m <sup>2</sup>
	Coefficiente de dilatación térmica:	1.1e-005 /Kelvin

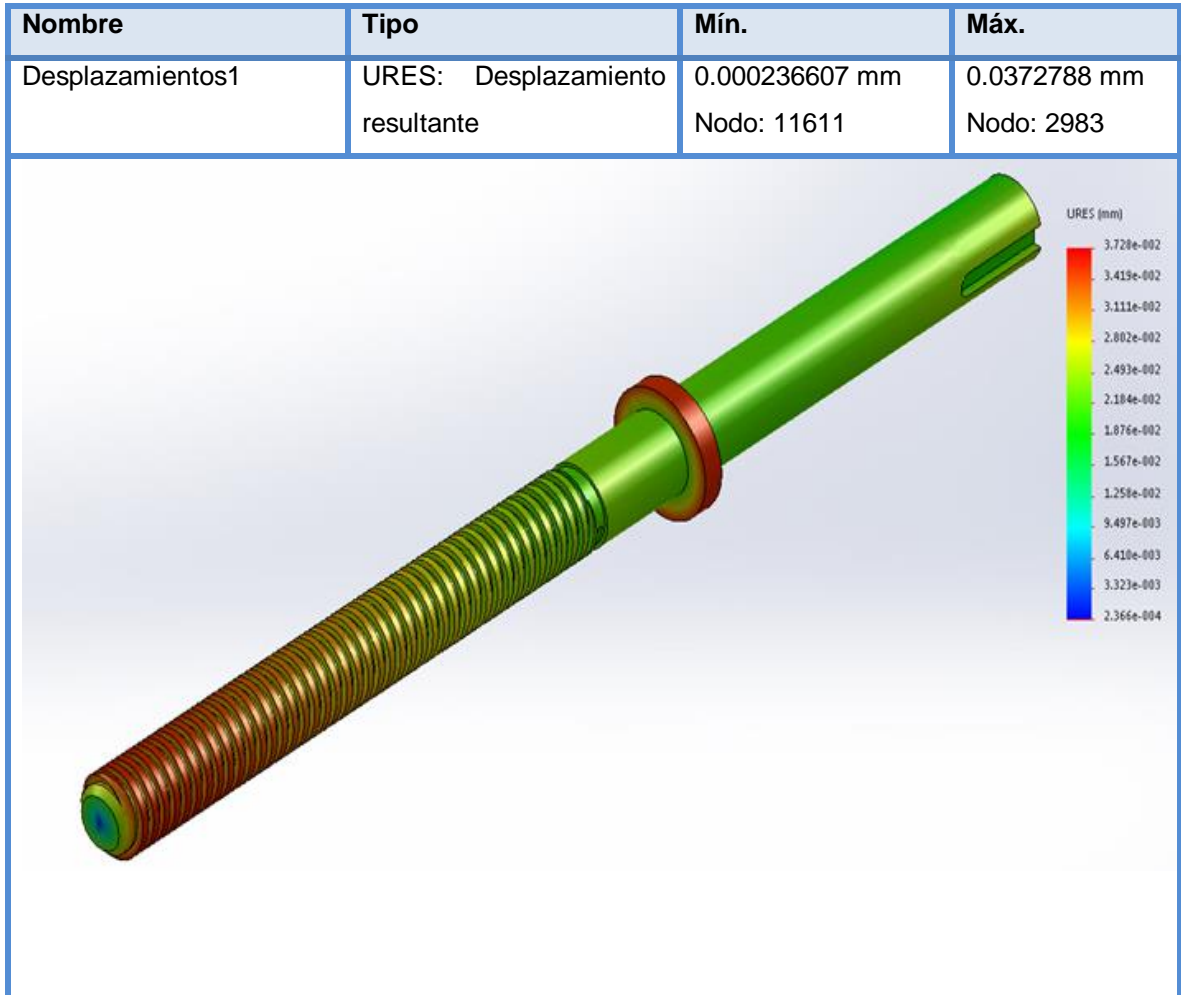
A continuación se realiza cada uno de los análisis del tornillo bajo las cargas de operación.

**Figura 42. Valores de esfuerzos sobre el tornillo roscado.**



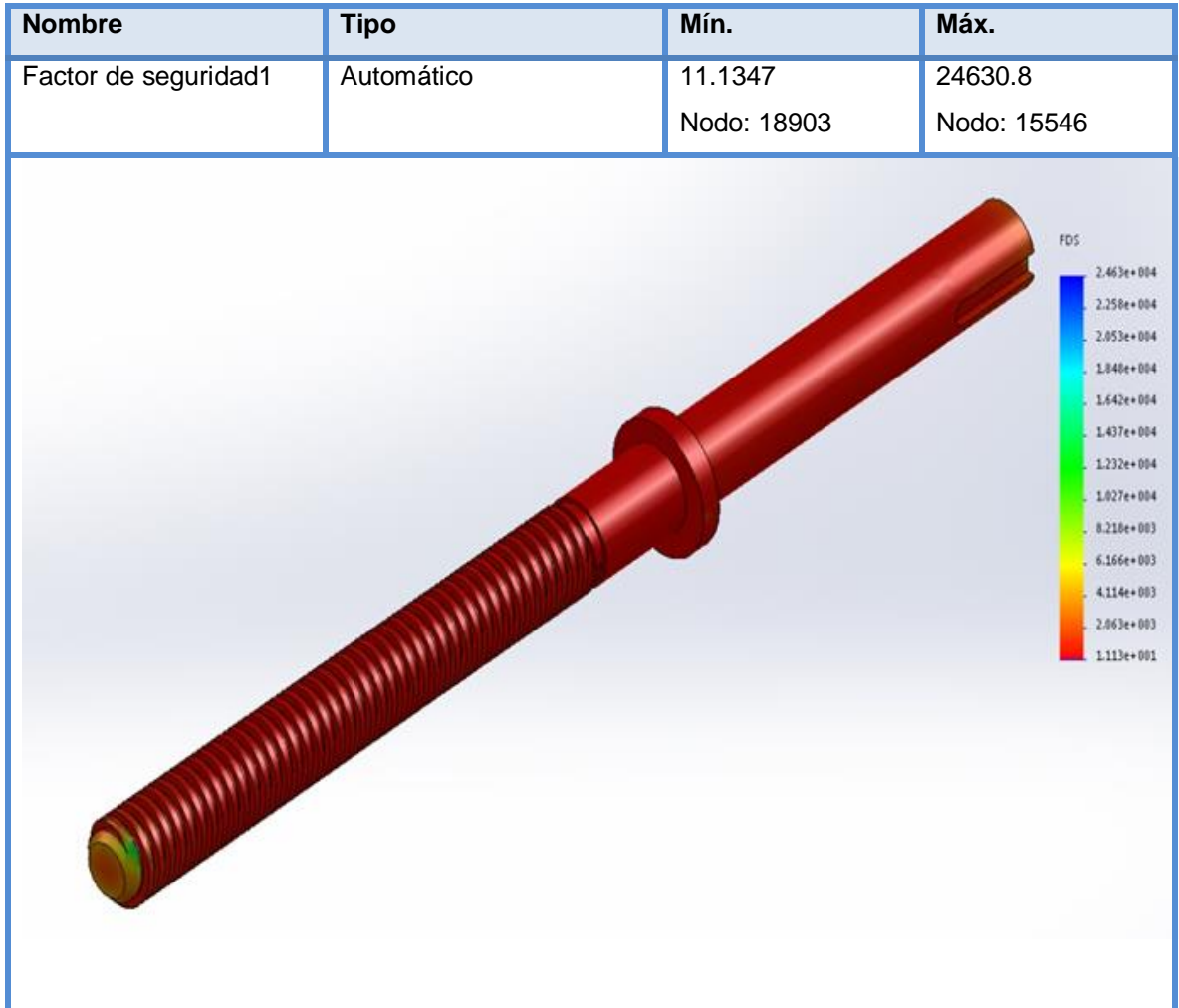
Observando los resultados del análisis de tensión de Von Mises, se puede ver que los platos de sellado no van a fallar con las cargas que se le aplican en el trabajo que está realizando bajo condiciones estáticas, puesto que el valor máximo de esfuerzo que están soportando es de 538.855 [MPa] y el que puede resistir es de 750 [MPa].

**Figura 43. Análisis de desplazamiento del tornillo roscado.**



Observando los resultados de desplazamiento que presenta el tornillo roscado con la carga que soporta, se distingue que el máximo desplazamiento es de 0.0372788 mm, siendo éste un valor muy pequeño y aceptable.

**Figura 44. Análisis de factor de seguridad del tornillo roscado.**



Observando los resultados del factor de seguridad, se encuentra que el valor mínimo es de 11, el cual es un valor aceptable para las condiciones de diseño y no presentarán daño alguno bajo la carga que se presente en la operación.

### 3.6 RESULTADOS FINALES DEL ANÁLISIS CAE DE LA VÁLVULA Y LAS MATRICES

**Tabla 16. Resultados del análisis CAE de las matrices.**

<b>Resultados finales del análisis CAE de las matrices</b>					
Fuerza actuante	Valor	Esfuerzo Ejercido	Esfuerzo Permitido	Desplazamiento	Factor de seguridad
Fuerza de compresión	600000 N	92,587 MPa	625 MPa	0.0244415 mm	3,46

**Tabla 17. Resultados del análisis CAE del bastidor.**

<b>Resultados finales del análisis CAE del bastidor</b>					
Fuerza actuante	Valor	Esfuerzo Ejercido	Esfuerzo Permitido	Desplazamiento	Factor de seguridad
Fuerza debida a la presión	1090 Lbf	53 MPa	517 MPa	0.174622 mm	3,84
Fuerza ejercida en la cuña	1607 lbf				

**Tabla 18. Resultados del análisis CAE de los platos de sellado.**

<b>Resultados finales del análisis CAE de los platos de sellado</b>					
Fuerza actuante	Valor	Esfuerzo Ejercido	Esfuerzo Permitido	Desplazamiento	Factor de seguridad
Fuerza axial en la cuña	1607 Lbf	55,77 MPa	517 MPa	0.046339 mm	3,7
Fuerza axial debido a la presión	58 lbf				

**Tabla 19. Resultados del análisis CAE del tornillo roscado.**

<b>Resultados finales del análisis CAE del tornillo roscado</b>					
Fuerza y Torque actuante	Valor	Esfuerzo Ejercido	Esfuerzo Permitido	Desplazamiento	Factor de seguridad
Fuerza axial total	140,2 lbf	538,855 MPa	750 MPa	0.0372788 mm	11
Torque de cerrado	27,89 Lb-in				

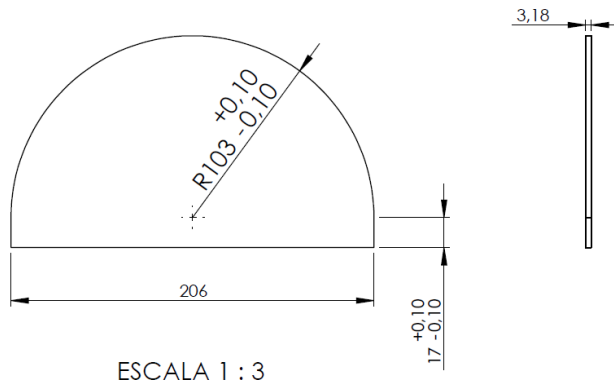
#### **4. PROCESO DECONSTRUCCIÓN Y MONTAJE**

##### **4.1 ELABORACIÓN DE PLANOS PARA CORTE LÁSER DE PIEZAS**

Luego de la etapa de diseño, donde se realizaron los cálculos y selección de los materiales para la fabricación de nuestra válvula, utilizaremos la ayuda CAD de SOLIDWORKS para la elaboración de los planos de cada pieza que la conforma y de esta manera llevar a cabo los diferentes procesos de fabricación.

A continuación se da una muestra de algunos planos de piezas que se elaboraron. Los planos completos de todas las piezas se pueden ver en los anexos.

**Figura 45. Ejemplo de planos para corte de piezas.**





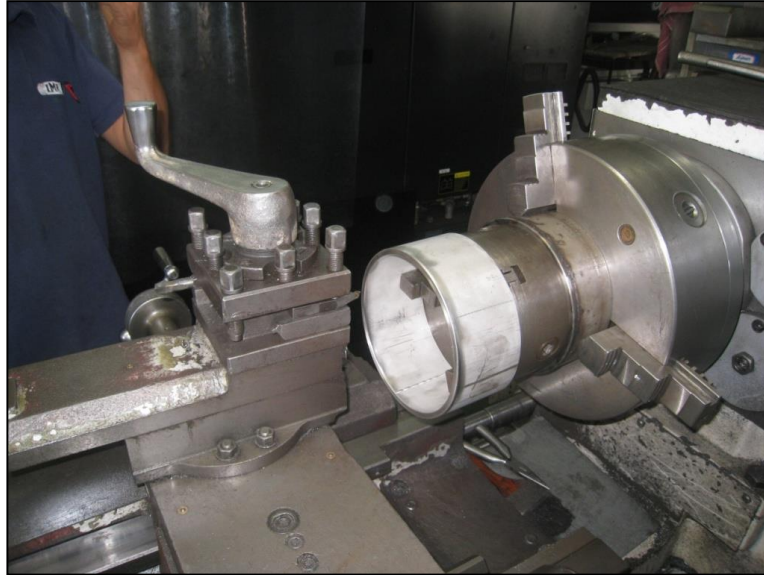
### 4.3 CONSTRUCCIÓN DE LOS UTILAJES DE SUJECCIÓN

**4.3.1 Utilaje de sujeción para acoples.** Este utilaje de sujeción se utilizó para poder refrentar y dar la inclinación de  $2,5^\circ$  en un extremo del acople. Consta de un tubo de acero AISI 304 cortado con dicha inclinación en donde se le soldó una tapa de tal forma que vaya en contacto con el mandril pequeño. Se realizó también una serie de perforaciones en la parte posterior para montarlo en el torno y sostenerlo mediante tornillos. Cuando el tubo se monta en el mandril grande del torno y posteriormente se monta el pequeño en contacto con éste, hace que el mandril pequeño tome la inclinación del tubo. Teniendo ya todo montado, se aprieta el acople a refrentar en las mordazas pequeñas y se procede a hacerle el plano inclinado.

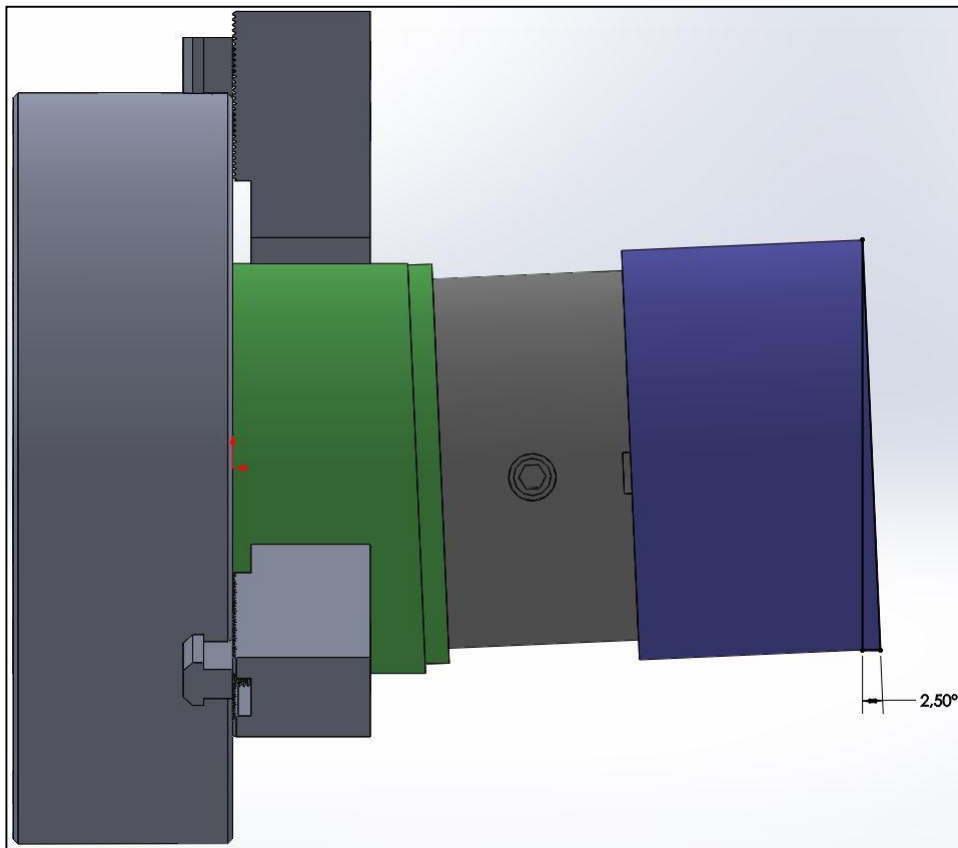
**Figura 47. Utilaje de sujeción para los acoples.**



**Figura 48. Utilaje de sujeción para acoples montado en el torno.**

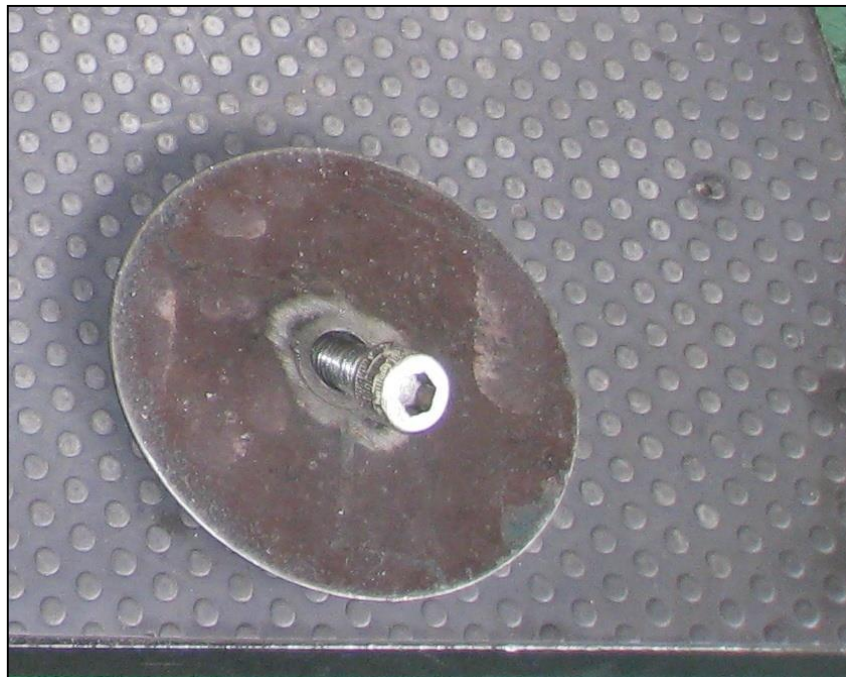


**Figura 49. Vista lateral del CAD del utilaje de sujeción para acoples montado en el torno.**



**4.3.2 Utilaje de sujeción para los platos de sellado.** Su función principal es sostener el plato de sellado fijo a la matriz, para de esta forma realizar el proceso de refrentado que ésta necesite. Consta de un disco de 100 mm de diámetro con un taladrado en donde se sujeta un tornillo y su respectiva tuerca. El plato se sujeta sobre la matriz, posteriormente se le coloca el plato, se ajusta el tornillo en el otro extremo, luego se lleva todo el conjunto y se ajusta en el mandril del torno.

**Figura 50. Utilaje de sujeción para los platos de sellado.**



**Figura 51. Utilaje de sujeción para los platos de sellado montado en el torno.**



#### **4.4 CONSTRUCCIÓN DEL BASTIDOR**

La construcción de estas piezas se realizó con cortes de lámina de acero AISI 304 de 1/8" de espesor y con las dimensiones especificadas por medio de un equipo de corte por láser. Seguidamente se procedió a doblarlas hasta obtener la curvatura deseada. En este proceso se realizó las láminas curvadas superiores e inferiores del bastidor de la válvula.

**Figura 52. Láminas curvadas superiores e inferiores.**



En la construcción de las bridas se les hicieron unos cortes internos de forma rectangular de una lámina de acero AISI 304 de 5 mm de espesor por medio de un equipo de corte láser. Además se le realizaron 12 taladrados de 8.5 mm para los tornillos.

#### **4.5 CONSTRUCCIÓN DE LOS PLATOS DE SELLADO**

Los sellos se cortaron circunferencialmente por medio de láser en una lámina de acero AISI 304 de 3,5 mm de espesor y con 192 mm de diámetro cada una.

**Figura 53. Platos de sellado.**



**4.5.1 Estampado de los sellos.** Se utilizó una prensa hidráulica de 60 toneladas en donde se sujetaron las matrices en los portaherramientas. Luego se colocó el plato que va a ser estampado en la matriz inferior y se encendió la máquina, teniendo en cuenta que la presión que se seleccionó sea de 4500 psi. Se Procedió a realizar el estampado de los platos, en donde se obtuvo un buen resultado. Finalmente se retiró el plato estampado y se procedió a realizar el mismo proceso para el siguiente.

**Figura 54. Matrices y platos de sellado.**

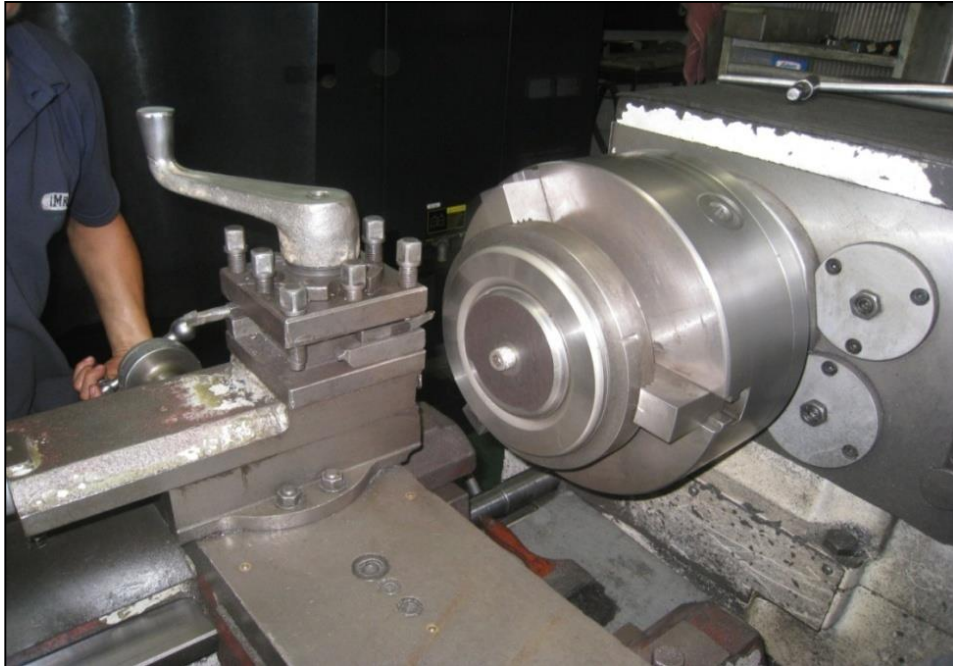


**Figura 55. Platos de sellado después de haber sido estampados.**



**4.5.2 Mecanizado de sellos.** Luego de realizar el estampado los platos del sello por medio de las matrices, se procedió a mecanizarlos en un torno, en donde con ayuda de un elemento que se construyó para sujetarlo, se le realizó un refrentado en las caras del plato para de esta forma dejarle un acabado superficial óptimo.

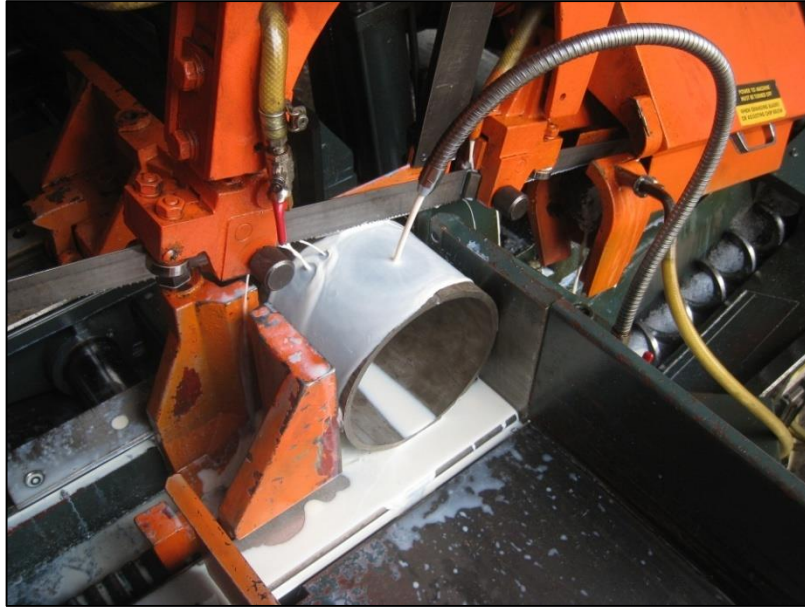
**Figura 56. Mecanizado de los platos de sellado en el torno.**



## **4.6 CONSTRUCCIÓN DE LOS ACOPLES**

Para la fabricación de los acoples cortamos dos partes de un tubo de acero AISI 304 de 6" de diámetro y 100 mm de longitud.

**Figura 57. Corte de los acoples.**



**4.6.1 Proceso de maquinado de los acoples.** Posterior al proceso de corte, se le realizó un proceso de cilindrado y refrentado con el fin de dejar la pieza con un buen acabado superficial, teniendo en cuenta que en uno de sus extremos va con una inclinación de  $2,5^\circ$  de tal forma que coincida con la inclinación de los platos de sellado de la válvula.

**Figura 58. Maquinado de los acoples en el torno.**



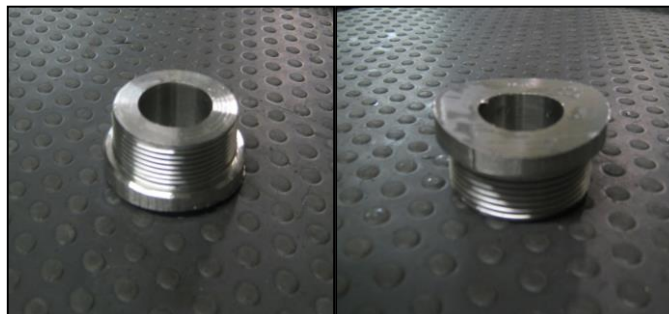
**Figura 59. Acoples maquinados.**



#### **4.7 CONSTRUCCIÓN DE LA CABEZA ROSCADA**

Para la fabricación de la cabeza roscada se utilizó un eje de acero AISI 304 de 44,5 mm de diámetro y 17,5 mm de longitud. Se realizó el corte en la sierra sin fin y posteriormente se envió al torno donde se le realizó en primer lugar el refrentado de sus dos caras, luego un cilindrado y un taladrado pasante de 7/8". Después se le realizó un chaflán de 1,5 mm a 45° para seguidamente hacerle un roscado tipo v aguda de 1,5 mm de paso y 12 mm de longitud roscada. Finalmente se le realizó una curvatura con un radio de 103 mm en la parte de la base, de tal forma que sirva de apoyo cuando se suelde a la parte superior del bastidor.

**Figura 60. Cabeza roscada.**



#### 4.8 CONSTRUCCIÓN DE EL BUJE DE CONTENCIÓN

Para su fabricación se utilizó tubería de acero AISI 304 de 43 mm de diámetro y 78 mm de longitud. Se cortó por medio de la sierra sin fin disponible en la planta y posteriormente se le realizó en el torno un refrentado en ambas caras del buje, además de un cilindrado. Luego se realizaron dos roscados de 1,5 mm de paso y 18 mm de longitud roscada, uno interno y el otro externo, en cada uno de sus extremos. Posteriormente se fabricó un buje más pequeño, el cual se soldó en la parte interna, en donde cumple la función de sostener el tornillo roscado evitando que éste se mueva cuando gire.

**Figura 61. Buje de contención.**



#### 4.9 CONSTRUCCIÓN DEL ANILLO DE COMPRESIÓN

Se cortó de un tubo de acero AISI 304 de 35 mm de diámetro externo, posteriormente se llevó al torno donde se le hicieron los procesos de refrentado y cilindrado.

**Figura 62. Anillo de compresión.**



#### **4.10 CONSTRUCCIÓN DE LAS MATRICES**

Las matrices se cortaron por medio de plasma de un eje de acero AISI 1045 de 220 mm de diámetro y 50 mm de espesor. Posterior al corte se llevó al torno para realizarle un refrentado y cilindrado de tal manera que la pieza quedara uniforme. A continuación se realizó el proceso de maquinado en la fresa CNC, teniendo en cuenta que ya se había enviado por medio de un computador el código G del modelo a realizar en dicha máquina. Terminado este proceso de maquinado se procedió a realizar un proceso de cementado para lograr una dureza final de 40 HRC, pues es de gran importancia que la matriz resista la fuerza de compresión cuando se esté realizando el estampado de los platos de sellado. Terminado este tratamiento térmico, se realizó un rectificando de la matriz, para de esta forma dejarla con una superficie adecuada que van a copiar las dos compuertas.

**Figura 63. Material para la construcción de las matrices.**



**Figura 64. Matrices terminadas.**



#### 4.11 CONSTRUCCIÓN DEL TORNILLO Y LA TUERCA DE DESPLAZAMIENTO

La tuerca se cortó por medio de una següeta mecánica, en donde se utilizó una barra de acero AISI 304 hexagonal de 1 ¼", y 150 mm de longitud. Se adoptó la tuerca con esta geometría debido a que posee seis caras planas, en dos de las cuales van soldados los platos de sello.

**Figura 65. Corte del material para la tuerca de desplazamiento.**



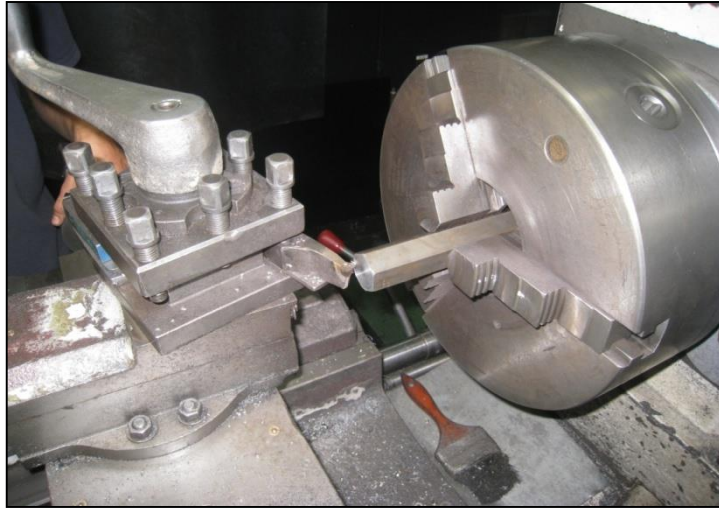
Para el tornillo roscado utilizamos una barra de acero AISI de 34 mm de diámetro y 340 mm de longitud, la cual se cortó en la sierra sin fin.

**Figura 66. Corte del material para el tornillo roscado.**



**4.11.1 Mecanizado de tuerca de desplazamiento y tornillo.** Después del proceso de corte, se procedió con el mecanizado de la tuerca en el torno, en donde en primer lugar se le hizo un refrentado a ambas caras con el fin de dejarlas planas. A continuación se le realizó un roscado interno con rosca cuadrada en uno de sus extremos utilizando un paso 1/6”.

**Figura 67. Mecanizado de la tuerca de desplazamiento.**

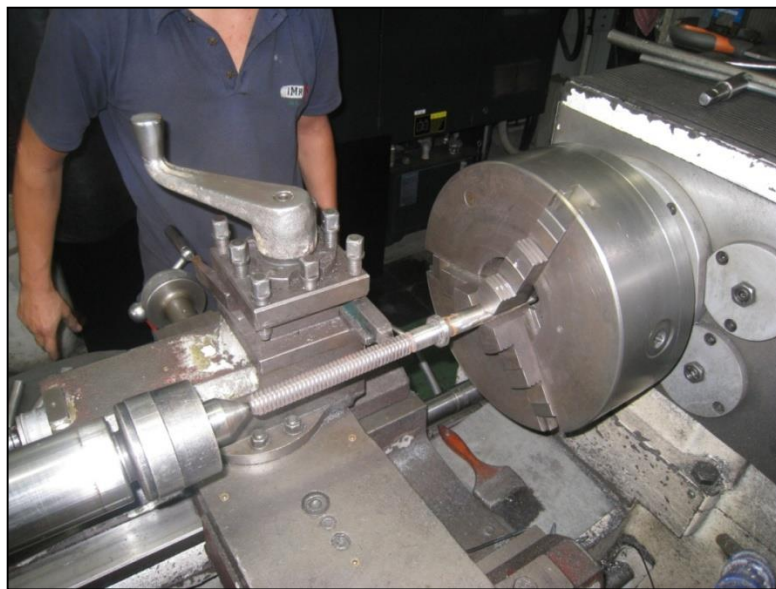


**Figura 68. Tuerca de desplazamiento terminada.**



Al tornillo se le realizó un refrentado en ambas caras, seguido de un taladrado en uno de sus extremos con el fin de poder montarlo con el centro punto del torno. A continuación se le realizó un cilindrado hasta dejarlo con 7/8" de diámetro, en donde se le dejó un cuello con el mismo diámetro inicial de la barra, el cual es el encargado de mantener el tornillo en su sitio cuando éste gire. Luego se le realizó un roscado con rosca cuadrada de 1/6" de paso y 174 mm de longitud roscada.

**Figura 69. Mecanizado del tornillo roscado.**



**Figura 70. Tornillo roscado terminado.**



**4.11.2 Tratamiento térmico de tornillos.** Después de haber terminado el maquinado del tornillo, se procedió a realizarle un tratamiento térmico de templado y revenido para alcanzar una dureza de 50 HRC, debido a que al estar en contacto con la tuerca de desplazamiento, cuando se presente grandes esfuerzos, pueden llegar a micro soldarse, siendo por éste el motivo de darle una mayor dureza al tornillo por medio del tratamiento térmico anteriormente mencionado.

**Figura 71. Tornillos con tratamiento térmico.**



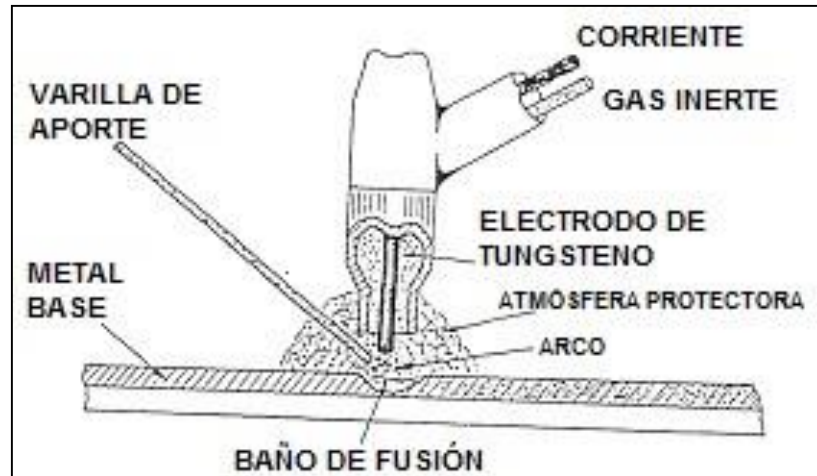
## **4.12 SOLDADURA**

Para el proceso de soldado de las piezas utilizamos soldadura TIG para acero inoxidable ER308L. (Propiedades de la varilla de aporte ver anexos).

El proceso TIG (*Tungsten Inert Gas*) resulta un procedimiento muy adecuado para soldar el acero inoxidable. En este caso, el arco eléctrico se establece entre un

electrodo no consumible de Tungsteno y el metal base, bajo una atmósfera protectora generada por un gas inerte.<sup>5</sup>

**Figura 72. Proceso de soldadura TIG.**



Válvula de guillotina. Disponible página

web; <<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/figutut52/fig1tut52.jpg>>

El gas inerte (normalmente argón) se usa para proteger del aire circundante al metal fundido de la soldadura. Si es necesario, también se puede agregar metal de aporte en forma de un alambre o varilla que se introduce dentro del arco, de forma bien manual o automáticamente, para fundirlo y cuyas gotas caigan dentro del baño de fusión.<sup>6</sup>

El procedimiento de soldadura TIG genera cordones de gran calidad, sin escorias (dado que emplean electrodos no consumibles sin revestimiento), ni proyecciones, por lo que se usa para soldaduras de responsabilidad en acero inoxidable, donde obtener soldaduras de calidad sea necesario.<sup>7</sup>

<sup>5</sup>Válvula de guillotina. Disponible página web;

<<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn48.html>>

<sup>6</sup>Ibid.

<sup>7</sup>Ibid.

## 5. MONTAJE

Después de tener ya listas todas las piezas que conforman la válvula, se procedió a realizar el ensamble. En primer lugar se soldó todo el conjunto de piezas que conforma el bastidor.

Se realizó la soldadura de cada una de las tapas laterales que conforma la parte superior del bastidor, además de la tapa roscada y a brida de acoplamiento. En este proceso de soldadura se debe tener en cuenta que el cordón sea continuo de tal manera que no quede ningún tipo de abertura que pueda dar lugar a fugas. Cabe aclarar que cada una de las tapas laterales se soldaron por la parte interna de la válvula mientras que para la tapa roscada y la brida se realizó por la parte externa.

**Figura 73. Proceso de soldado de la parte superior del bastidor.**



Luego se soldaron las piezas que conforman la parte inferior del bastidor, teniendo todos los cuidados para que el cordón de soldadura sea de buena calidad.

**Figura 74. Proceso de soldado de la parte inferior del bastidor.**



Finalmente se realizó el proceso de soldado de los acoples laterales de la válvula, los cuales fueron puestos de manera cuidadosa, de tal manera que el ángulo de la cuña que cada uno lleva en uno de sus extremos quedara preciso.

**Figura 75. Proceso de soldado de los acoples de la válvula.**



En segundo lugar, se realizó la soldadura de cada uno de los platos de sellado a la tuerca de desplazamiento, teniendo en cuenta que los platos deben ir en caras opuestas del hexágono.

**Figura 76. Proceso de soldado de los platos de sellado.**



Para terminar con el proceso de soldadura, se realizó la unión de la parte superior de la tuerca de empaquetadura.

**Figura 77. Proceso de soldado de la tuerca de empaquetadura.**



Con el proceso de soldadura ya terminado, se procedió a ensamblar la válvula con todos sus componentes, para de esta manera tener lista la configuración total de la válvula de guillotina.

**Figura 78. Elementos de la válvula para ensamble.**



Se inició por enroscar la tuerca de empaquetadura con el buje de contención.

**Figura 79. Ensamble de la tuerca de empaquetadura y buje de contención.**



Posteriormente se ingresó el tornillo roscado por la parte superior del bastidor.

**Figura 80. Ensamble del tornillo roscado y la parte superior del bastidor.**



Luego se ensamblaron todos los componentes que hacen parte de la empaquetadura (cordón grafitado, disco de fricción y anillo de compresión). Se enroscó todo este componente en la parte superior del bastidor, posteriormente se ingresaron los platos de sellado por el tornillo roscado.

**Figura 81. Ensamble de platos de sellado y tornillo roscado.**



Por último, se unió las dos partes del bastidor por medio de los tornillos de la brida y se colocó en medio de éstas un empaque de teflón, el cual evita las fugas.

**Figura 82. Ensamble general de la válvula.**



## 6. PRESUPUESTO

A continuación se presentan los costos que se generaron en la construcción de la válvula. Ésta se construyó en el taller de la empresa IMR, en donde se dispuso de diferentes máquinas y ayuda técnica por parte de algunos operarios, que con su experiencia nos hicieron varios aportes.

**Tabla 20. Costos de los materiales utilizados.**

<b>COSTOS DE MATERIALES</b>			
<b>COMPONENTE</b>	<b>UNIDAD (\$)</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TOTAL (\$)</b>
Lámina de acero AISI 304 de 1/8"	50.000	1	40.000
Lámina de acero AISI 304 de 3,5 mm	60.000	1	50.000
Lámina de acero AISI 304 de 5 mm	80.000	1	70.000
Eje de acero 1045 de 9"	250.000	2	500.000
tubo de acero AISI 304 de 35 mm	10.000	1	10.000
Tubo de acero AISI 304 de 49 mm	6.000	1	6.000
Eje de acero AISI 304 de 43 mm	12.000	1	12.000
Tubo de acero AISI 304 de 45 mm	7.000	1	7.000
Eje de acero AISI 304 de 34 mm	5.000	1	5.000
Eje de acero AISI 304 hexagonal de 1 1/4"	8.000	1	8.000
Tubo de acero AISI 304 de 6"	25.000	2	50.000
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 758.000</b>

**Tabla 21. Costos de maquinados, doblados, soldados y tratamientos térmicos.**

<b>COSTOS DE MAQUINADOS, DOBLADOS, SOLDADOS Y TRATAMIENTOS TÉRMICOS</b>	
<b>COMPONENTE</b>	<b>TOTAL (\$)</b>
Torneado, Roscado, Taladrado, Rectificado, fresado, granallado de los elementos de la válvula.	150.000

<b>Maquinado de las matrices</b>	1'500.000
<b>Doblado</b>	12.000
<b>Tratamiento térmico del tornillo</b>	20.000
<b>Tratamiento térmico de las matrices</b>	120.000
<b>Soldadura TIG ER308L</b>	50.000
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 1'852.000</b>

**Tabla 22. Costos totales del proyecto.**

<b>COSTOS TOTALES</b>	
<b>REFERENCIA</b>	<b>TOTAL (\$)</b>
<b>Costos de materiales</b>	758.000
<b>Costos de maquinados, soldados, doblados y tratamientos térmicos</b>	1'852.000
<b>12 tornillos button inoxidables con su respectiva tuerca de 5/16"</b>	5.000
<b>Cordón grafitado</b>	5.000
<b>Empaques de teflón</b>	29.000
<b>Papelería</b>	60.000
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 2'709.000</b>

El costo total del proyecto fue de \$ 2'709.000.

Cabe resaltar que este costo total incluye la inversión inicial que se hizo al construir las matrices para el estampado de las compuertas de sellado, las cuales aumentan significativamente el valor de la fabricación de la válvula. Sin embargo, cuando se vayan a construir más válvulas este costo de las matrices ya no se incluiría, por lo tanto el valor neto de construir una válvula sería:

**Tabla 23. Costo de fabricación de una válvula.**

<b>COSTO NETO DE FABRICACIÓN DE UNA VÁLVULA</b>	
<b>Costos de materiales</b>	258.000
<b>Costos de maquinados, soldados, doblados y tratamientos térmicos</b>	232.000
<b>12 tornillos button inoxidable con su respectiva tuerca de 5/16"</b>	5.000
<b>Cordón grafitado</b>	5.000
<b>Empaques de teflón</b>	29.000
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 529.000</b>

## **7. PRUEBAS**

### **7.1 PRUEBAS APLICABLES SEGÚN LA NORMA API 598**

Esta norma cubre requisitos de inspección como, examinar, visualizar, y realizar pruebas de presión para sellos no metálicos (cerámicos), metal-metal en válvulas de compuerta, globo, bola, cheque y mariposa.

Los requisitos de inspección se refieren a exámenes y pruebas de los fabricantes y a los exámenes complementarios que el comprador puede exigir en la planta del fabricante de la válvula, los requisitos de ensayo cubren tanto pruebas fijas como pruebas de presión opcionales en la planta del fabricante de la válvula.

Las siguientes pruebas y exámenes están especificados en esta norma:

- Prueba del casco
- Prueba de sellado
- Prueba a baja presión
- Examinación visual de la conformación

### **7.2 EXAMINACIÓN, PRUEBAS Y PRUEBAS SUPLEMENTARIAS DE LA VÁLVULA**

**7.2.1 Inspección realizada en la planta del fabricante.** El comprador especificará en la orden de compra la intención de mirar el proceso de fabricación de las válvulas y evaluar las pruebas que a ésta se le hacen en la planta. Esto se podrá aplicar siempre y cuando los procesos visibles no sean claves en la fabricación a fin de evitar plagio por parte de otros fabricantes.

**7.2.2 Grado de inspección.** El grado de inspección debe ser especificado en la orden de compra a menos que se indique lo contrario y debe estar limitado bajo las siguientes condiciones:

- Inspección de la válvula durante el ensamblado para asegurar conformidad con las especificaciones de la orden de compra, la inspección puede incluir pruebas no destructivas.
- Prueba de presión de operación, examen y prueba de presión opcional.
- Informe de las pruebas no destructivas.

**7.2.3 Exámenes.** Un examen visual debe ser realizado por el fabricante de la válvula sobre todo el cuerpo de ésta, juntas soldadas, sellos, cuerpo, tapas y accesorios.

El fabricante debe examinar cada válvula para asegurar conformidad con esta norma y con la orden de compra del comprador.

Todos los exámenes deben ser realizados en concordancia con los procedimientos escritos que cumplen con la norma aplicable.

**7.2.4 Exámenes suplementarios.** Los análisis suplementarios solamente serán requeridos en caso que se especifiquen en la orden de compra por parte de comprador y solamente en un grado específico como:

- Análisis por partículas magnéticas
- Radiografía
- Tintas penetrantes
- Ultrasonido

Estos procedimientos deben ir acordes a los criterios de aceptación del cliente y deben ser hechos por el fabricante de la válvula teniendo como testigo al inspector enviado por el comprador.

### **7.3 PRUEBAS DE PRESIÓN**

**7.3.1 Lugar de la prueba.** Las pruebas de presión se deben realizar en la planta del fabricante para mayor rapidez en el proceso.

**7.3.2 Equipo requerido para la prueba.** El equipo usado por el fabricante para realizar la prueba requerida no debe aplicar una fuerza externa que afecte las fugas del asiento. Si se utiliza un accesorio en un extremo para la sujeción, el fabricante debe demostrar que esta fijación para realizar la prueba no afecta la capacidad del sellado del asiento cuando la válvula se esté probando. Accesorios extremos para sujeción son permitidos en válvulas tipo cheque y mariposa con extremos bridados.

**7.3.3 Prueba requerida.** La prueba de presión listada en la tabla 24 debe ser realizada en cada válvula en concordancia con el procedimiento escrito que acompaña esta norma. Se debe realizar la prueba de sellado bajo la presión especificada en esta tabla, aun así en la orden de compra no se especifique.

**Tabla 24. Pruebas requeridas según el tipo de válvula.**

Test Description	Valve Type					
	Gate	Globe	Plug	Check	Floating Ball	Butterfly and Trunnion-Mounted Ball
Shell	Required	Required	Required	Required	Required	Required
Backseat <sup>a</sup>	Required	Required	NA	NA	NA	NA
Low-pressure closure	Required	Optional	Required <sup>b</sup>	Alternative <sup>c</sup>	Required	Required
High-pressure closure <sup>d</sup>	Optional	Required <sup>e</sup>	Optional <sup>b</sup>	Required	Optional	Optional

Note: NA = Not applicable.

<sup>a</sup>The backseat test is required for all valves, except for bellows seal valves, that have the backseat feature.

<sup>b</sup>For lubricated plug valves, the high-pressure closure test is mandatory and the low-pressure closure test is optional.

<sup>c</sup>If agreed to by the purchaser, the valve manufacturer may use a low-pressure closure test instead of the high-pressure closure test.

<sup>d</sup>The high-pressure closure test of resilient-seated valves may degrade subsequent sealing performance in low-pressure service.

<sup>e</sup>For power-operated globe valves, the high-pressure closure test shall be performed at 110 percent of the design differential pressure used for sizing the power operator.

Prueba requerida. Disponible página web; <<http://naft.rivatadbir.ir/UserImage/API%20598.pdf>,p.10>

**7.3.4 Fluido de prueba.** Para la prueba de presión de operación, el fluido de prueba será gasolina jet A-1 bajo la presión de diseño, la temperatura a la que se realizará la prueba no excederá los 32 °C, esta prueba bajo una temperatura determinada puede estar especificada en la orden de compra. A su vez el fabricante debe ser capaz de demostrar que tiene un método efectivo de detección de fugas.

**7.3.5 Pruebas de presión.** Prueba de presión en el casco se debe realizar a 15 psi.

**7.3.6 Duración de la prueba.** Para cada tipo de prueba, la presión requerida debe ser mantenida por al menos el mínimo tiempo especificado en la tabla 25.

**Tabla 25. Duración de la prueba de presión.**

Duration of Required Test Pressure					
Valve Size (NPS)	Minimum Test Duration (seconds) <sup>a</sup>				
	Shell		Backseat	Closure	
	Check Valves (API Std 594)	Other Valves		Check Valves (API Std 594)	Other valves
≤ 2	60	15	15	60	15
<del>2 1/2-6</del>	60	<del>60</del>	60	60	<del>60</del>
8-12	60	120	60	60	120
≤ 14	120	300	60	120	120

<sup>a</sup>The test duration is the period of inspection after the valve is fully prepared and is under full pressure.

Prueba requerida. Disponible página web;

<<http://naft.rivatadbir.ir/UserImage/API%20598.pdf,p.11.>>

**7.3.7 Prueba de fugas.** Para la prueba del casco y los sellos, una inspección visual donde no se evidencie fugas es permitida siempre y cuando el fluido de prueba sea líquido bajo las condiciones permitidas viscosidad y temperatura, se debe garantizar que no hay evidencia de fugas visibles ni de formación de humedad en las superficies externas (Ninguna fuga visible a través del cuerpo).

Para la prueba de presión y sellado, evidencia visual de fugas a través de los discos que hacen el sellado, en ningún caso es permitida, ni tampoco daño estructural como deformación plástica en el caso de los sellos metal-metal. La rata de fugas permitida en la prueba de sellado de sellos de acuerdo a la duración de la prueba está determinada en la tabla 26.

**Tabla 26. Máximas fugas permitidas.**

Maximum Allowable Leakage Rates for Closure Tests					
Valve Size (NPS)	All Resilient-Seated valves <sup>b</sup>	All Metal-Seated Valves Except Check		Metal-Seated Check Valves	
		Liquid Test <sup>a</sup> (drops per minute)	Gas Test (bubbles per minute)	Liquid Test	Gas Test
≤ 2	0	0 <sup>b</sup>	0 <sup>b</sup>	c	d
2 1/2-6	0	12	24	c	d
8-12	0	20	40	c	d
≤ 14 <sup>c</sup>	0	28	56	c	d

<sup>a</sup>For the liquid test, 1 millimeter is considered equivalent to 16 drops.

<sup>b</sup>There shall be no leakage for the minimum specified test duration (see Table 4). For liquid test, 0 drop means no visible leakage per minimum specified test duration. For gas test, 0 bubble means less than 1 bubble per minimum specified test duration.

<sup>c</sup>The maximum permissible leakage rate shall be 0.18 cubic inch (3 cubic centimeters) per minute per inch of nominal pipe size.

<sup>d</sup>The maximum permissible leakage rate shall be 1.5 standard cubic feet (0.042 cubic meter) of gas per hour per inch of nominal pipe size.

<sup>e</sup>For check valves larger than NPS 24, the allowable leakage rate shall be per agreement between purchaser and manufacturer.

Prueba requerida. Disponible página web; <<http://naft.rivatadbir.ir/UserImage/API%20598.pdf>,p.12>

## 7.4 PROCEDIMIENTO PARA LA PRUEBA DE PRESIÓN

**7.4.1 Generalidades.** Cuando el fluido de prueba sea líquido, se debe garantizar durante la prueba que la válvula, recipiente o tubería donde ésta se desarrolla esté libre de aire.

No se debe aplicar ningún recubrimiento sobre alguna superficie como pintura, galvanizado, anodizado antes de hacer la prueba de presión, algunos procesos como fosfatado y procesos químicos similares usados para proteger las superficies son aceptables inclusive si se aplican antes de realizar la prueba de presión, garantizando que no afectarán la porosidad de los sellos.

Para la prueba de cerrado de la compuerta el fabricante debe usar un método para probar las fugas que llenan el cuerpo de la válvula, ese espacio entre los sellos y el volumen del casco, esta prueba debe ser aplicable y garantizar que ningún tipo de fuga se pueda escapar de la detección de acuerdo al gradual llenado de estos volúmenes durante el tiempo que dure la prueba.

Cuando se realice la prueba de sellado de la válvula, el fabricante debe garantizar que el procedimiento no aplica una fuerza excesiva de sellado para evitar las fugas por los sellos, la fuerza de sellado debe ser la apropiada de acuerdo a los cálculos de diseño y cumplir con las especificaciones técnicas de fabricación.

**7.4.2 Prueba del casco.** La prueba del casco se debe realizar aplicando presión dentro del ensamblaje de la válvula con las siguientes características: extremos de la válvula cerrados, extremos parcialmente abiertos y con la prensaestopas cerrada lo suficiente como para mantener la presión de la prueba. Excepto por los discos de sellado, ninguna parte de la válvula debe presentar fugas durante la prueba.

**7.4.3 Prueba en los sellos.** La prueba de sellado en los sellos es requerida para todo tipo de válvulas, la prueba de sellado se debe desarrollar aplicando presión dentro del ensamblaje de la válvula con los extremos sellados y el prensaestopas abierto. La prueba de los sellos se debe realizar inmediatamente después de la prueba del casco y los prensaestopas deben ser apretados después de la prueba de los sellos, la finalización exitosa de la prueba de sellados no debe ser asumida como una recomendación del fabricante, en la cual mientras la válvula es presurizada el prensaestopas de la válvula debe ser apretado o reemplazado.

Según el acuerdo entre el comprador y el fabricante, la prueba de sellado debe ser realizada de la mano con la prueba del casco cuando se usan dispositivos volumétricos para monitorear las fugas procedentes de los sellos al casco, cuando se prueba por este método que las tolerancias del casco no son las adecuadas y éstas presentan fugas, el fabricante es responsable de demostrar que el ensamblaje no presentará fugas a las condiciones de temperatura y presión de operación.

**7.4.4 Prueba de baja presión.** La prueba de baja presión debe ser realizada con las superficies de sellado limpias libres de aceite, grasa y pegantes o solventes, se debe evitar el picado o rayado de las superficies utilizando una fina capa de aceite

para cubrir las superficies con una viscosidad no mayor a la del keroseno, esto no aplica para válvulas que utilizan lubricante como sello principal.

La prueba de sellado a baja presión se debe realizar en concordancia con los siguientes procedimientos según sea el caso y aplique:

- a. Para válvulas diseñadas para cerrar contra presión en ambas direcciones, la presión debe ser aplicada desde una y otra dirección en forma alternada. Para válvulas diseñadas para cerrar contra presión desde solo una dirección, lo cual será marcado en la válvula, la presión deberá ser aplicada solo en el lado de presión. Para válvulas de retención, la presión debe ser aplicada del lado aguas abajo. Cualquier pérdida en el asiento, detrás del anillo del asiento, o a través del disco del lado abierto de la válvula debe ser detectada observando burbujas cuando el cerramiento (disco, asiento, anillo de asiento) está cubierto con agua o protegido con solución jabonosa u otra similar. Como una alternativa, puede usarse un reloj comparador u otro dispositivo para medir desplazamiento, ya que la cantidad de fuga a encontrarse debe ser menor o igual a la especificada por esta norma y haber sido aceptada por acuerdo entre el fabricante y el comprador.
- b. Para una válvula de esclusa diferente a las de cuña sólida de acuerdo entre el comprador y fabricante, la presión puede ser aplicada al cuerpo entre los asientos a través de la conexión roscada, chequeando ambos asientos para que no existan pérdidas. Éstas pueden ser detectadas según se especifica en el ítem a.
- c. Para una válvula de esclusa, la presión puede ser aplicada separadamente a cada lado del cerramiento a través de la compuerta de la válvula. La pérdida entre los asientos del cuerpo deben ser chequeadas como una indicación de pérdida del lado aguas arriba de la cuña. Alternativamente, para una válvula

de esclusa diferente a la de la cuña sólida por encima de NPS2, esta presión debe ser aplicada simultáneamente a ambos asientos. En este caso la pérdida de cada asiento no debe exceder la pérdida permitida para un solo asiento testeado por separado.

Nota: El efectuar un ensayo usando el aire o gas atrapado en el cuerpo, entre los asientos de una cuña sólida de una válvula y el subsiguiente cubrimiento de los asientos con agua o capa de protección de agua jabonosa o similar, no es un ensayo aceptable.

## **7.5 CERTIFICACIÓN Y DUPLICACIÓN DE PRUEBA EN VÁLVULA**

No se exige la duplicación de prueba para una válvula terminada, a menos que la inspección prevista por el comprador lo haya especificado en la orden de compra. Esta duplicación de prueba puede renunciarse por el inspector del comprador si el fabricante certifica por escrito que la válvula ha sido completamente probada y ha conformado los requerimientos de esta norma. No es necesario quitar la pintura a aquellas válvulas que ya lo estén, para efectuar la duplicación de prueba. Se limpiarán las válvulas guardadas comercialmente antes de la duplicación de prueba y antes del embarque.

## 7.6 DESARROLLO DE LAS PRUEBAS

**7.6.1 Prueba de hermeticidad de los sellos.** Es una prueba no destructiva mediante la cual se verifica la integridad de una válvula, en donde se bombea agua a una presión más alta que la presión de operación y se mantiene a esa presión durante un tiempo establecido previamente, el cual varía dependiendo el diámetro de la válvula.

Una vez estando la válvula en el banco de pruebas, se procedió a llenar la válvula con una manguera hasta que se llenó por completo, posteriormente se cebó la válvula para eliminar completamente el aire que pueda estar atrapado en ella. Después de realizados estos pasos, se realizó la prueba de hermeticidad en los sellos de la válvula. A las válvulas de compuerta se les realizan dos pruebas de hermeticidad a cada uno de sus sellos, para de esta forma determinar que no existan fugas.

**Figura 83. Prueba de hermeticidad del sello A.**



**Figura 84. Prueba de hermeticidad del sello B.**



Se le aplicó una presión de 15 psi a la válvula con los extremos sellados durante 60 segundos y no se observaron fugas durante las cinco veces que se realizó la prueba.

**7.6.2 Prueba de hermeticidad del casco.** La prueba de hermeticidad en el casco de la válvula consistió en dejar abierta la válvula a  $\frac{3}{4}$ ", luego se llenó de agua lentamente y después se realizó el cebado de la válvula, en donde se sacó todo el aire contenido en ella. Posteriormente en la otra cara de la válvula se le realizó un ciego de tal forma que esté totalmente tapada.

**Figura 85. Prueba de hermeticidad del casco.**



Se procedió a elevar la presión hasta 15 psi por un tiempo de 60 segundos y se observó que no hubo ningún tipo de fugas en la válvula durante las cinco veces que se realizó la prueba.

**7.6.3 Pruebas de resistencia de los empaques al ácido.** Para la realización de estas pruebas se tomó los tres tipos de empaques utilizados en la válvula y se dejaron sumergidos en ácido sulfúrico por un mes con el fin de observar qué tanto deterioro sufrían. Se tomó como referencia al ácido sulfúrico debido a que éste es uno de los ácidos más agrestes que están disponibles en el mercado.

Como anteriormente se había enunciado, se tomaron como prueba varios tipos de empaques, teflón, neopreno y nitrilo, en donde se dejaron en el ácido por un mes y se realizaron inspecciones visuales semanales de éstos, con el fin de determinar si habían sufrido algún daño.

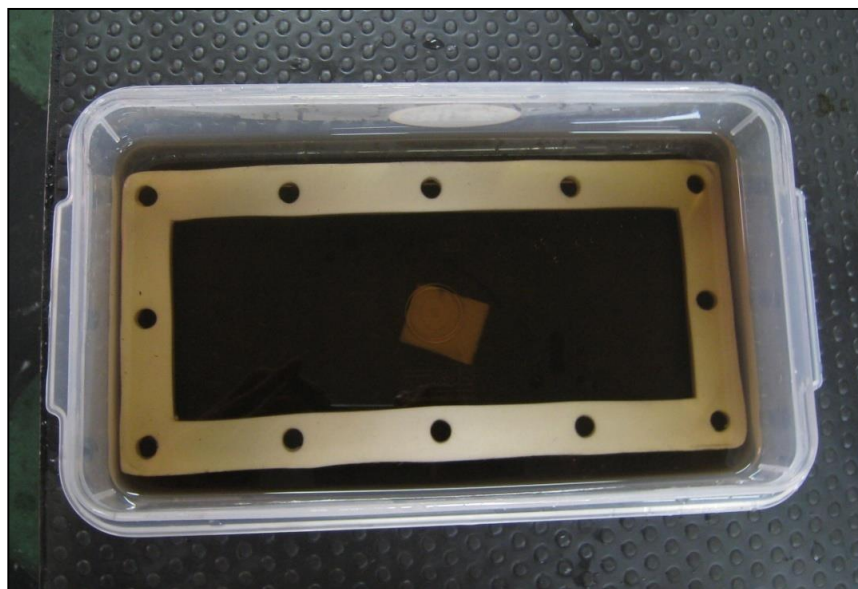
**Figura 86. Empaques sumergidos en ácido sulfúrico.**



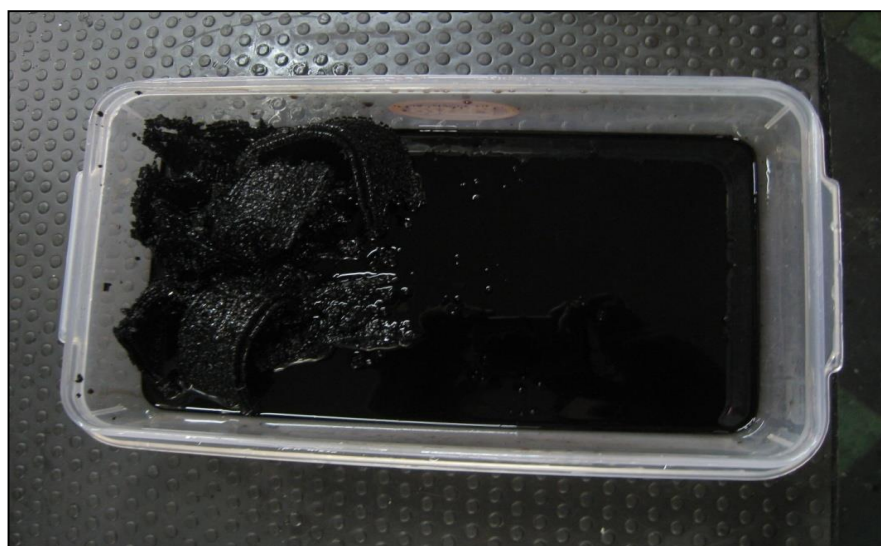
Se observó que los empaques de neopreno y nitrilo se deterioraron drásticamente en el tiempo de la prueba, mientras que el de teflón no registró daño alguno en su consistencia, por lo tanto se decidió utilizar el empaque de teflón para nuestra

válvula, ya que tiene gran resistencia al ácido además una conformación que favorece el sellado en la válvula.

**Figura 87. Empaque de teflón sumergido en ácido al cabo de 30 días.**



**Figura 88. Empaque de neopreno sumergido en ácido al cabo de 30 días.**



## 7.7 RESULTADOS FINALES DE LAS PRUEBAS

Tabla 27. Resultados de la prueba de hermeticidad de los sellos A y B.

<b>Resultados de la prueba de hermeticidad del sello A</b>			
<b>Prueba</b>	<b>Presión</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Resultado</b>
1	15 psi	60 seg.	No se observaron fugas en el sello
2	15 psi	60 seg.	No se observaron fugas en el sello
3	15 psi	60 seg.	No se observaron fugas en el sello
4	15 psi	60 seg.	No se observaron fugas en el sello
5	15 psi	60 seg.	No se observaron fugas en el sello
<b>Resultados de la prueba de hermeticidad del sello B</b>			
<b>Prueba</b>	<b>Presión</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Resultado</b>
1	15 psi	60 seg.	No se observaron fugas en el sello
2	15 psi	60 seg.	No se observaron fugas en el sello
3	15 psi	60 seg.	No se observaron fugas en el sello
4	15 psi	60 seg.	No se observaron fugas en el sello
5	15 psi	60 seg.	No se observaron fugas en el sello

Tabla 28. Resultados de la prueba de hermeticidad del casco.

<b>Resultados de las pruebas de hermeticidad del casco</b>			
<b>Prueba</b>	<b>Presión</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Resultado</b>
1	15 psi	60 seg.	No se observaron fugas en el casco
2	15 psi	60 seg.	No se observaron fugas en el casco
3	15 psi	60 seg.	No se observaron fugas en el casco
4	15 psi	60 seg.	No se observaron fugas en el casco
5	15 psi	60 seg.	No se observaron fugas en el casco

**Tabla 29. Resultados de las pruebas de resistencia de los empaques al ácido.**

<b>Resultados de la pruebas de resistencia de los empaques al ácido</b>		
<b>Semana</b>	<b>Material del Empaque</b>	<b>Resultado</b>
<b>1</b>	Neopreno	Se observó un inicio de degradación del material
	Nitrilo	Se observó degradación del material
	Teflón	No se observó ningún tipo de degradación
<b>Semana</b>	<b>Material del Empaque</b>	<b>Resultado</b>
<b>2</b>	Neopreno	Se observó una degradación moderada del material
	Nitrilo	Se observó una gran degradación del material
	Teflón	No se observó ningún tipo de degradación
<b>Semana</b>	<b>Material del Empaque</b>	<b>Resultado</b>
<b>3</b>	Neopreno	Se observó una degradación severa del material
	Nitrilo	Se observó degradación severa del material
	Teflón	No se observó ningún tipo de degradación
<b>Semana</b>	<b>Material del Empaque</b>	<b>Resultado</b>
<b>4</b>	Neopreno	Se observó una degradación total del material
	Nitrilo	Se observó degradación total del material
	Teflón	No se observó ningún tipo de degradación

## 8. CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó la válvula de guillotina de 6" para la contención de los productos de la industria petroquímica en carros cisterna, la cual gracias a su diseño y a los materiales utilizados en su construcción, permiten obtener excelentes resultados en operación como: buena estanqueidad tanto en los sellos como en el casco, resistencia a la corrosión y resistencia a la presión de operación.
- Se diseñaron y construyeron las matrices necesarias para la fabricación de la compuerta de la válvula por estampado, en donde se fabricó de acero AISI 1045 cementado, obteniéndose una gran resistencia a las fuerzas de compresión generadas durante su operación.
- Se desarrolló un manual de mantenimiento y operación segura de la válvula de guillotina para su implementación en carros cisterna, sirviendo de ayuda para su manejo por parte de los clientes.
- Se determinó que el empaque de teflón es el de mejor calidad para la utilización en el casco de la válvula, ya que éste tuvo una gran resistencia a la degradación en el ácido sulfúrico.
- Se construyó un prototipo de un banco de pruebas hidrostáticas para la válvula, en donde podemos determinar si cada una de las válvulas que se construyen cumplen a cabalidad su función.
- Aplicando conocimiento técnico de ingeniería y transformando las aproximaciones de la literatura en un producto funcional y útil para un proceso determinado, se construyó un prototipo de válvula de guillotina para carros cisterna con los requerimientos establecidos por la industria

interesada, una válvula de calidad, reparable, segura y de menor costo a las existentes en el mercado.

- Cuando se finalizó el proceso de construcción de las matrices, éstas se probaron antes de realizarles el tratamiento térmico, para comprobar su efectividad en el estampado de los sellos, el resultado no fue satisfactorio, pues éstas no cumplían con la deformación plástica requerida. Para satisfacer el ángulo del sello, fue entonces necesario variar la profundidad del mismo mecanizado para que la diferencia de altura en las nuevas aristas lograra cumplir con la deformación requerida.
- Para el diseño de las matrices y las piezas bajo carga, se siguió teorías de falla de materiales como la teoría de Von Mises, justificadas por medio de un análisis de simulación en software CAD-CAE, los resultados obtenidos permiten comprender el comportamiento de las piezas bajo la carga actuante, estimar su deformación y factor de seguridad, aportando una valiosa información antes de incurrir en costos de fabricación.
- Los aportes realizados por los operarios con experiencia de IMR fueron de gran valor, debido a que por sus conocimientos e ideas aportadas a este proyecto permitieron facilitar la construcción, disminuir costos y mejorar procesos de maquinado.
- La realización de este proyecto permitió la aplicación integral de los conocimientos adquiridos durante la formación académica, dando como resultado un diseño óptimo y un excelente desempeño, así como un menor costo de fabricación, haciendo la válvula una atractiva inversión.
- La experiencia adquirida durante la realización de este proyecto, mejoró nuestros criterios en cuanto a diseño y procesos de manufactura adquiridos

en la academia, lo cual nos permitirá en futuros proyectos reducir errores y costos.

- La recopilación de toda la información que se necesitó y los resultados que se obtuvieron, es consecuencia del trabajo en equipo, encabezado por el director del proyecto y nosotros los estudiantes que lo realizamos.


## BIBLIOGRAFÍA

- ASKELAND, Donald R. Ciencia e ingeniería de los materiales. México: International Thomson editores, 1998.
- BUDYNAS, Richard G; NISBETT, Keith. Shigley's mechanical engineering design. Octava edición. Mcgraw Hill, 2008.
- COMPAÑÍA GENERAL DE ACEROS. Propiedades mecánicas de los materiales. Disponible <[www.cga.com.co](http://www.cga.com.co)>.
- FAIRES, V. M . Diseño de elementos de máquinas. Barcelona: montaner y Simon S.A, 1977.
- GROOVER, Mikell P. Fundamentos de manufactura moderna: Materiales, procesos y sistemas. México: McGraw Hill, 2007.
- HAMROCK, Bernard J. Elementos de máquinas. México: McGraw Hill, 2000.
- INGEMECÁNICA. Soldadura para aceros inoxidable. Disponible en: <<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn48.html>>
- LASHERAS, Jose Esteban. Tratamientos térmicos de los aceros. Barcelona: Ediciones Cedel, 1963.
- LOMBARD, Matt. Solid Works 2013 Bible: the comprehensive tutorial resource. Indianapolis: Wiley, 2013.
- MOTT, Robert. Diseño de elementos de máquinas. México: Paerson, 2006.

- NORMAS API 598. Valve inspection and testing. Disponible en:<<http://naft.rivatadbir.ir/UserImage/API%20598.pdf>>
- NORTON, Robert L. Diseño de máquinas. Mexico: Prentice hall, 1999.
- PEARSON, G. H. The design of valves and fittings. London: Sir Isaac Pitman & Sons, 1953.

## ANEXOS

### ANEXO A. PROPIEDADES DEL ELECTRODO ER308L PARA SOLDADURA TIG.

Electrodo, AWS: ER308 L	
	<b>Procedimiento:</b> Soldadura TIG.
	<b>Descripción:</b> Varilla con bajo contenido en carbono para soldar acero inoxidable con proceso TIG. El bajo contenido de carbono en el metal de aporte (0,03 máximo) contribuye a disminuir la posibilidad de precipitación de carburos, incrementando la resistencia a la corrosión intergranular sin necesidad de hacer uso de estabilizadores, tales como el columbio o titanio.
	<b>Usos:</b> Adecuada para uso de aceros inoxidables que contienen 16-21%Cr, 8-13%Ni, aceros estabilizados y no estabilizados (302, 304, 304L, 304LN, 308, 321, 347).
	<b>Aplicaciones típicas:</b> Para la soldadura en equipos de proceso y almacenamiento de productos alimenticios y químicos. Bombas, intercambiadores de calor.
	<b>Posiciones de soldadura:</b> Plana, Horizontal, Vertical, Sobrecabeza.
	<b>Tipo de corriente:</b> Corriente Continua Polaridad Directa (CCPD).
	<b>Composición química:</b> C: 0,02%      Mn: 1,90% Si: 0,38%      P: 0,02% S: 0,01%      Cr: 19,80% Ni: 9,80%      Mo: 0,19%

Propiedades electrodo. Disponible página web; Fuente:

<<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn48.html>>

## ANEXO B. PROPIEDADES DEL ACERO AISI 304.

### ACERO INOXIDABLE 304 (UNS S30400)

**1. Descripción:** éste es el más versátil y uno de los más usados de los aceros inoxidable de la serie 300. Tiene excelentes propiedades para el conformado y el soldado. Se puede usar para aplicaciones de embutición profunda, de rolado y de corte. Tiene buenas características para la soldadura, no requiere recocido tras la soldadura para que se desempeñe bien en una amplia gama de condiciones corrosivas. La resistencia a la corrosión es excelente, excediendo al tipo 302 en una amplia variedad de ambientes corrosivos incluyendo productos de petróleo calientes o con vapores de combustión de gases. Tiene excelente resistencia a la corrosión en servicio intermitente hasta 870 °C y en servicio continuo hasta 925°C. No se recomienda para uso continuo entre 425 - 860°C pero se desempeña muy bien por debajo y por encima de ese rango.

**2. Normas involucradas:** ASTM A 276

**3. Propiedades mecánicas:** Resistencia a la fluencia 310 MPa (45 KSI)  
Resistencia máxima 620 MPa (90 KSI)  
Elongación 30 % (en 50mm)  
Reducción de área 40 %  
Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 KSI)

**4. Propiedades físicas:** Densidad 7.8 g/cm<sup>3</sup> (0.28 lb/in<sup>3</sup>)

**5. Propiedades químicas:** 0.08 % C min  
2.00 % Mn  
1.00 % Si  
18.0 – 20.0 % Cr  
8.0 – 10.5 % Ni  
0.045 % P  
0.03 % S

**6. Usos:** sus usos son muy variados, se destacan los equipos para procesamiento de alimentos, enfriadores de leche, intercambiadores de calor, contenedores de productos químicos, tanques para almacenamiento de vinos y cervezas, partes para extintores de fuego.

**7. Tratamientos térmicos:** éste acero inoxidable no puede ser endurecido por tratamiento térmico. Para el recocido, caliente entre 1010 y 1120°C y enfríe rápidamente

NOTA:  
Los valores expresados en las propiedades mecánicas y físicas corresponden a los valores promedio que se espera cumple el material. Tales valores son para orientar a aquella persona que debe diseñar o construir algún componente o estructura pero en ningún momento se deben considerar como valores estrictamente exactos para su uso en el diseño.

## ACERO INOXIDABLE- AISI 304

Propiedades.

Disponible

página

web;

<<http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%20304.pdf>, p.2.>

## ANEXO C. PROPIEDADES DEL ACERO AISI 420.

### ACERO INOXIDABLE 420 (UNS S42000)

**1. Descripción:** éste acero inoxidable tiene buena ductilidad en la condición de recocido, pero es capaz de ser endurecido hasta 52 HRC, la dureza máxima que se puede conseguir en los aceros inoxidables con 12% de cromo. La mayor resistencia a la corrosión para este grado es lograda cuando el metal es endurecido y luego rectificado o pulido. En la condición de endurecido tiene buena resistencia a la atmósfera, alimentos, agua fresca y ácidos y bases medios. La resistencia a la corrosión es muy baja en la condición de recocido. No se recomienda utilizar en temperaturas mayores de los 370 °C

**2. Normas involucradas:** ASTM A 176

**3. Propiedades mecánicas:** Resistencia a la fluencia 345 MPa (50 KSI)  
Resistencia máxima 690 MPa (100 KSI)  
Elongación 15 % (en 50mm)  
Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 KSI)  
Dureza de suministro: 235 Brinell

**4. Propiedades físicas:** Densidad 7.8 g/cm<sup>3</sup> (0.28 lb/in<sup>3</sup>)

**5. Propiedades químicas:** 0.15 % C mín  
1.00 % Mn  
1.00 % Si  
12.0 – 14.0 % Cr  
0.04 % P  
0.03 % S

**6. Usos:** para producir cuchillos, hojas de navaja, instrumentos quirúrgicos, válvulas de agujas, partes de tijeras.

**7. Tratamientos térmicos:** el recocido se logra luego de calentarlo hasta 845 – 900 °C, seguido de un enfriamiento lento en el horno hasta 535 °C y luego enfriamiento al aire. El endurecimiento se da con un calentamiento entre 980 – 1035 °C y con enfriamiento en aceite o al aire. El temple en aceite es necesario para piezas grandes. El revenido se hace entre 200 y 650°C, no se recomienda revenir entre 430 y 535 °C ya que la resistencia al impacto es muy baja.

**NOTA:**

Los valores expresados en las propiedades mecánicas y físicas corresponden a los valores promedio que se espera cumple el material. Tales valores son para orientar a aquella persona que debe diseñar o construir algún componente o estructura pero en ningún momento se deben considerar como valores estrictamente exactos para su uso en el diseño.

## ACERO INOXIDABLE- AISI 420

Propiedades. Disponible página web;

<<http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%20420.pdf>, p. 2.>

## ANEXO D. PROPIEDADES DEL ACERO AISI 1045.

### ACERO AISI-SAE 1045 (UNS G10450)

**1. Descripción:** es un acero utilizado cuando la resistencia y dureza son necesarios en condición de suministro. Este acero medio carbono puede ser forjado con martillo. Responde al tratamiento térmico y al endurecimiento por llama o inducción, pero no es recomendado para cementación o cianurado. Cuando se hacen prácticas de soldadura adecuadas, presenta soldabilidad adecuada. Por su dureza y tenacidad es adecuado para la fabricación de componentes de maquinaria.

**2. Normas involucradas:** ASTM A108

**3. Propiedades mecánicas:** Dureza 163 HB (84 HRb)  
Esfuerzo de fluencia 310 MPa (45000 PSI)  
Esfuerzo máximo 565 MPa (81900 PSI)  
Elongación 16% (en 50 mm)  
Reducción de área (40%)  
Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 KSI)  
Maquinabilidad 57% (AISI 1212 = 100%)

**4. Propiedades físicas:** Densidad 7.87 g/cm<sup>3</sup> (0.284 lb/in<sup>3</sup>)

**5. Propiedades químicas:** 0.43 – 0.50 % C  
0.60 – 0.90 % Mn  
0.04 % P máx  
0.05 % S máx

**6. Usos:** los usos principales para este acero es piñones, cuñas, ejes, tornillos, partes de maquinaria, herramientas agrícolas y remaches.

**7. Tratamientos térmicos:** se da normalizado a 900°C y recocido a 790°C

**NOTA:**

Los valores expresados en las propiedades mecánicas y físicas corresponden a los valores promedio que se espera cumple el material. Tales valores son para orientar a aquella persona que debe diseñar o construir algún componente o estructura pero en ningún momento se deben considerar como valores estrictamente exactos para su uso en el diseño.

### ACERO MAQUINARIA - AISI 1045

Propiedades. Disponible página web; Fuente:

<<http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%201045.pdf>, p. 2.>

## ANEXO E. CARTA DE COMPROMISO DE FINANCIACIÓN.



Bucaramanga, 18 de Junio de 2014

Ingeniero

**David Fuentes**

Director de la escuela de ingeniería mecánica

Universidad industrial de Santander

Apreciado ingeniero, la siguiente carta tiene como objetivo informar el compromiso por parte de la empresa en la financiación del proyecto diseño y construcción de una válvula de guillotina con compuerta en cuña para contención de productos de la industria petrolera y química en carros cisterna, con selección de sistema de manufactura en masa, cuyos autores son los estudiantes Carlos Manuel Álvarez Pinilla, y Edwin Ferney González Camargo, el proyecto tiene un presupuesto de 10.000.000 pesos mcte.

Cordialmente,

  
TATIANA ORTIZ ESTEBAN

**DIRECTORA PLANTA DE PRODUCCION**

<http://www.industriasimr.com>

Planta: Cra 15 No. 24-06. / Ventas: Cra 15 No. 24-24.

PBX: 057-6704502 / Fax: 057-6520814.

## **ANEXO F. MANUAL DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN DE LA VÁLVULA.**

### **ALMACENAMIENTO Y CONSERVACIÓN**

Si la válvula tiene que ser almacenada en un sitio antes de la instalación:

- Almacénelo en una superficie plana horizontal en atmósfera seca y limpia.
- Almacene los productos en cobertizos bien cubiertos, protegidos del sol, la lluvia y el polvo.
- Es aconsejable dar una capa de grasa sobre los anillos de asiento durante el período de almacenamiento y mantener las válvulas en posición parcialmente abierta para que las superficies del asiento no se desgasten. Mantenga los anillos de asiento en una atmósfera sin polvo.

### **INSTALACIÓN**

- Antes de tomar la válvula de compuerta para la instalación en el carro cisterna, asegúrese de que esté limpia por dentro y por fuera, además de que no haya objetos metálicos externos que se puedan pegar a sus elementos de sellado. Limpie también los pasajes interiores de la válvula para eliminar cualquier material extraño.
- Durante la instalación del elemento operativo, asegúrese que la compuerta de la válvula de guillotina esté en posición completamente cerrada.
- Tenga en cuenta los detalles de las características de la válvula, en cuanto a la presión nominal adecuada con respecto a la presión de operación.

- Válvulas de compuerta están diseñados para operar en general con husillo en posición vertical, a menos que de otra manera antes especificada por el cliente.
- Opere la válvula de compuerta manualmente desde completamente cerrada a completamente abierta y viceversa, con el volante de mando. Asegúrese de que no haya fricción indebida en la operación.

## **PUESTA EN MARCHA**

Las comprobaciones previas a la puesta en marcha:

- Compruebe manualmente que la válvula funciona sin problemas.
- Todos los pernos de las bridas del bastidor estén debidamente apretados.
- Cuando se esté llenando el tanque, asegúrese de que no haya fugas a través de las juntas de brida y sellos.
- Opere la válvula de completamente abierto a completamente cerrado, asegurándose de que lo haga sin ruidos y vibraciones anormales durante todo el recorrido de la válvula.

## **OPERACIÓN**

- En caso de que la válvula de compuerta de accionamiento manual exija una fuerza excesiva para operar, asegúrese de que no haya ninguna obstrucción mecánica en el sello o en el mecanismo operativo.
- No utilice medios como palancas en el volante para ejercer una fuerza adicional. Estas ruedas de mando están diseñadas para ser piezas débiles para proteger a otras piezas costosas en la operación.

## **INSTRUCCIONES DE MANTENIMIENTO**

### **PARÁMETROS A VERIFICAR:**

- Verificar que no haya fugas a través de la caja de empaquetadura y en el empaque de las bridas.
- Verificar que no se produzca algún tipo de ruido y Vibraciones al abrir o cerrar la válvula.
- Verificar la condición del asiento del cuerpo y los platos de sellado de tal forma que no hayan abolladuras o marcas.
- Verificar la condición del tornillo roscado y de la tuerca de desplazamiento.

## **INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD**

- El acceso a los equipos debe mantenerse restringido al personal responsable de la instalación, operación y mantenimiento, el cual debe ser entrenado y debidamente calificado, suministrándole las herramientas adecuadas para sus respectivas tareas.
- Tenga en cuenta que el límite de la aplicación de la válvula y el uso permitido de la misma, es de acuerdo con el respectivo diseño del elemento y pruebas valoraciona la presión máxima definida (10 psi). La operación del equipo más allá de estos límites, incrementará el riesgo de conducir a un fallo prematuro de la válvula.

- Evitar torsión excesiva en el volante o en el tornillo roscado de la válvula. No utilice el apalancamiento adicional para abrir o cerrar las válvulas.
- Se debe evitar que cualquier persona no autorizada monte, desmonte y repare las válvulas.
- Durante el uso de la válvula, asegurarse de que se utilicen las normas técnicas y reglamentos, por ejemplo regulaciones comerciales, regulaciones para la prevención de accidentes, los reglamentos de la red de gas bajo alta presión, las regulaciones para líquidos combustibles, etc.

### SOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE LA VÁLVULA

Nº	Problema	Probable razón	Acción requerida
1	Fuga a través de la válvula en la condición de totalmente cerrada.	a) Objeto externo atrapado entre el sello de la compuerta.  b) Desgastados o deformados los platos de sellado.	a) Trate de limpiar el objeto externo al abrir y cerrar la válvula con un flujo para sacarlo. Abra las bridas para alcanzar el objeto y retirarlo manualmente.  b) Reemplace los empaques de sellado del cuerpo.
2	Fugas a través de la Prensaestopas	a) Empaquetadura suelta o floja.  b) Empaques viejos.	a) Apriete los empaques gradual y uniformemente.  b) Reemplace los empaques.
3	Fugas a través de las bridas	a) Ajuste inadecuado de la junta de la brida.  b) Empaques dañados.	a) Vuelva a apretar la junta bridada.  b) Reemplace los empaques.

4	Ruido o vibraciones durante el cerrado o apertura de la válvula.	a) Inadecuadamente apoyada.	b) apoyarla al lugar de anclaje adecuadamente.
5	Giro del tornillo roscado sin causar que abra o cierre la válvula.	a) Hilos dañados o desgastados del tornillo roscado o de la tuerca de desplazamiento.	a) Reemplace la tuerca de desplazamiento. El tornillo roscado también puede ser reemplazado si la rosca esta muy desgastada.

**ANEXO G. PLANOS DE CONSTRUCCIÓN.**