

**REDISEÑO DE UN SISTEMA DE AIRE DE ALTA PRESIÓN PARA LA
RESTAURACIÓN DE TANQUES METÁLICOS**

**JOSÉ DANIEL BOLÍVAR ARROYO
ANDRÉS EMILIO GARCÍA SANTANDER**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BARRANQUILLA
2014**

**REDISEÑO DE UN SISTEMA DE AIRE DE ALTA PRESIÓN PARA LA
RESTAURACIÓN DE TANQUES METÁLICOS**

**JOSÉ DANIEL BOLÍVAR ARROYO
ANDRÉS EMILIO GARCÍA SANTANDER**

Proyecto como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico

Director:

ING. LISANDRO VARGAS HENRÍQUEZ, MSc

Co-Director:

ING. HENRY SANTAMARIA DE LA CRUZ, MSc

Asesor Metodológico

ING. RICARDO MENDOZA QUIEOGA, MSc

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BARRANQUILLA**

2014

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado:

Firma del jurado:

Firma del jurado:

Barranquilla, 2014.

DEDICATORIAS

A DIOS:

Por acompañarme en todo momento y por regalarme esta nueva bendición en mi vida.

A mi madre:

Maria Arroyo por su apoyo y amor. Porque sin su ayuda no hubiera podido realizar mis estudios.

A mi compañero de tesis:

Andres Garcia por brindarme el apoyo en el desarrollo de este proyecto y por acompañarme en cada uno de los pasos para cumplir este objetivo.

**JOSÉ DANIEL BOLÍVAR ARROYO
ANDRÉS EMILIO GARCÍA SANTANDER**

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios por haberme guiado en el transcurso de mi carrera por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad, por haberme brindado una vida llena de aprendizajes, experiencia y sobre todo felicidad.

Le doy gracias a mi madre nuevamente María Arroyo por apoyarme en todo momento y por haberme dado la oportunidad de tener una buena educación a lo largo de mi vida. Sobre todo por ser un excelente ejemplo a seguir.

Agradezco a la Universidad y a todos los profesores que me transmitieron sus conocimientos a lo largo de la carrera los cuales me han servido para formarme como profesional.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
1.2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	16
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	16
1.4. OBJETIVO GENERAL	17
1.5. OBJETIVOS ESPECIFICOS	17
2. MARCOS DE REFERENCIA	18
2.1. MARCO CONTEXTUAL.....	18
2.2. MARCO TEORICO	20
2.2.1. Compresoresde aire.....	20
2.2.1.1. Tipos de compresores.....	20
2.2.2. Tanques metálicos y contenedores IBC	25
2.2.2.1. Tanques metálicos.....	25
2.2.2.2. Contenedores IBC	26
2.3. MARCO CONCEPTUAL	27
3. HIPOTESIS, ALCANCE Y METODO DE INVESTIGACIÓN.....	27
3.1. HIPOTESIS.....	27
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	27
3.3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	27
3.3.1. Recopilación de información	28
3.3.2. Desarrollo del proyecto	28
3.3.3. Análisis de resultado	28
4. DIAGNOSTICO ACTUAL DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO PARA LA REPARACIÓN DE TANQUES METÁLICOS.....	29
4.1. ESTUDIO DE MÉTODO Y TIEMPO DEL SISTEMA ACTUAL.....	29
4.2 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO ACTUAL DEL SISTEMA DE REPARACIÓN DE TANQUES METÁLICOS.....	30

4.3 EVALUACION DEL ESTADO FISICO Y FUNCIONAL DE LAS PIEZAS QUE COMPONEN EL SISTEMA ANTES DEL REDISEÑO	33
4.3.1 Evaluación de los compresores.....	33
4.3.2 Evaluación de la tubería	35
4.3.3 Evaluación de la estructura metálica que sostiene los tanques	35
4.4 ANALISIS DE OTRO TIPO DE VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL SISTEMA DE RESTAURACIÓN	36
4.5 DIAGNOSTICO GENERAL SISTEMA ACTUAL.....	37
5. PROPUESTA DE REDISEÑO	38
5.1 METODOLOGÍA DE DISEÑO DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO DE ALTA PRESIÓN PARA LA RESTAURACIÓN DE TANQUES METÁLICOS	38
5.1.1 Especificaciones y requerimientos.....	38
5.1.2 Diseño conceptual	43
5.1.3 Diseño preliminar o básico	57
5.1.4 Diseño de detalle	62
5.2 ESTUDIOS Y CALCULOS PERTINENTES PARA EL REDISEÑO EN EL SISTEMA DE RESTAURACION	67
5.2.1 Calculo del tiempo de restauración para el segundo proceso.....	67
5.2.2 Ganancias del sistema rediseñado.....	75
5.2.3 Estudio del VAN y el TIR.....	77
6. MANUAL DE INSTALACIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	80
6.1 CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD Y PRECAUCIONES DEL SISTEMA REDISEÑADO	80
6.2 OPERACIÓN DEL EQUIPO.....	80
6.3 PROGRAMA DE MANTENIMIENTO Y SERVICIO.....	82
6.3.1 Circuito o red neumática y sistema de control	82
6.3.2 Elementos estructurales	84
6.3.3 Elemento motriz.....	85
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	90
BIBLIOGRAFIA.....	91
ANEXOS	96

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Compresor recíprocos o de pistón	21
Figura 2. Compresor rotativo de tornillo.	22
Figura 3. Compresor dinámico.....	23
Figura 4. Compresor centrífugo	25
Figura 5. Tambores metálicos.....	25
Figura 6. Contenedores IBC	26
Figura 7. Esquema de método y tiempo para el proceso de restauración	29
Figura 8. Sistema actual de restauración de los tanques metálicos	30
Figura 9. Estructura metálica del sistema actual.....	31
Figura 10. Compresor 1	32
Figura 11. Compresor 2	32
Figura 12. Estado actual del compresor 1.	34
Figura 13. Estado actual del compresor 2	34
Figura 14. Tubería del sistema actual.	35
Figura 15. Función global caja negra.....	44
Figura 16. Funciones secundarias caja transparente.	44
Figura 17. Sistema de restauración de aire comprimido antes del rediseño	55
Figura 18. Sistema de restauración de aire comprimido rediseñado	55
Figura 19. Detalle del sistema de guardas.....	63
Figura 20. Detalle de componentes subsistema motor del bastidor móvil	64
Figura 21. Detalle del sistema restaurador mediante aire comprimido	64
Figura 22. Circuito de aire comprimido vista general	65
Figura 23. Sistema de control primera estación.....	66
Figura 24. Sistema de control segunda estación.	66
Figura 25. Aire comprimido repartido en los dos tanques	67
Figura 26. Tubería de retroalimentación	69
Figura 27. Prototipo del sistema de restauración de los tanques metálicos	74
Figura 28. Descripción del funcionamiento del sistema después del rediseño	75

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Requerimientos obligatorios del rediseño (RO)	39
Tabla 2. Requerimientos deseables del rediseño (RD).....	39
Tabla 3. Comparación de importancias	40
Tabla 4. Matriz comparativa.....	40
Tabla 5. Matriz comparativa normalizada	41
Tabla 6. Importancia relativa de los requerimientos (RO).....	41
Tabla 7. Traducción de requerimientos no mensurables	42
Tabla 8. Meta de desempeño	43
Tabla 9. Funciones y medio, tabla morfológica.....	45
Tabla 10. Conceptos generados de la función ingresar tanque 1	45
Tabla 11. Evaluación conceptual para la función ingresar tanque 1	46
Tabla 12. Conceptos generados de la función sellar tanque 1.	46
Tabla 13. Evaluación conceptual para la función sellar tanque1	47
Tabla 14. Conceptos generados de la función presurizar tanque 1	47
Tabla 15. Evaluación conceptual para la función presurizar tanque 1	47
Tabla 16. Conceptos generados de la función restaurar tanque 1.....	48
Tabla 17. Evaluación conceptual para la función restaurar tanque 1.....	48
Tabla 18. Conceptos generados de la función ingresar tanque 2.....	48
Tabla 19. Evaluación conceptual para la función ingresar tanque 2	49
Tabla 20. Conceptos generados dela función sellar tanque 2	49
Tabla 21. Evaluación conceptual para la función sellar tanque2	50
Tabla 22. Conceptos generados de la función reutilizar aire comprimido del proceso 1	50
Tabla 23. Evaluación conceptual para la función reutilizar aire comprimido del proceso 1	51
Tabla 24. Conceptos generados de la función presurizar el tanque 2 de 40 a 80 psi	51

Tabla 25. Evaluación conceptual para la función presurizar el tanque 2 de 40 a 80 psi	51
Tabla 26. Conceptos generados de la función restaurar tanque 2	52
Tabla 27. Evaluación conceptual para la función restaurar tanque2.....	52
Tabla 28. Conceptos generados de la función despresurizar tanque sistema 1 y 2	52
Tabla 29. Evaluación conceptual para la función despresurizar sistema 1 y 2	53
Tabla 30. Conceptos generados de la función restaurar tanque 1.....	53
Tabla 31. Evaluación conceptual para la función retirar tanque 1.....	54
Tabla 32. Conceptos generados de la función retirar tanque 2	54
Tabla 33. Evaluación conceptual para la función retirar tanque 1.....	54
Tabla 34. Puntuación para la matriz de fallas y efectos	56
Tabla 35. Matriz de fallas.....	56
Tabla 36. Resultado del estudio de las deformaciones estáticas en la estructura .	57
Tabla 37. Resultado del estudio de las tensiones estáticas en la estructura	58
Tabla 38. Resultado del estudio del esfuerzo cortante máximo en la estructura ...	58
Tabla 39. Resultado del estudio del factor de seguridad en la estructura.....	59
Tabla 40. Resultado del estudio de las tensiones de la palanca de ajuste	59
Tabla 41. Resultado del estudio de las deformaciones de la palanca de ajuste	60
Tabla 42. Resultado del estudio del factor de seguridad en la palanca de ajuste..	60
Tabla 43. Resultado del estudio de las tensiones en el tornillo sin fin	61
Tabla 44. Resultado del estudio de las deformaciones en el tornillo sin fin	61
Tabla 45. Resultado del estudio del factor de seguridad en el tornillo sin fin.....	62
Tabla 46. Diámetros nominales - Schedule	72
Tabla 47. Datos de la inversión planteada.....	77
Tabla 48. Calculo del VAN.....	78
Tabla 49. Calculo del TIR	78
Tabla 50. Estado de las válvulas de control en el proceso de restauración de tanques y canecas metálicas estación 1.	80

Tabla 51. Estado de las válvulas de control en el proceso de reutilización del aire comprimido.	81
Tabla 52. Estado de las válvulas de control en el proceso de restauración de tanques y canecas metálicas estación.....	81
Tabla 53. Subsistemas cuya probabilidad de falla es más alta y requieren mayor cuidado.	82
Tabla 54. Actividades de mantenimiento preventivo en líneas principales y accesorios de aire comprimido	83
Tabla 55. Actividades de mantenimiento preventivo en Unidad de FRL.....	83
Tabla 56. Actividades de mantenimiento preventivo en Válvulas neumáticas y dispositivos de control.....	84
Tabla 57. Actividades de mantenimiento preventivo en guardas de protección	84
Tabla 58. Actividades de mantenimiento preventivo en Bastidor móvil y de sujeción.....	85
Tabla 59. Actividades de mantenimiento preventivo en el motor del bastidor móvil y mecanismos	85
Tabla 60. Actividades de mantenimiento preventivo en Compresores.	86
Tabla 61. Actividades de mantenimiento preventivo en Sistema de alimentación eléctrica.	86
Tabla 62. Problemas y soluciones del sistema de alta presión para restauración de tanque y canecas metálica.....	87

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Dimensionamiento general de proyecto, medidas en mm.	91
Anexo 2. Detalles del soporte que sostienen las láminas que conforman las guardas de seguridad de la estructura.....	92
Anexo 3. Detalles de las láminas que conforman las guardas de seguridad de la estructura.....	93
Anexo 4. Detalles del tornillo sin fin	94
Anexo 5. Detalles manzana giratoria que permite el movimiento de la estructura.	95

INTRODUCCIÓN

El presente escrito evidencia los procedimientos realizados en la optimización de un proceso de restauración de tanques metálicos usando aire comprimido. Los tanques se restauran con el propósito de reutilizarse en la industria, por lo que su demanda es cada vez mayor, lo que a su vez exige mayor celeridad en los procesos productivos.

Se ha detectado la necesidad de mejorar el proceso de restauración, optimizando los procesos de presurizado y moldeo de los tanques. El presente trabajo de investigación muestra las metodologías asumidas para rediseñar el sistema de presurización de tanques metálicos teniendo en cuenta aspectos relacionados con la seguridad, producción de tanques, economía, y el uso racional de la energía.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Los tanques metálicos que son reciclados presentan ciertos defectos físicos en su superficie, como lo son las abolladuras, golpes, maltratos y otros tipos de defectos. Por lo tanto, se necesita un proceso de remanufacturación para que los tanques puedan ser reutilizados nuevamente en la industria. Las empresas dedicadas a este tipo de mercado utilizan un sistema de aire a alta presión, que le inyecta el fluido al tanque para sacar los golpes y deformaciones, y así el tanque pueda recuperar su forma original.

En una de estas empresas el sistema de aire comprimido, posee ciertas limitaciones que tornan lento el proceso de reparación. La primera de ellas se refiere a la reparación de un solo tanque por carga, que representa mayores tiempos en actividades propias del proceso y la segunda, frecuentes paradas no programadas por falta de mantenimiento con las consecuentes pérdidas por núcleo cesante.

Por otra parte, el sistema está diseñado de forma que no brinda seguridad al operario al momento de manipular el dispositivo, dando lugar a la posibilidad de ocurrencia de accidentes. Debe enfatizarse que el procedimiento para reparar un tanque se realiza actualmente de forma manual, puesto que el operario debe golpear con martillo los tanques que se hayan presurizados.

La empresa busca la manera de superar las dificultades que se están presentando con el actual sistema y continuar con un constante crecimiento y desarrollo en el mercado.

El propósito del presente trabajo es rediseñar el sistema de restauración de tanques metálicos para reducir los tiempos de restauración de cada tanque, garantizando un aumento en la productividad y rentabilidad, tiempos constantes

durante la producción, mayor seguridad en la operación y el correcto uso de equipos y del recurso humano.

1.2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿De qué manera el sistema de restauración de los tanques metálicos podría ser más eficiente en cuanto al tiempo de producción y seguridad para los operarios?

1.3. JUSTIFICACIÓN

La necesidad de las empresas de ajustarse a los nuevos requerimientos legales y comerciales actualmente vigentes, conllevan a que se modifiquen los procesos productivos de manera que se alcancen mejores rentabilidades en ambientes seguros y de gran productividad.

El alto riesgo que implica las operaciones manuales en la restauración de los tanques metálicos, hace necesario implementar medidas que minimicen el impacto ante posibles accidentes. Se hace indispensable entonces, repensar el diseño actual y formular soluciones que procuren mejorar aspectos como la productividad, la seguridad y la rentabilidad; permitiendo un constante desarrollo en el mercado para la empresa.

1.4. OBJETIVO GENERAL

Rediseñar el sistema de aire comprimido para incrementar los niveles de producción y calidad en la restauración de tanques metálicos, y contribuya con la seguridad de los operarios.

1.5. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar un estudio de método y tiempo para diagnosticar las condiciones actuales del sistema e identificar las variables que contribuyan al desarrollo del rediseño de un sistema más eficiente en cuanto a producción y seguridad para los operarios.
- Plantear una metodología de diseño a partir de los requerimientos deseados para identificar un prototipo que satisfaga con las necesidades del sistema.
- Elaborar los cálculos pertinentes del sistema para comprobar la viabilidad del rediseño
- Realizar un manual de operación y mantenimiento para garantizar la seguridad y vida útil operativa del sistema.

2. MARCOS DE REFERENCIA

2.1. MARCO CONTEXTUAL

La idea de este proyecto surge, a partir de unavisita que se realizó previamente a la empresa, con el fin de identificar posibles mejoras. Se conversó con el gerente encargado de la empresa y se le planteó la problemática observada, se solicitó un permiso para realizar el estudio y desarrollo de dicha investigación que fue aprobado.

En un artículo publicado por la revista QuimiNet, señala que el aire comprimido en una planta industrial se considera el cuarto recurso del cual no se puede prescindir.El aire comprimido resulta de vital importancia para la operación de maquinaria industrial y múltiples aplicaciones que permiten que la materia prima entre por un lado de la línea de producción y el producto terminado salga por el extremo opuesto. La falta (baja presión), el exceso (alta presión) o la inadecuada relación de consumo eléctrico/cfm generados causa que la producción se vea afectada por producto mal terminado o a un costo demasiado alto que a su vez perjudica la rentabilidad de la empresa.

Contar con un compresor de aire comprimido confiable y que consuma la energía eléctrica adecuada a la generación de aire garantiza que la producción no se detendrá, evitará desperdicio de material y más importante aún no generara costos adicionales de producción¹.

La revista QuimiNet también menciona en otro artículo la importancia de aprovechar al máximo el sistema de aire comprimido que se está utilizando. Las

¹B., F. C. (10 de Diciembre de 2012). *QuimiNet*. Recuperado el 24 de Octubre de 2012, de QuimiNet: <http://www.quiminet.com/articulos/aproveche-al-maximo-su-sistema-de-aire-comprimido-3353138.htm>

cantidades de aire comprimido que se requieren en la industria suelen ser altas, debido a las aplicaciones que éste tiene, entre las que se encuentran la transmisión de potencia, la proveeduría de aire para combustión, elevadores neumáticos, entre otros.

Sin embargo, su generación puede resultar sumamente costosa ya que los compresores utilizados requieren de energía eléctrica para funcionar, y suelen consumir grandes cantidades de ella. Si los compresores son obsoletos o ineficientes, consumirán demasiada energía eléctrica y producirán poco aire comprimido. Por esta razón es necesario buscar una solución que permita gastar menos energía eléctrica y producir más aire comprimido.

Para dar solución a lo anterior, se pueden utilizar compresores de capacidad y velocidad variable².

En la revista saquimsawordpress se menciona en un artículo donde el autor habla sobre la importancia del tanque de almacenamiento en los compresores de aire ya que según lo expresado en el texto, este determina el modelo adecuado a utilizar dependiendo la necesidad. Cuanto mayor sea el tanque de almacenamiento, más pies cúbicos de aire por minuto podrá entregar el tanque, pero esto no significa que proporcione una corriente de aire a presión más grande, eso lo rige la capacidad adecuada del tanque de almacenamiento en caso de que el compresor sea utilizado en múltiples facetas, contrario a esto el compresor trabajará de forma incorrecta.³

En la revista de ingeniería Metal Actual se encuentra un texto sobre los compresores, donde el autor señala que al momento de determinar la presión se debe tener en cuenta muchos factores, aunque el fabricante de la herramienta a

²Escandon, C. (31 de Agosto de 2010). *QuimiNet*. Recuperado el 22 de Noviembre de 2012, de QuimiNet: <http://www.quiminet.com/articulos/el-uso-de-los-compresores-en-la-industria-44288.htm>

³STEHING, D. (2010). Tanque de almacenamiento de los compresores. saquimsa.wordpress, p. 15-17.

utilizar inicialmente indique un valor de presión siempre va a existir pérdidas en el sistema. Como por ejemplo, si el compresor se encuentra lejos del área de trabajo hay que tener en cuenta las pérdidas que este genere con respecto a las tuberías, entre otras. Estas pérdidas son evidenciadas por las altas temperaturas de los gases de escape y por la vibración que se genera en el compresor, además de otras características que se presentan. Para el autor esto fueron grandes inconvenientes que se presentaron en el momento de trabajo debido a que inicialmente no se determinó de forma correcta la presión que se debió utilizar.⁴

Se puede concluir que el aire comprimido y el uso que se le da a este recurso son esenciales para el buen rendimiento de un mecanismo neumático. Si se utiliza de forma correcta el aire comprimido, se ahorrarán costos adicionales como el consumo de energía y el desperdicio de material, garantizando que la producción no se detenga.

2.2. MARCO TEORICO

2.2.1. COMPRESORES DE AIRE

Un compresor de aire es una máquina que, a través de un aumento en la presión, logra desplazar fluidos compresibles, como los gases. El proceso por el cual un compresor de aire produce la energía cinética es a través de presionar y comprimir el aire, luego suelta el aire en ráfagas rápidas en orden a cualquier mecanismo por el cual el compresor de aire está conectado.⁵

2.2.1.1. TIPOS DE COMPRESORES

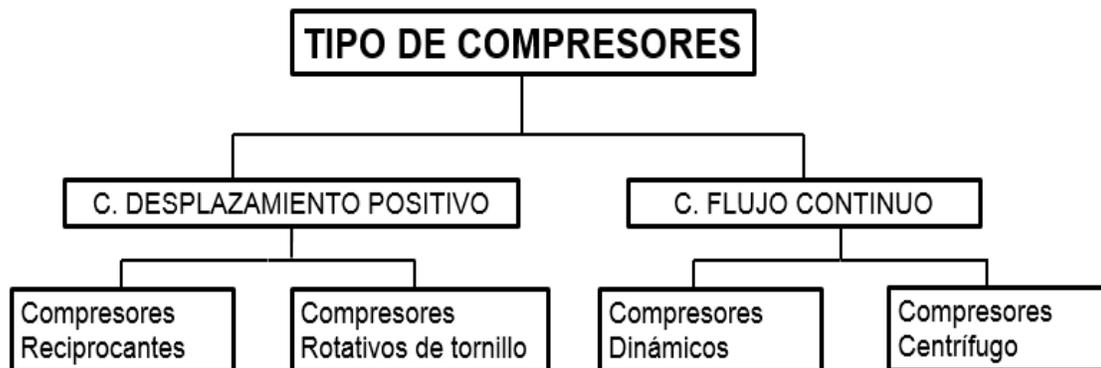
⁴GONZALO, L. (Nombiembre 2010- Enero 2011). presión del aire comprimido. Metal Actual, p.26.

⁵Morales, J. (18 de Septiembre de 2010). *ARTICULOS INFORMATIVOS*. Recuperado el 12 de Agosto de 2012, de *ARTICULOS INFORMATIVOS*: http://www.articulosinformativos.com.mx/Compresor_de_Aire-a854678.html

Se tienen dos grupos básicos de compresores. En los de desplazamiento positivo (flujo intermitente) el aumento de presión se consigue confinando el gas de un espacio cerrado, donde posteriormente el volumen se reduce por una acción mecánica. En los compresores de flujo continuo el aumento de presión se obtiene comunicando energía cinética al flujo constante de gas y convirtiendo esta en energía de presión por medio de un difusor.

En el siguiente gráfico (figura 1) se muestra los tipos de compresores más comunes y la forma en que se clasifican. Posteriormente se describirá el funcionamiento de cada uno.

Figura 1. Tipo de compresores.



Fuente el autor.

Compresores Reciprocantes

Son máquinas en las cuales la compresión se efectúa por la acción positiva de un pistón que está reciprocando dentro de un cilindro.

El compresor recíprocante usa válvulas automáticas de resorte que se abren únicamente cuando la presión diferencial adecuada existe a través de la válvula.

Las válvulas de admisión se abren cuando la presión en el cilindro es ligeramente menor a la presión de admisión. Las válvulas de descarga se abren cuando la presión en el cilindro está un poco por encima de la presión de descarga.

El funcionamiento de las válvulas es asistido por pequeños muelles que ayudan a acelerar el movimiento de cierre.

El diseño y calidad de la válvula son decisivos para muchos de los datos de funcionamiento del compresor tales como el consumo específico, el rendimiento volumétrico, los costos de mantenimiento y la vida de servicio.

Muchos problemas de compresión involucran condiciones que están más allá de la capacidad de una sola etapa de compresión. Una alta relación de compresión (la presión de descarga absoluta dividida por la presión absoluta de admisión) puede causar una temperatura de descarga excesiva u otros problemas.

Por lo tanto se hace necesario combinar elementos o grupos de elementos en series para conformar una unidad multi-etapa, en el cual habrá dos o más pasos de compresión. El gas frecuentemente es enfriado entre etapas para reducir la temperatura y el volumen que entra a la siguiente etapa.

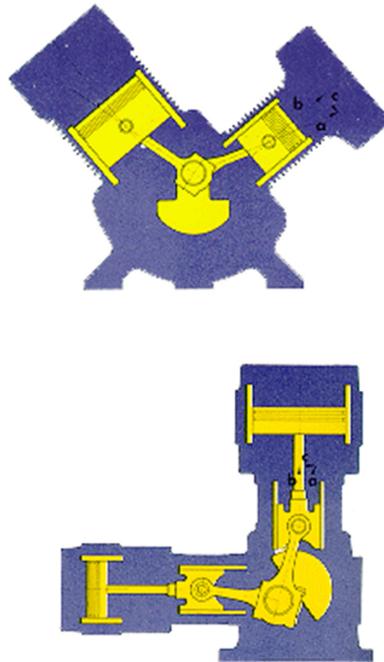
Los cilindros están proporcionados de acuerdo a la relación de compresión total, las etapas se van reduciendo en volumen proporcionalmente, puesto que el gas ha sido comprimido parcialmente y enfriado en la etapa anterior, y por lo tanto ocupa menos volumen.

De acuerdo con las experiencias que se han tenido en la industria, una buena rentabilidad del equipo se obtiene trabajando en los siguientes rangos de presión, de acuerdo con el número de etapas:

0- 80 PSIG	Una etapa
80- 200 PSIG	Dos etapas
200 ó más PSIG	Tres etapas ó más

Las partes de un compresor de simple efecto con dos etapas y uno de doble efecto y una etapa se muestran en la figura 1.

Figura 2. Compresor recíprocante o de pistón.



Fuente:<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/maquinashidraulicas/comprimido/comprimido.htm>

Compresores rotativos de tornillo

En el mercado se conocen comúnmente con el nombre de compresores de tornillo. Es una máquina con dos rotores que comprime gas entre las cámaras de los lóbulos helicoidales entrelazados y la carcasa. El elemento básico es la carcasa en su ensamble de rotores. Los lóbulos en los rotores no son idénticos. El rotor que tiene cuatro lóbulos convexos se denomina rotor macho y el rotor que tiene seis lóbulos cóncavos se llama hembra.

El rotor macho o guía (rotor principal) consume alrededor del 85 al 90% de la potencia y el hembra o guiado requiere a lo sumo sólo del 10 al 15% de la potencia total.

En los compresores rotativos el aire se comprime y se desplaza con una rotación de presión estable. La carencia de válvula de aspiración e impulso y la inexistencia de fuerza mecánicas desequilibradas, hacen que el compresor de tornillo pueda funcionar a altas revoluciones.

Existen dos tipos de estos compresores, uno usa piñones acoplados para mantener los dos rotores en fase todo el tiempo. Esta clase no requiere lubricación y el sello entre lóbulos lo hacen las pequeñas tolerancias. El segundo tipo usa un baño de aceite a lo largo de la máquina para lubricar, sellar y enfriar el gas comprimido.

Figura 3. Compresor rotativo de tornillo.



Fuente: <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/maquinashidraulicas/comprimido/comprimido.htm>

Compresores de flujo continuo

En este tipo de compresores el tema se centralizará en los compresores dinámicos centrífugos, ya que los demás compresores por su aplicación especial y escasa no son del caso mencionarlos.

Compresores dinámicos

La compresión en un compresor dinámico depende de la transferencia de energía que se le entrega al gas por medio de un juego de aspas girando. El rotor cumple con esta transferencia de energía cambiando en el momento la presión del gas. Los compresores dinámicos no requieren lubricación interna y pueden suministrar aire libre de aceite.

Figura 4. Compresor dinámico.



Fuente:<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/maquinashidraulicas/comprim>

Compresor centrífugo

El compresor centrifugo tiene un impulsor con alabes radiales y alabes hacia atrás. El gas es obligado a pasar a través del impulsor por la acción mecánica de los alabes. La velocidad generada se convierte en presión, parcialmente en el impulsor (la cantidad depende del diseño) y parcialmente en los difusores estacionarios que se encuentran inmediatamente después del impulsor. Se

muestra en ambas secciones radial y longitudinal un compresor centrífugo de una etapa.

Los compresores centrífugos multi-etapa utilizan dos o más impulsores dispuestos para flujo en serie, cada uno con difusor radial y canal de retorno separando los impulsores.

Para comprender mejor el ciclo de compresión en este tipo de compresores, imagínese el flujo de aire.

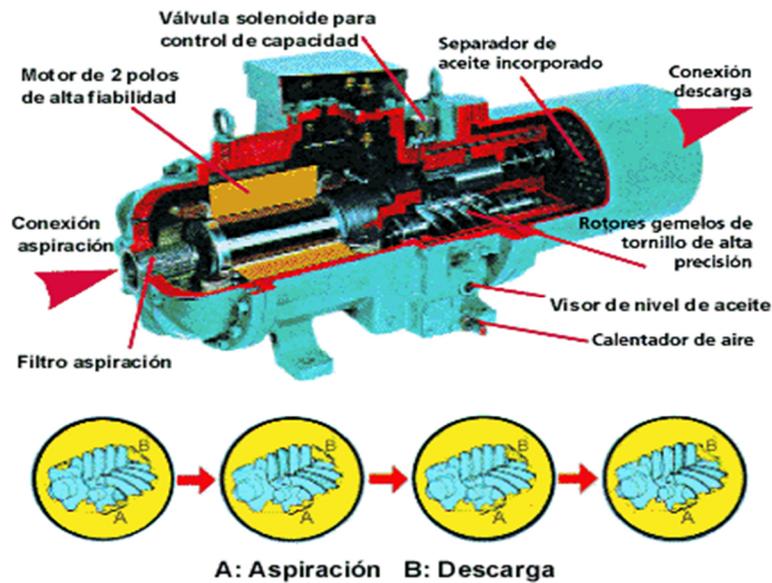
1. El aire tiene su entrada por el centro del impulsor el cual imparte velocidad al gas, la dirección que toma es radial. La admisión se da porque se crea un vacío en la boca del compresor, debido al perfil que tienen los alabes.
2. El aire es dirigido al difusor, que es donde la totalidad de la energía cinética se convierte en presión. Este cambio se debe al choque de las partículas con la pared del difusor.
3. Al salir del difusor el gas sigue la dirección, para entrar al interenfriador aire/ agua, en este caso de seis pasos, en este punto se disipa el calor de compresión. El condensado de agua es removido por trampas con drenaje automático.
4. El aire entra a la segunda etapa, el impulsor es de menor diámetro debido a que el volumen se ha reducido, el gas se comprime bajo el mismo principio que en la primera etapa.
5. El aire después de pasar por el difusor de la segunda etapa entra al post-enfriado donde el aire comprimido es ya suministrado a la planta.

La relación entre etapas se determina en función del cambio de velocidad y de la densidad del gas. Los intercambios de calor se hacen voluminosos debido a que estos tipos de compresores son muy sensibles a la caída de presión.

Las unidades centrífugas comercialmente operan en su mayoría a unas 20000 revoluciones por minuto con fuerte tendencia a aumentar.

La cantidad mínima de un compresor centrífugo está limitada principalmente por el flujo de la última etapa. Como límite práctico se puede emplear 340 pies cúbicos por minuto en modelos de carcasa con participación horizontal.

Figura 5. Compresor centrífugo



Fuente: <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/maquinashidraulicas/comprimido/comprimido.htm>

2.2.2. TANQUES METÁLICOS

Figura 6. Tambores metálicos.



Fuente:<http://lavictoria.olx.com.ve/q/tambores-usados/c-210>

Medidas: alto 90 cm, diámetro 60 cm

Capacidad: 200 litros

Peso: 16 Kg

Características: tapa con aro y cerrados con tapa pequeña

Cantidad de tapas: 2

Medida de tapas: 2"

Diámetro: 5,8 cm

Productos embasables: productos químicos y agroindustriales

Son tambores remanufacturados, en buenas condiciones.⁶

⁶G., F. S. (06 de Julio de 2010). OLX. Recuperado el 14 de Diciembre de 2012, de OLX: <http://lavictoria.olx.com.ve/q/tambores-usados/c-210>

3. HIPOTESIS, ALCANCE Y METODO DE INVESTIGACIÓN

3.1. HIPOTESIS

El sistema de restauración que actualmente se está utilizando podría ser más eficiente si se plantea un prototipo de rediseño el cual logre que el aire comprimido que se está usando para restaurar un tanque metálico sea reutilizado para arreglar otro tanque de la misma forma, generando ganancias al sistema tales como la disminución de tiempo en el proceso de restauración en una cantidad de tanques determinada. Por otra parte debe ser un sistema más confiable para el operario al momento de trabajar y para esto se aconseja que el sistema tenga guardas de seguridad alrededor de la estructura metálica que sostiene los tanques, para que en caso de un estallido no afecte directamente a la persona.

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente estudio se basa en una investigación no experimental descriptiva, es decir que se realizará el diseño de un sistema semi-automático de aire de alta presión en base a los cálculos de las variables antes mencionadas. Las fuentes de información que se usarán en la investigación son catálogos de fabricantes en cuanto a compresores de aire para tener una referencia a la hora de rediseñar el sistema.

3.3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de investigación, consta de las siguientes etapas:

3.3.1. Recopilación de información

En esta fase se recopilará toda la información necesaria referente a las condiciones de trabajo a la cual estará sometido el sistema para así realizar un rediseño seguro y confiable. Para esto se tendrá en cuenta lo siguiente:

- ✓ La medida de las tuberías, el número y cantidad de accesorios utilizados para las diferentes conexiones del sistema.
- ✓ Instrumentos o dispositivos de medición que tenga el sistema.
- ✓ Caudales de aire comprimido que ofrece el compresor y características de ese aire.
- ✓ Parámetros de funcionamiento de los equipos neumáticos del sistema. Valores de presión, temperatura, propiedades del aire que se requiere.

3.3.2. Desarrollo del proyecto

En esta fase se desarrollará el sistema de aire comprimido de acuerdo a los cálculos ya realizados y evaluados, para así lograr un sistema que cumpla con los requisitos antes planteados, luego se procede a desarrollar una simulación para ver el comportamiento real del sistema. Teniendo en cuenta los siguientes ítems:

- Tiempo al momento del suministro de aire comprimido a los tanques.
- Eficiencia del sistema al momento de la restauración de los tanques.
- Seguridad de los operarios al llenar de los tanques.

3.3.3. Análisis de resultado

En esta fase final se va a evaluar la viabilidad del sistema de aire comprimido para la restauración de los tanques metálicos, teniendo en cuenta todo el proceso realizado con anterioridad y pruebas suministradas al sistema diseñado.

La evaluación de factibilidad y viabilidad del rediseño deberá sustentar que el aumento de la ganancia en producción sea mucho mayor que la inversión, contemplando su retorno en un tiempo determinado.

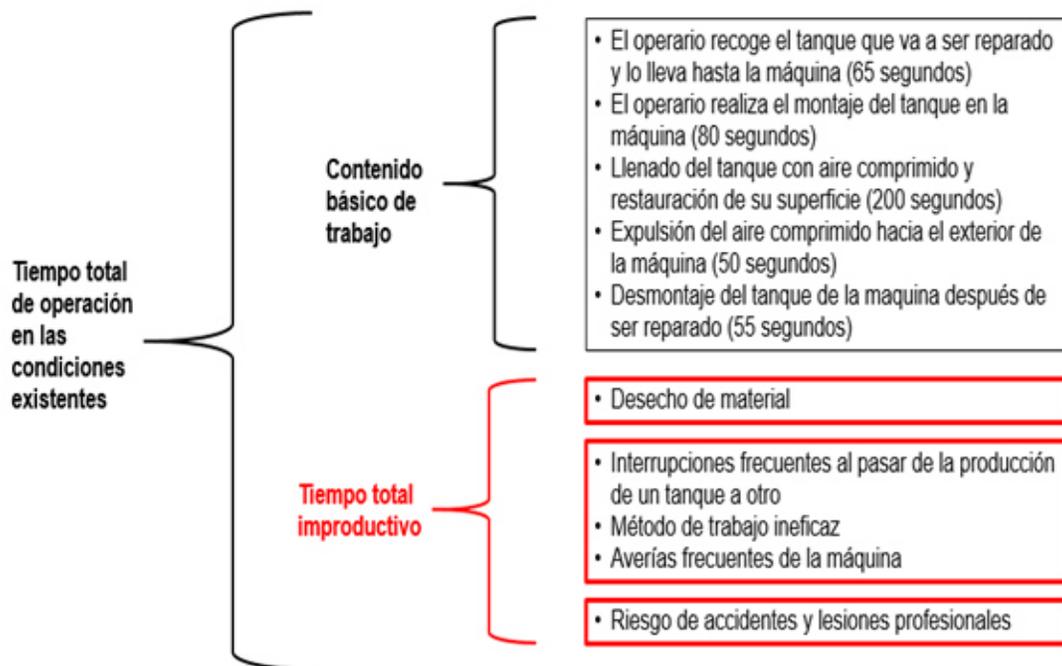
4. DIAGNOSTICO ACTUAL DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO PARA LA REPARACIÓN DE TANQUES METÁLICOS

4.1 ESTUDIO DE MÉTODO Y TIEMPO DEL SISTEMA ACTUAL

Una de las herramientas más eficaces que ayuda a mejorar la productividad en una empresa, es el del estudio del trabajo o método y tiempo. Este estudio tiene por objeto examinar la manera en que se está realizando una actividad, simplificar o modificar el método operativo para reducir el trabajo innecesario o excesivo, o el uso antieconómico de recursos, y fijar el tiempo normal para la realización de dicha actividad.

A continuación en la figura 7, se describe el tiempo total de operación y una lista detallada de las actividades que describen el proceso de restauración. También se mencionan algunas actividades que afectan directa o indirectamente el proceso y que además generan tiempo improductivo.

Figura 7. Esquema de método y tiempo para el proceso de restauración.



Fuente el autor.

Durante una semana de trabajo en la empresa; se realizaron varias mediciones del tiempo que tarda el sistema en restaurar cada tanque metálico, teniendo en cuenta que el tiempo de restauración varía según el estado en que se encuentra cada tanque, ya que todos los tanques no poseen las mismas condiciones físicas. Por lo tanto se determinó un tiempo promedio a partir de las mediciones para fijar un punto de referencia (Figura 8).

Tabla 1. Tiempo promedio de la restauración de los tanques metálicos.

TIEMPO DE RESTURACION DE LOS TANQUES	MINUTOS
TIEMPO 1	8,02
TIEMPO 2	7,90
TIEMPO 3	8,53
TIEMPO 4	8,85
TIEMPO 5	7,27
TIEMPO 6	7,03
TIEMPO 7	8,58
TIEMPO 8	8,67
TIEMPO 9	7,68
TIEMPO 10	7,68
TIEMPO 11	7,86
TIEMPO 12	8,86
TIEMPO 13	7,41
TIEMPO 14	7,28
TIEMPO 15	7,40
TIEMPO 16	8,03
TIEMPO 17	8,22
TIEMPO 18	8,99
TIEMPO 19	7,95
TIEMPO 20	7,32
TIEMPO TOTAL PROMEDIO	7,88

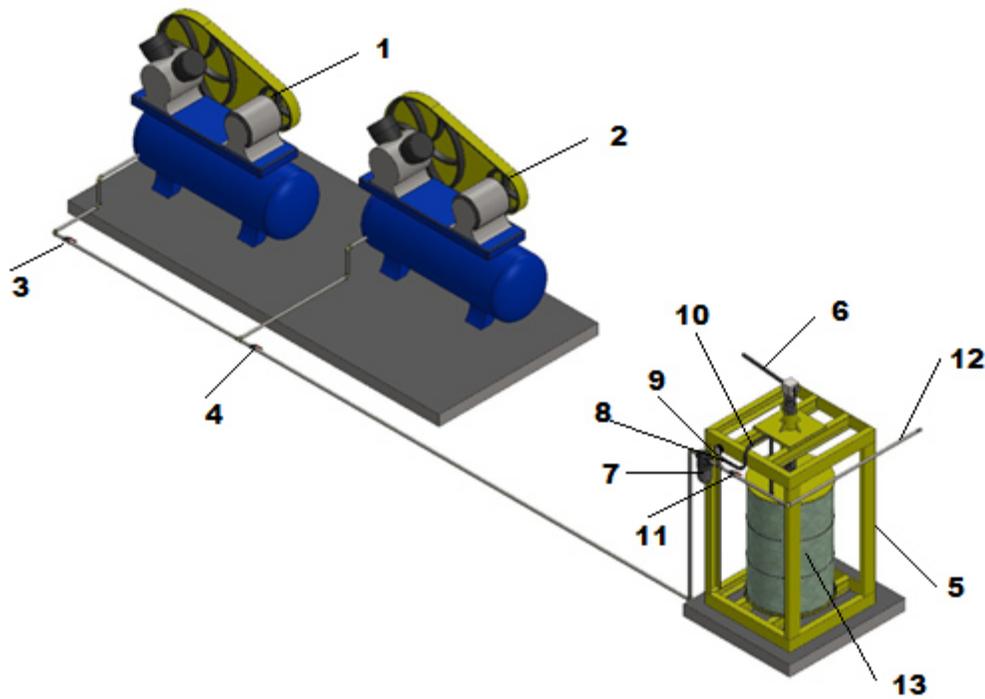
Fuente el autor.

El tiempo promedio de restauración de los taques metálicos es de 7.88 minutos, incluyendo las condiciones físicas de cada tanque y los retrasos en la producción por los tiempos improductivos que pueden generarse durante el proceso. Si se realiza un rediseño en el sistema logrando un método de trabajo más eficaz y efectivo, se podrá reducir el tiempo del contenido básico de trabajo haciendo que

el proceso sea más eficiente y disminuir el tiempo de restauración de los tanques metálicos.

4.2 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO ACTUAL DEL SISTEMA DE REPARACIÓN DE TANQUES METÁLICOS

Figura 8. Sistema actual de restauración de los tanques metálicos.



Fuente el autor.

Descripción de cada una de las numeraciones:

1. Compresor 1
2. Compresor 2
3. Válvula de control 1 (permite la circulación del fluido de aire que sale del compresor 1)
4. Válvula de control 2 (permite la circulación del fluido de aire que sale del compresor 2 y del compresor 1)
5. Estructura metálica

6. Manivela de ajuste que presiona el tanque con la base inferior, para mantenerlo fijo al momento de repararlo
7. Filtro de aire
8. Válvula de control 3 (permite la entrada del flujo de aire al tanque)
9. Manómetro (se requiere que la presión en ese punto este en 80psi)
10. Manguera que se introduce en el tanque para llenarlo de aire comprimido
11. Válvula de control 4 (permite el escape del aire hacia el exterior del sistema)
12. Tubería de escape
13. Tanque metálico sometido a presión.

- Descripción técnica y funcionamiento del sistema:

Inicialmente el operario recoge el tanque que va a ser reparado desde el lote donde están ubicado todos los tanques que se encuentran en mal estado. Luego el tanque es colocado en una estructura metálica la cual se encarga de sostenerlo mientras se realiza el proceso de restauración. En la parte superior la estructura metálica posee una manivela que ajusta el tanque con la parte inferior de la estructura para mantener el tanque fijo en el proceso de presurización.

Figura 9. Estructura metálica que sostiene los tanques.



Fuente el autor.

El sistema de restauración de los tanques metálicos cuenta con dos compresores de tipo embolo o pistón (alternativos) ambos conectados en serie para trabajar

conjuntamente y generar aire comprimido el cual es acumulado en los dos tanques de almacenamiento que poseen los compresores. Uno de los tanques tiene un diámetro de 80cm y 180cm de largo y capacidad de almacenamiento de 500 litros, mientras que el otro tiene 60cm de diámetro y 150cm de largo y capacidad de almacenamiento de 400 litros, obteniendo en total 900 litros de aire comprimido para función del sistema. Ambos compresores manejan una presión máxima de 160 psi. Cada compresor consta de un motor de 10hp que gira a 1100 rpm, este compresor trabaja con un sistema trasmisor de potencia compuesto por poleas y correas.

Figura 10. Compresores del sistema de restauración.

a. Compresor1.



b. Compresor 2.



Fuente el autor.

El fluido circula por un sistema de tubería de acero galvanizado de ½ pulgada de diámetro que tiene un recorrido de 2.8 metros, que va desde la salida de los compresores hasta la estructura metálica. Cuando el fluido llega a la válvula de control 3 (ver Figura 8), es controlada por el operario a través de un regulador de presión llevándola hasta 80 psi, ya que esta es la presión establecida por la empresa para reparar los tanques de forma correcta. Después se cierra la válvula y el tanque es llenado con aire comprimido, el cual ejerce presión sobre las paredes del tanque permitiendo que recupere su forma y superficie original. Para garantizar un mejor acabado en la restauración del tanque, el operario utiliza una herramienta manual la cual llaman manopla y sirve para moldear el tanque y darle la forma final deseada. Luego se abre la válvula de control 4 (ver Figura 8) para que el aire pueda escapar hacia el exterior del sistema. Finalmente el tanque es desmontado de la estructura después de haber sido reparado.

A partir del tiempo promedio de restauración de los tanques metálicos se puede realizar una estimación de los tanques reparados por la empresa diariamente, aproximadamente el sistema puede reparar 117 tanques metálicos en las 16 horas de trabajo en que funciona la empresa, lo que indica que al mes el sistema reparará un total de 3504 tanques metálicos. Teniendo en cuenta el crecimiento de la empresa en el mercado y la demanda de pedidos que ha tenido en los últimos años, la empresa necesita una mayor producción de tanques, lo que indica que el sistema está quedando un poco obsoleto, debido a que no tiene la capacidad para cumplir a tiempo con los pedidos y satisfacer las necesidades de los clientes, además del tiempo improductivo que genera por su ineficaz método de trabajo. Por tanto se necesita un sistema que produzca más tanques en menos tiempo.

De esta problemática nace la idea de que el sistema pueda trabajar con dos tanques simultáneamente para agilizar la producción. Para lograr este objetivo es necesario realizar previamente un estudio que describa las condiciones físicas y funcionales en las que se encuentra trabajando actualmente el sistema y de esta manera generar un diagnóstico general que contribuya a una metodología de rediseño.

4.3 EVALUACIÓN DEL ESTADO FÍSICO Y FUNCIONAL DE LAS PIEZAS QUE COMPONEN EL SISTEMA ANTES DEL REDISEÑO

Es determinante realizar un estudio para conocer el estado en que se encuentran cada una de las piezas que conforman el sistemas ya que de esta forma se conocerá si están de manera adecuada para incluirlas en el rediseño, o si no, reemplazarlas por otra que estén en buen estado y cumplan con las condiciones del sistema para un óptimo desempeño.

4.3.1 Evaluación de los compresores

Los compresores son unas de las piezas más importantes del sistema por lo tanto es de mucha importancia que estos estén en las mejores condiciones para que el sistema pueda trabajar de forma correcta.

En unas de las visitas que se realizó a la empresa donde se desarrolló el proyecto, se pudo encontrar que los compresores aparentemente funcionan de forma correcta ya que están cumpliendo su función normalmente en el sistema y no han tenido fallas, pero su aspecto físico no son los mejores, debido a que no se le hace su respectivo mantenimiento por lo cual poco a poco se van deteriorando lo que puede causar un daño total en el equipo y por consiguiente detener la producción.

Algunas de las falencias que se encontraron son:

- Vertimiento de aceite en todo el equipo, los empaques están en mal estado, debido a que los motores con el tiempo y el calor originado por su funcionamiento vencen la resistencia de las juntas, empaques y retenedores que normalmente se encargan de evitar las fugas de aceite.
- Los manómetros de los compresores se encuentran en mal estado. El manómetro del compresor 1 no funciona y se encuentra destruido en gran parte debido a la corrosión. En el manómetro del compresor 2, el elemento

elástico (resorte) se encuentra vencido por el tiempo de uso lo que genera una lectura imprecisa de la presión del fluido.

- El sistema de transmisión no posee guardas de seguridad, lo que pone en riesgo la seguridad del operario.
- Las correastienendegaste en sus dientes debido al tiempo de uso y presentan grietas en su superficie, lo que implica cambiarlas por unas que estén en mejor estado.(Ver figura 12).

Figura 11. Estado actual de los compresores, vertimiento de aceite y estado inadecuado de los manómetros.

a. Compresor 1 estado actual.



b. Compresor 2 estado actual.



Fuente el autor.

Figura 12. Estado actual de las correas.



Fuente el autor.

4.3.2 Evaluación de la tubería

La tubería está un poco oxidada en su superficie exterior debido a que es de material metálico y está expuesta a factores como la lluvia y al tiempo de uso. De igual forma se encuentran los accesorios que la componen (codos, tee, acoples, etc.).

También se realizó una inspección en su superficie interior y se observó que se encuentra corroída por la humedad que genera el fluido interiormente, por tanto se concluye que no basta con realizarle un mantenimiento, sino que es mejor cambiarlas y remplazarlas por una tubería que este en buen estado y que cumpla con las exigencias del sistema debido a que el estado en que se encuentran podría generar fallas en cualquier momento originando fuga o escape del fluido, lo que traerá como consecuencia que el sistema no trabaje de forma correcta.

Figura 14. Tubería del sistema actual.

a. Corrosión tubería externa



b. Corrosión tubería interna



Fuente el autor.

4.3.3 Evaluación de la estructura metálica que sostiene los tanques

Los tanques son colocados en la estructura metálica al momento de ser reparados, desde allí el operario realiza todo el proceso supervisando la restauración del tanque.

La estructura no cuenta con un diseño confiable que vele por la seguridad del operario al momento de trabajar en la máquina. El operario se encuentra desprotegido alrededor de la estructura, teniendo en cuenta que durante el proceso se trabaja con altas presiones, lo que puede generar accidentes, como por ejemplo el estallido de algún tanque, ocasionando incidentes graves. Además el operario tiene que estar caminando alrededor de la estructura para supervisar que toda la superficie del tanque obtenga la forma deseada, descuidando la presión del fluido que le va indicando el manómetro, lo que hace aún más riesgoso este proceso.

Los accidentes laborales son problemas que perjudican tanto al trabajador como a la empresa, por lo tanto es necesario buscar la forma de evitarlos. Para solucionar este inconveniente se plantea la idea de colocar guardas de seguridad alrededor de la estructura para que en caso de un estallido las ondas golpeen contra las guardas y no directamente con el operario, además se propone que la estructura metálica sea giratoria para que el operario mantenga una posición fija donde pueda observar la presión que le indica el manómetro y a la vez pueda supervisar el tanque en todas sus superficies.

4.4. ANÁLISIS DE OTRO TIPO DE VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL SISTEMA DE RESTAURACIÓN

Realizando un análisis del funcionamiento del sistema se pudo observar que después de reparar un tanque, el aire comprimido que se utilizó es desechado hacia el exterior de la máquina, lo que implica que para restaurar un nuevo tanque se necesitará una nueva cantidad de aire comprimido, lo que generará más consumo de energía para poder tener cargado los tanques de almacenamiento de los compresores. Sería de gran importancia para el sistema si se pudiera reutilizar el aire comprimido en otro tanque y restaurarlo de la misma forma, esto ahorraría consumo de energía y ganaría tiempo en producción.

Es importante mantener el tanque de almacenamiento del fluido con la cantidad de aire comprimido que requiera el sistema para trabajar, ya que de esta forma se evitará que el motor se esté accionando y por lo tanto generando consumo de energía innecesario.

El sistema tiene capacidad para generar 900 litros de aire comprimido a una presión máxima de 160 psi y acumularlos en sus tanques de almacenamiento, después de haber cumplido su capacidad máxima, el compresor se apaga. Esta cantidad de aire comprimido alcanza para realizarle el proceso de restauración a cuatro tanques, luego los compresores encienden nuevamente para recargar los tanques de almacenamiento y poder seguir con el proceso. En una hora de trabajo los compresores encienden 2 veces o cada media hora, lo que quiere decir que en un día de trabajo (16 horas diarias) los compresores enciende 32 veces. Si se hace buen uso del aire comprimido podría amentar la productividad de la empresaya que se está aprovechando de gran manera los recursos que posee el sistema y no se desperdicia material (en este caso el material que se desea aprovechar es el aire comprimido).

4.5. DIAGNOSTICO GENERAL DEL SISTEMA ACTUAL

A partir del estudio de método y tiempo y de la evaluación que se le realizó a las piezas que componen el sistema, se generaron algunas ideas y parámetros que contribuyeron al desarrollo de una metodología de rediseño que busca aumentar la productividad y eficacia del proceso de restauración de los tanques metálicos, las medidas que se deben de tener en cuenta para el rediseño son:

- Se deberá realizar un mantenimiento previamente a los compresores, reemplazar las piezas que lo componen, que se encuentren en mal estado y que impiden su buen funcionamiento (empaques, sellos de aceite, correas, etc.).

- La tubería donde circula el fluido y los accesorios se deberán reemplazar por unos en mejor estado ya que los actuales se encuentran oxidados en su mayor parte.
- Es importante hacer un rediseño en la estructura metálica que contribuya a la seguridad del operario y minimizar los riesgos de accidentes.
- El sistema rediseñado deberá trabajar con dos tanques simultáneamente y que además reutilice el aire comprimido de un primer proceso en un segundo proceso.
- Es importante crear un buen programa de mantenimiento al sistema de restauración para conservar su vida útil.

Estos parámetros servirán como base para empezar una metodología de diseño que obtendrá como resultado el prototipo más adecuado que suplirá las necesidades de la empresa.

5. PROPUESTA DE REDISEÑO

5.1 METODOLOGÍA DE DISEÑO DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO DE ALTA PRESIÓN PARA LA RESTAURACIÓN DE TANQUES METÁLICOS

En todo proceso de diseño o rediseño de un sistema se realizan una serie de fases o etapas que constituyen el proceso de diseño mecánico. La razón de ser de estas fases es garantizar al final del proceso de diseño un producto que cumpla con los atributos y funciones por las cuales se diseñó; basado en la metodología QFD (Quality Function Deployment) es posible lograr tal fin. A continuación se describen cada una de las fases de la especificación y los requerimientos.

5.1.1 ESPECIFICACIONES Y REQUERIMIENTOS

El cliente para este proyecto es una empresa que se dedica a la remanufacturación y comercialización de tanques metálicos. Quien comunicó los requerimientos, inquietudes y oportunidades de mejora, que conformaran la lista de requerimientos del proyecto titulado "*Rediseño del sistema de aire de alta presión para la restauración de tanques metálicos*".

a. Lista de requerimientos del rediseño del sistema de aire comprimido:

- Que su costo sea menor a \$5.000.000 (valor estipulado por la empresa).
- Que se pueda reutilizar el aire comprimido de un primer proceso en un segundo proceso.
- Que conserve el mismo sistema de control que el proceso actual.

- Que el tanque o canecas se mantengan fijos durante el proceso de presurización.
- Que el operador esté lo más seguro posible durante el proceso de restauración (mejor que las condiciones actuales).
- Que la operación del equipo no sea complicado.
- Que el sistema propuesto goce de buena presentación.
- Que las actividades de mantenimientos y reparación no sean costosos.
- Que los tiempos de actividades de mantenimiento y reparación sean cortos.
- Que se emplee por lo máximo un área de operación equivalente al doble de la actual (5.2 m²)

b. Lista de requerimientos obligatorios:

Los requerimientos obligatorios (RO) son aquellos que definen lo qué debe hacer un sistema y su funcionalidad.

En el presente proyecto los requerimientos obligatorios, se escogieron a partir del criterio del diseñador, tomando como referencia la eficiencia energética para el ahorro en el consumo de energía mediante la reutilización del aire comprimido y la seguridad en el sistema para la protección del trabajador.

Tomando como base las dos referencias mencionadas, se enlistan a continuación los requerimientos obligatorios, su ponderación automáticamente es de 1. Se hace una calificación entre requerimientos mensurables y requerimientos no mensurables; identificados cada uno como M y NM respectivamente.

Tabla 1. Requerimientos obligatorios del diseño (RO).

No	Lista de requerimientos Obligatorios.	M	NM
RO1	Que se pueda reutilizar el aire comprimido de un primer proceso en un segundo proceso.	x	
RO2	Que el tanque o canecas se mantengan fijos durante el proceso de presurización.		x

RO3	Que el operador esté lo más seguro posible durante el proceso de restauración (mejor que las condiciones actuales).		X
-----	---	--	---

Fuente el autor.

c. Lista de requerimientos deseables:

Los requerimientos deseables (RD) son aquellos que definen cómo debe ser el sistema o cuáles son sus cualidades.

Los requerimientos deseables que se escogieron para este proyecto se establecieron mediante el aspecto económico con el propósito de controlar el presupuesto asignado, sin embargo, es un referente que puede modificarse en base a los resultados finales.

A continuación se enlistan los requerimientos deseables. Su valoración o ponderación da su importancia dentro de un grupo de requerimientos de la misma clase. De igual manera, se hace una calificación entre requerimientos mensurables y requerimientos no mensurables; identificados cada uno como M y NM respectivamente.

Tabla 3. Requerimientos deseables del diseño(RD).

No	Lista de requerimientos Deseables.	M	NM
RD1	Que su costo sea menor \$5.000.000	X	
RD2	Que conserve el mismo sistema de control que el proceso actual (Manual).		X
RD3	Que la operación del equipo no sea complicada.		X
RD4	Que el sistema propuesto goce de buena presentación.		X
RD5	Que las actividades de mantenimientos y reparación no sean costosos.	X	
RD6	Que los tiempos de actividades de mantenimiento y reparación sean cortos.	X	X

RD7	Que se emplee por lo máximo un área de operación equivalente al doble de la actual (5.2 m2).		
-----	--	--	--

Fuente el autor.

Para poder valorar los requerimientos deseables (RD) es necesario establecer una escala de comparación; su finalidad es poder cuantificar la importancia que tiene el requerimiento analizado dentro del diseño global del sistema.

Tabla 4. Comparación de importancias.

Escala de comparación de importancias.	
1	Igualmente importante.
3	Importancia moderada.
5	Importancia fuerte.
7	Mucha importancia.
9	Extremada importancia.

Fuente el autor.

d. Desarrollo de la matriz comparativa.

Se va a comparar cada uno de los requerimientos deseables, entre ellos mismos, teniendo en cuenta la escala de importancia comparativa que se encuentra en la tabla 4, asignándole un valor a cada requerimiento según el criterio del diseñador.

Tabla 5. Matriz comparativa.

Requerimientos Deseables (RD).	RD1	RD2	RD3	RD4	RD5	RD6	RD7
RD1 Que su costo sea menor \$5.000.000	1	3	1/3	3	1/5	1/3	1/3
RD2 Que conserve el mismo sistema de control que el proceso actual (Manual).	1/3	1	1/5	3	1/3	1/3	1
RD3 Que la operación del equipo no sea complicada.	3	5	1	3	3	3	3
RD4 Que el sistema propuesto goce de buena presentación.	1/3	1/3	1/3	1	1/5	1/5	1/3

RD5	Que las actividades de mantenimientos y reparación no sean costos.	5	3	1/3	5	1	1	3
RD6	Que los tiempos de actividades de mantenimiento y reparación sean cortos.	3	3	1/3	5	1	1	3
RD7	Que se emplee por lo máximo un área de operación equivalente al doble de la actual (5.2 m2).	3	1	1/3	3	1/3	1/3	1
TOTAL		15,67	16,33	2,87	23,00	6,07	6,20	11,67

Fuente el autor.

- e. Desarrollo de la matriz comparativa normalizada y listado de requerimientos más importantes.

En la siguiente tabla se puede observar los resultados de la matriz comparativa descritos en la tabla 5 y su ponderación global.

Tabla 6. Matriz comparativa normalizada.

Requerimientos Deseables (RD).		RD1	RD2	RD3	RD4	RD5	RD6	RD7	Suma por filas	Ponderación global
RD1	Que su costo sea menor \$5.000.000	0,06	0,18	0,12	0,13	0,03	0,05	0,03	0,61	0,09
RD2	Que conserve el mismo sistema de control que el proceso actual (Manual).	0,02	0,06	0,07	0,13	0,05	0,05	0,09	0,48	0,07
RD3	Que la operación del equipo no sea complicada.	0,19	0,31	0,35	0,13	0,49	0,48	0,26	2,21	0,32
RD4	Que el sistema propuesto goce de buena presentación.	0,02	0,02	0,12	0,04	0,03	0,03	0,03	0,30	0,04
RD5	Que las actividades de mantenimientos y reparación no sean costos.	0,32	0,18	0,12	0,22	0,16	0,16	0,26	1,42	0,20
RD6	Que los tiempos de actividades de mantenimiento y reparación sean cortos.	0,19	0,18	0,12	0,22	0,16	0,16	0,26	1,29	0,18
RD7	Que se emplee por lo máximo un área de operación equivalente al doble de la actual (5.2 m2).	0,19	0,06	0,12	0,13	0,05	0,05	0,09	0,69	0,10
TOTAL		1,00	7	1						

Fuente el autor.

Luego de haber obtenido la ponderación global se hace una lista jerárquica con el fin de identificar los requerimientos deseables más importantes y con mayor valoración.

Tabla 7.Importancia relativa de los requerimientos deseables (RD).

P.G	Requerimientos Deseables		Ranking
0,32	RD3	Que la operación del equipo no sea complicada.	1
0,20	RD5	Que las actividades de mantenimientos y reparación no sean costos.	2
0,18	RD6	Que los tiempos de actividades de mantenimiento y reparación sean cortos.	3
0,10	RD7	Que se emplee por lo máximo un área de operación equivalente al doble de la actual (5,2 m ²).	4
0,09	RD1	Que su costo sea menor \$5.000.000	5
0,07	RD2	Que conserve el mismo sistema de control que el proceso actual (Manual).	6
0,04	RD4	Que el sistema propuesto goce de buena presentación.	7

Fuente el autor.

5.1.2 DISEÑO CONCEPTUAL

El siguiente paso en el proceso de diseño es el Diseño conceptual; su finalidad es poder presentar una máquina basada en Conceptos dominantes; partiendo desde un Análisis funcional hasta llegar a la evaluación conceptual de cada opción o alternativas presentadas. A continuación se detalla paso a paso esta fase dentro de la Metodología de Diseño.

- a. Generación de tabla morfológica de conceptos.

En la siguiente tabla se hace una descripción general de las funciones durante el proceso de restauración a las cuales se somete el tanque que está siendo reparado.

Tabla 10. Funciones y medios, tabla morfológica.

Funciones	Medios			
	Manual	Automática		
Ingresar tanque no 1	Manual	Automática		
Sellar tanque no 1	Tapa-pistón (Manual)	Tapa-tornillo (Manual)	Tapa-pistón (Automática)	Tapa- tornillo (Automática)
Presurizar el sistema 1	Tubería/manguera control manual	Tubería/manguera control automático		
Restaurar tanque no 1	Golpes con martillo de caucho (manual) tanque fijo	Golpes con martillo de caucho (automática) tanque fijo	Golpes con martillo de caucho (manual) tanque girando	Golpes con martillo de caucho (automática) tanque girando
Ingresar tanque no 2	Manual	Automática		
Sellar tanque no 2	Tapa-pistón (Manual)	Tapa-tornillo (Manual)	Tapa-pistón (Automática)	Tapa- tornillo (Automática)
Reutilizar el aire comprimido proceso no 1. (Despresurización)	Tubería/manguera control manual	Tubería/manguera control automático		
Presurizar el sistema 2 de 40 a 80 psi	Tubería/manguera control manual	Tubería/manguera control automático		
Restaurar tanque no 2	Golpes con martillo de caucho (manual) tanque fijo	Golpes con martillo de caucho (automática) tanque fijo	Golpes con martillo de caucho (manual) tanque girando	Golpes con martillo de caucho (automática) tanque girando
despresurización de todo el sistema	Tubería/manguera control manual	Tubería/manguera control automático		
Retirar tanque no 1	Manual	Automática		
Retirar tanque no 2	Manual	Automática		

Fuente el autor.

En la tabla 10 se describen cada una de las funciones que ocurren dentro del proceso de restauración de los tanques y los medios en que pueden realizarse; con el fin de elegir los medios más adecuado para identificar el prototipo que satisfaga las falencias del sistema actual.

b. Evaluación de alternativas por el método Pugh.

El método Pugh consiste en acercar una toma de decisiones subjetivas a una objetiva y cuantitativa.

Se evaluará cada una de las funciones que se desarrollarán durante el proceso de restauración a través de los medios o conceptos expresados en la tabla 10. Para escoger finalmente el método más adecuado que cumplirá dicha función. Los conceptos se van a comparar con los requerimientos deseables ponderados en la tabla 6. Para realizar la comparación de los conceptos se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

- En la función que se está evaluando se podrá escoger cualquiera de los conceptos y tomarlo como referencia para compararlo con los demás conceptos y asignarles su valoración.
- La valoración será: si es mejor que el concepto de referencia se colocara + y - si es peor, 0 para el caso de ser similares en importancia.
- El concepto que tenga un valor final negativo no será conveniente para realizar dicha función. En caso de que se comparen más de dos conceptos, el que tenga la puntuación más alta será el medio más adecuado para cumplir la función que se está evaluando.

En la siguiente tabla se mencionan los conceptos generados de la función ingresar tanque 1.

Tabla 11. Conceptos generados de la función ingresar tanque 1.

Función: Ingresar tanque no 1.	
Manual.	Automática.
Concepto A	Concepto B
Concepto C	Concepto D

Fuente el autor.

Para la evaluación conceptual de la función ingresar tanque 1, se tomará el concepto A, como punto de referencia y se comparará con el concepto B. los conceptos C y D no aplican para esta función.

Tabla 12. Evaluación conceptual para la función ingresar tanque 1.

Función		Ingresar tanque no 1.				
Requerimientos		PG	Conceptos			
			A	B	C	D
RD2	Que conserve el mismo sistema de control que el proceso actual (Manual).	0,07	Concepto de Referencia	-		
RD3	Que la operación del equipo no sea complicada.	0,32		0		
RD4	Que el sistema propuesto goce de buena presentación.	0,04		0		
RD5	Que las actividades de mantenimientos y reparación no sean costos.	0,2		-		
RD6	Que los tiempos de actividades de mantenimiento y reparación sean cortos.	0,18		-		
TOTAL					-0,45	

Fuente el autor.

Como se puede observar el concepto B, dio como resultado negativo a partir de la suma de las ponderaciones, por lo tanto esa función no es conveniente. La más acertada es el concepto A, por lo tanto se escogerá este medio para la función ingresar tanque 1. En la siguiente tabla se mencionan los conceptos generados de la función sellar tanque 1.

Tabla 13. Conceptos generados de la función sellar tanque 1.

Función: Sellar tanque no 1.	
Tapa-pistón (Manual)	Tapa-tornillo (Manual)
Concepto A	Concepto B
Tapa-pistón (Automática)	Tapa- tornillo (Automática)
Concepto C	Concepto D

Fuente el autor.

Para la evaluación conceptual de la función sellar tanque 1, se tomará el concepto D, como punto de referencia y se comparará con los conceptos A, B y C.

Tabla 14. Evaluación conceptual para la función sellar tanque 1.

Función	Sellar tanque no 1.					
	Requerimientos	PG	Conceptos			
			A	B	C	D
RO2	Que el tanque o canecas se mantengan fijos durante el proceso de presurización.	1	0	0	0	Concepto de Referencia
RO3	Que el operador esté lo más seguro posible durante el proceso de restauración (mejor que las condiciones actuales).	1	0	0	0	
RD2	Que conserve el mismo sistema de control que el proceso actual (Manual).	0,07	+	+	0	
RD3	Que la operación del equipo no sea complicada.	0,32	0	0	0	
RD4	Que el sistema propuesto goce de buena presentación.	0,04	0	0	0	
RD5	Que las actividades de mantenimientos y reparación no sean costos.	0,2	0	+	0	
RD6	Que los tiempos de actividades de mantenimiento y reparación sean cortos.	0,18	0	+	0	
TOTAL			0,07	0,45	0	

Fuente el autor.

Se escogerá El concepto B, para la función sellar tanque 1, ya que tiene la puntuación más alta.

En la siguiente tabla se mencionan los conceptos generados de la función presurizar el sistema 1.

Tabla 15. Conceptos generados de la función presurizar tanque 1.

Función: Presurizar el sistema 1.	
Tubería/manguera control manual	Tubería/manguera control automático

Concepto A	Concepto B
Concepto C	Concepto D

Fuente el autor.

Para la evaluación conceptual de la función presurizar sistema 1, se tomará como punto de referencia el concepto B, y se comparará con el concepto A.

Tabla 16. Evaluación conceptual para la función presurizar tanque 1.

Función		Presurizar el sistema 1.				
Requerimientos		PG	Conceptos			
			A	B	C	D
RD1	Que su costo sea menor \$5.000.000	0,09	+	Concepto de Referencia		
RD2	Que conserve el mismo sistema de control que el proceso actual (Manual).	0,07	+			
RD7	Que se emplee por lo máximo un área de operación equivalente al doble de la actual (5.2 m2).	0,1	+			
TOTAL			0,26			

Fuente el autor.

Se escogerá El concepto A, para la función presurizar sistema 1, ya que tiene la puntuación más alta.

En la siguiente tabla se mencionan los conceptos generados de la función restaurar el tanque 1.

Tabla 17. Conceptos generados de la función restaurar tanque 1.

Función: Restaurar el tanque no 1.	
Golpes con martillo de caucho (manual) tanque fijo	Golpes con martillo de caucho (automática) tanque fijo
Concepto A	Concepto B
Golpes con martillo de caucho (manual) tanque girando	Golpes con martillo de caucho (automática) tanque girando

Concepto C	Concepto D
-------------------	-------------------

Fuente el autor.

Para la evaluación conceptual de la función restaurar el tanque 1, se tomará como punto de referencia el concepto C, y se comparará con los conceptos A, B y D.

Tabla 18. Evaluación conceptual para la función restaurar tanque 1.

Función	Restaurar el tanque no 1.					
	Requerimientos	PG	Conceptos			
A			B	C	D	
RO2	Que el tanque o canecas se mantengan fijos durante el proceso de presurización.	1	0	0	Concepto de Referencia	0
RO3	Que el operador esté lo más seguro posible durante el proceso de restauración (mejor que las condiciones actuales).	1	-	-		-
RD2	Que conserve el mismo sistema de control que el proceso actual (Manual).	0,07	-	-		-
RD5	Que las actividades de mantenimientos y reparación no sean costos.	0,2	+	0		-
RD6	Que los tiempos de actividades de mantenimiento y reparación sean cortos.	0,18	+	-		-
RD7	Que se emplee por lo máximo un área de operación equivalente al doble de la actual (5.2 m2).	0,1	0	0		0
TOTAL			-0,69	-1,25		-1,45

Fuente el autor.

Se escogerá El concepto C, para la función restaurar el tanque 1, ya que la puntuación de los demás conceptos es negativa.

En la siguiente tabla se mencionan los conceptos generados de la función ingresar tanque 2.

Tabla 19. Conceptos generados de la función ingresar tanque 2.

Función: Ingresar tanque no 2.

Manual.	Automática.
Concepto A	Concepto B
Concepto C	Concepto D

Fuente el autor.

Para la evaluación conceptual de la función ingresar tanque 2, se tomará como punto de referencia el concepto B, y se comparará con el concepto A. Los conceptos C y D no aplican para esta función.

Tabla 20. Evaluación conceptual para la función ingresar tanque 2.

Función	Ingresar tanque no 2.					
	Requerimientos		PG	Conceptos		
				A	B	C
RD2	Que conserve el mismo sistema de control que el proceso actual (Manual).	0,07	+	Concepto de Referencia		
RD3	Que la operación del equipo no sea complicada.	0,32	0			
RD4	Que el sistema propuesto goce de buena presentación.	0,04	0			
RD5	Que las actividades de mantenimientos y reparación no sean costos.	0,2	+			
RD6	Que los tiempos de actividades de mantenimiento y reparación sean cortos.	0,18	+			
TOTAL			0,45			

Fuente el autor.

Se escogerá El concepto A, para la función ingresar tanque 2, ya que tiene la puntuación más alta.

En la siguiente tabla se mencionan los conceptos generados de la función sellar tanque 2.

Tabla 21. Conceptos generados de la función sellar tanque 2.

Función: Sellar tanque no 2.	
Tapa-pistón (Manual)	Tapa-tornillo (Manual)

Concepto A	Concepto B
Tapa-pistón (Automática)	Tapa- tornillo (Automática)
Concepto C	Concepto D

Fuente el autor.

Para la evaluación conceptual de la función sellar tanque 2, se tomará como punto de referencia el concepto D, y se comparará con los conceptos A, B y C.

Tabla 22. Evaluación conceptual para la función sellar tanque 2.

Función	Sellar tanque no 2.					
Requerimientos		PG	Conceptos			
			A	B	C	D
RO2	Que el tanque o canecas se mantengan fijos durante el proceso de presurización.	1	0	0	0	Concepto de Referencia
RO3	Que el operador esté lo más seguro posible durante el proceso de restauración (mejor que las condiciones actuales).	1	0	0	0	
RD2	Que conserve el mismo sistema de control que el proceso actual (Manual).	0,07	+	+	0	
RD3	Que la operación del equipo no sea complicada.	0,32	0	0	0	
RD4	Que el sistema propuesto goce de buena presentación.	0,04	0	0	0	
RD5	Que las actividades de mantenimientos y reparación no sean costos.	0,2	0	+	0	
RD6	Que los tiempos de actividades de mantenimiento y reparación sean cortos.	0,18	0	+	0	
TOTAL			0,07	0,45	0	

Fuente el autor.

Se escogerá el concepto B, para la función sellar tanque 2, ya que tiene la puntuación más alta. En la siguiente tabla se mencionan los conceptos generados de la función reutilizar aire comprimido del proceso 1.

Tabla 23. Conceptos generados de la función reutilizar el aire comprimido del proceso 1.

Función: Reutilizar el aire comprimido proceso no 1. (Despresurización)	
Tubería/manguera control manual	Tubería/manguera control automático
Concepto A	Concepto B
Concepto C	Concepto D

Fuente el autor.

Para la evaluación conceptual de la función reutilizar el aire comprimido del proceso 1, se tomará como punto de referencia el concepto B, y se comparará con el concepto A. Los conceptos C y D no aplican para esta función.

Tabla 24. Evaluación conceptual para la función reutilizar el aire comprimido del proceso 1.

Función	Reutilizar el aire comprimido del proceso no 1. (Despresurización)				
Requerimientos	PG	Conceptos			
		A	B	C	D
RO1	Que se pueda reutilizar el aire comprimido de un primer proceso en un segundo proceso.	1	0	Concepto de Referencia	
RD1	Que su costo sea menor \$5.000.000	0,09	+		
RD2	Que conserve el mismo sistema de control que el proceso actual (Manual).	0,07	+		
RD3	Que la operación del equipo no sea complicada.	0,32	-		
RD4	Que el sistema propuesto goce de buena presentación.	0,04	0		
RD5	Que las actividades de mantenimientos y reparación no sean costos.	0,2	+		
RD6	Que los tiempos de actividades de mantenimiento y reparación sean cortos.	0,18	+		
RD7	Que se emplee por lo máximo un área de operación equivalente al doble de la actual (5.2 m2).	0,1	+		
TOTAL			0,32		

Fuente el autor.

Se escogerá El concepto A, para la función reutilizar el aire comprimido del proceso 1, ya que tiene la puntuación más alta.

En la siguiente tabla se mencionan los conceptos generados de la función presurizar tanque 2 de 40 a 80 psi.

Tabla 25. Conceptos generados de la función presurizar el tanque 2 de 40 a 80 psi.

Función: Presurizar tanque 2 de 40 a 80 psi.	
Tubería/manguera control manual	Tubería/manguera control automático
Concepto A	Concepto B
Concepto C	Concepto D

Fuente el autor.

Para la evaluación conceptual de la función presurizar tanque 2 de 40 a 80 psi, se tomará como punto de referencia el concepto B, y se comparará con el concepto A. Los conceptos C y D no aplican para esta función.

Tabla 26. Evaluación conceptual para la función presurizar tanque 2 de 40 a 80 psi

Función	Presurizar tanque 2 de 40 a 80 psi.					
Requerimientos		PG	Conceptos			
			A	B	C	D
RO1	Que se pueda reutilizar el aire comprimido de un primer proceso en un segundo proceso.	1	0	Concepto de Referencia		
RO2	Que el tanque o canecas se mantengan fijos durante el proceso de presurización.	1	0			
RD2	Que conserve el mismo sistema de control que el proceso actual (Manual).	0,07	+			
RD3	Que la operación del equipo no sea complicada.	0,32	0			
RD7	Que se emplee por lo máximo un área de operación equivalente al doble de la actual (5.2 m2).	0,1	+			
TOTAL			0,17			

Fuente el autor.

Se escogerá El concepto A, para la función presurizar tanque 2 de 40 a 80 psi, ya que tiene la puntuación más alta.

En la siguiente tabla se mencionan los conceptos generados de la función restaurar el tanque 2.

Tabla 27. Conceptos generados de la función restaurar el tanque 2.

Función: Restaurar el tanque no 2.	
Golpes con martillo de caucho (manual) tanque fijo	Golpes con martillo de caucho (automática) tanque fijo
Concepto A	Concepto B
Golpes con martillo de caucho (manual) tanque girando	Golpes con martillo de caucho (automática) tanque girando
Concepto C	Concepto D

Fuente el autor.

Para la evaluación conceptual de la función restaurar el tanque 2, se tomará como punto de referencia el concepto B, y se comparará con los conceptos A, C y D.

Tabla 28. Evaluación conceptual para la función restaurar el tanque 2.

Función	Restaurar el tanque no 2.					
	Requerimientos	PG	Conceptos			
			A	B	C	D
RO2	Que el tanque o canecas se mantengan fijos durante el proceso de presurización.	1	0	Concepto de Referencia	0	0
RO3	Que el operador esté lo más seguro posible durante el proceso de restauración (mejor que las condiciones actuales).	1	-		+	+
RD2	Que conserve el mismo sistema de control que el proceso actual (Manual).	0,07	+		+	+
RD5	Que las actividades de mantenimientos y reparación no sean costos.	0,2	+		+	-
RD6	Que los tiempos de actividades de mantenimiento y reparación sean cortos.	0,18	+		+	-

RD7	Que se emplee por lo máximo un área de operación equivalente al doble de la actual (5.2 m2).	0,1	-		+	0
TOTAL			-0,65		1,55	0,69

Fuente el autor.

Se escogerá el concepto C, para la función restaurar el tanque 2, ya que tiene la puntuación más alta.

En la siguiente tabla se mencionan los conceptos generados de la función despresurizar todo el sistema (1 y 2).

Tabla 29. Conceptos generados de la función despresurizar sistema 1 y 2.

Función: Despresurizar todo el sistema (1 y 2).	
Tubería/manguera control manual	Tubería/manguera control automático
Concepto A	Concepto B
Concepto C	Concepto D

Fuente el autor.

Para la evaluación conceptual de la función despresurizar todo el sistema (1 y 2), se tomará como punto de referencia el concepto B, y se comparará con el concepto A. los conceptos C y D no aplican para esta función.

Tabla 30. Evaluación conceptual para la función despresurizar sistema 1 y 2.

Función	Despresurizar todo el sistema (1 y 2).					
	Requerimientos	PG	Conceptos			
			A	B	C	D
RO3	Que el operador esté lo más seguro posible durante el proceso de restauración (mejor que las condiciones actuales).	1	0	Concepto de Referencia		
RD2	Que conserve el mismo sistema de control que el proceso actual (Manual).	0,07	+			
RD3	Que la operación del equipo no sea complicada.	0,32	+			

RD7	Que se emplee por lo máximo un área de operación equivalente al doble de la actual (5.2 m2).	0,1	+			
TOTAL			0,49			

Fuente el autor.

Se escogerá el concepto A, para la función despresurizar todo el sistema (1 y 2), ya que tiene la puntuación más alta.

En la siguiente tabla se mencionan los conceptos generados de la función retirar tanque 1.

Tabla 31. Conceptos generados de la función retirar tanque 1.

Función: Retirar tanque no 1.	
Manual.	Automática.
Concepto A	Concepto B
Concepto C	Concepto D

Fuente el autor.

Para la evaluación conceptual de la función retirar tanque 1, se tomará como punto de referencia el concepto A, y se comparará con el concepto B. los conceptos C y D no aplican para esta función.

Tabla 32. Evaluación conceptual para la función retirar tanque 1.

Función	Retirar tanque no 1.					
Requerimientos	PG	Conceptos				
		A	B	C	D	
RD2	Que conserve el mismo sistema de control que el proceso actual (Manual).	0,07	Concepto de Referencia	-		
RD3	Que la operación del equipo no sea complicada.	0,32		0		
RD4	Que el sistema propuesto goce de buena presentación.	0,04		0		

RD5	Que las actividades de mantenimientos y reparación no sean costos.	0,2		-		
RD6	Que los tiempos de actividades de mantenimiento y reparación sean cortos.	0,18		-		
TOTAL				-0,45		

Fuente el autor.

Se escogerá el concepto A, para la función retirar tanque 1, ya que el concepto B genera un valor negativo.

En la siguiente tabla se mencionan los conceptos generados de la función retirar tanque 2.

Tabla 33. Conceptos generados de la función retirar tanque 2.

Función: Retirar tanque no 2.	
Manual.	Automática.
Concepto A	Concepto B
Concepto C	Concepto D

Fuente el autor.

Para la evaluación conceptual de la función retirar tanque 2, se tomará como punto de referencia el concepto A, y se comparará con el concepto B. los conceptos C y D no aplican para esta función.

Tabla 34. Evaluación conceptual para la función retirar tanque 2.

Función	Retirar tanque no 2.					
Requerimientos	PG	Conceptos				
		A	B	C	D	
RD2	Que conserve el mismo sistema de control que el proceso actual (Manual).	0,07	Concepto de Referencia	-		
RD3	Que la operación del equipo no sea complicada.	0,32		0		
RD4	Que el sistema propuesto goce de buena presentación.	0,04		0		

RD5	Que las actividades de mantenimientos y reparación no sean costos.	0,2		-		
RD6	Que los tiempos de actividades de mantenimiento y reparación sean cortos.	0,18		-		
TOTAL				-0,45		

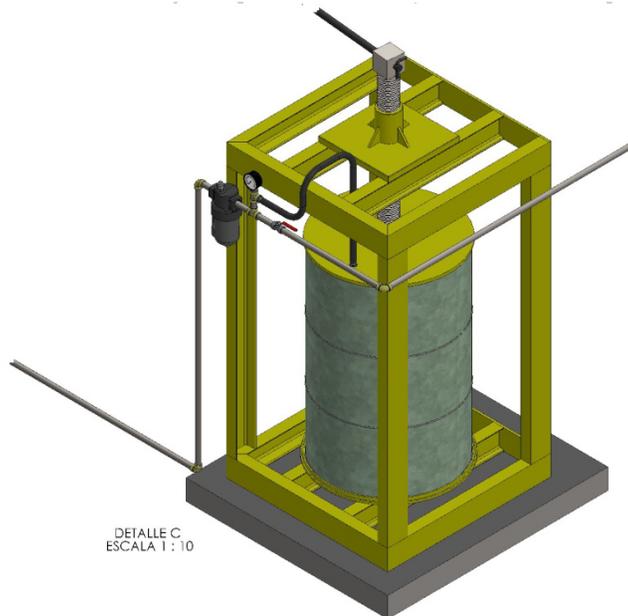
Fuente el autor.

Se escogerá el concepto A, para la función retirar tanque 2, ya que el concepto B genera un valor negativo.

c. Presentación del Diseño del equipo.

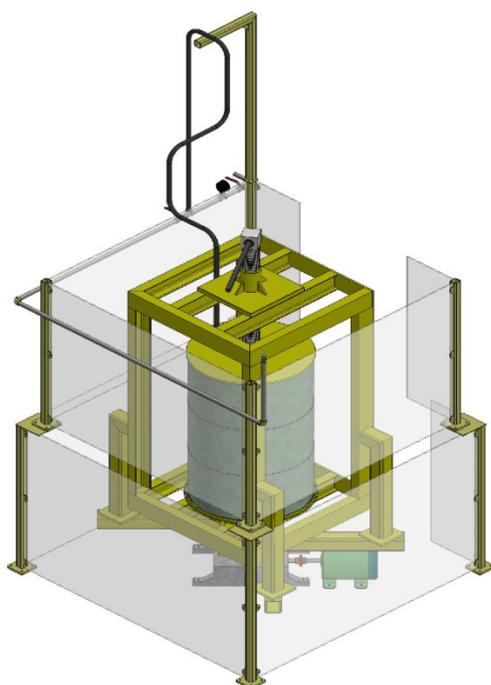
Mediante el desarrollo del diseño conceptual se logra llegar a un concepto global dominante el cual fue el producto de la integración de las soluciones encontradas para cada función analizada, a continuación la presentación del sistema de aire comprimido antes del rediseño y después del mismo.

Figura 17. Sistema de restauración de aire comprimido antes del rediseño.



Fuente el autor.

Figura 18. Sistema de restauración de aire comprimido rediseñado.

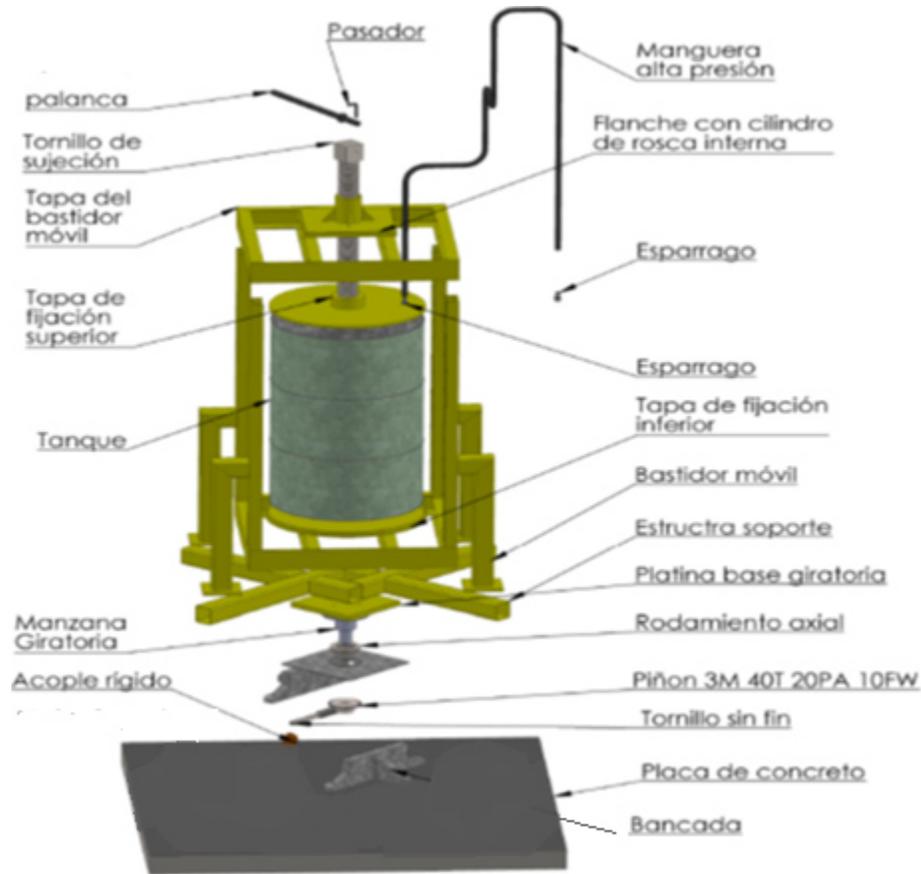


Fuente el autor.

A partir del rediseño, el sistema contará con dos estaciones de restauración de tanques para la agilización del proceso. Las estructuras que sostienen los tanques estarán rodeadas por láminas de fibra Kevlar que harán la función de guardas de seguridad para la protección del operario; en las estructuras solamente estará libre el lugar donde se ubica la persona que lleva el control de la máquina. El operario podrá girar la estructura para supervisar el tanque en todas sus dimensiones mientras está siendo reparado, ya que la estructura no es fija sino que gira manualmente. La manguera que inyecta el aire comprimido al tanque, estará

sostenida por un paral de acero, que permitirá libremente el movimiento del tanque evitando que la manguera obstaculice durante el proceso. Las informaciones técnicas de los nuevos componentes que conforman la estructura serán explicadas posteriormente. En la siguiente ilustración se expresan detalladamente los componentes que conforman la estructura.

Figura 19. Detalle del sistema restaurador mediante aire comprimido.



Fuente el autor.

d. Matriz de fallas.

Una vez identificado los componentes que constituyen el rediseño, el objetivo de este método es poder determinar los componentes críticos mediante el uso de una matriz en la que se comparen los distintos componentes (conceptualizados) y los posibles modos de falla.

Tabla 35. Puntuación para la matriz de fallos y efectos.

Puntuación	Tipo de relación
9	Fuerte
3	Posible
1	Baja

Fuente el autor.

Tabla 36. Matriz de fallas.

Componente/Falla	Importancia	Fuga de aire	Deterior por falta de limpieza y lubricación	corrosión por humedad	Presión de aire inadecuada	Rodamientos defectuosos	Motor quemado	Correas deterioradas o desajustadas	Total	%
Líneas principales de aire comprimido	7	9	1	9					133	12
Unidad de FRL (Filtro Regulador en Línea)	5	3	9	3	9				120	11
Compresores	8	9	3	1	9	1	3	3	320	30
Válvulas neumáticas	3	1	1	9	3				42	3,9
Estructura soporte	7		9						63	5,8
Sujeción manual	7		9	1					70	6,5
Motor y mecanismo bastidor móvil	8		9	1		9	9		224	21
Alimentación eléctrica	5		9	9	1		3		110	10
									1082	

Fuente el autor.

Finalmente, los componentes o sistemas en los que hay que centrar mayormente la atención son respectivamente; líneas principales de aire comprimido, compresores, motor y mecanismos del bastidor móvil, y por parte de control no está demás tener especial cuidado en el presostato. A continuación se procede con el diseño preliminar en donde se estudiarán las fuerzas que intervienen en el proceso, que esfuerzos generan y sus respectivo factor de seguridad.

5.1.3 DISEÑO PRELIMINAR O BÁSICO

Se utilizó un programa de diseño para simular el sistema de restauración de los tanques metálicos y poder identificar las cargas máximas que puede soportar la estructura y garantizar que ninguna de las piezas que conforman este sistema, falle durante la realización del proceso de restauración. También se determinaron los esfuerzos a los que son sometidos el tornillo sin fin y la palanca que ajusta el tanque para mantenerlo fijo durante el proceso de presurización.

A continuación se describirán los resultados de los estudio del factor de seguridad, esfuerzos y deformaciones que intervienen en la estructura que sostiene los tanques. En la siguiente tabla se muestran las propiedades de la pieza.

Tabla 37. Propiedades de la estructura que sostiene los tanques.

Propiedades de material

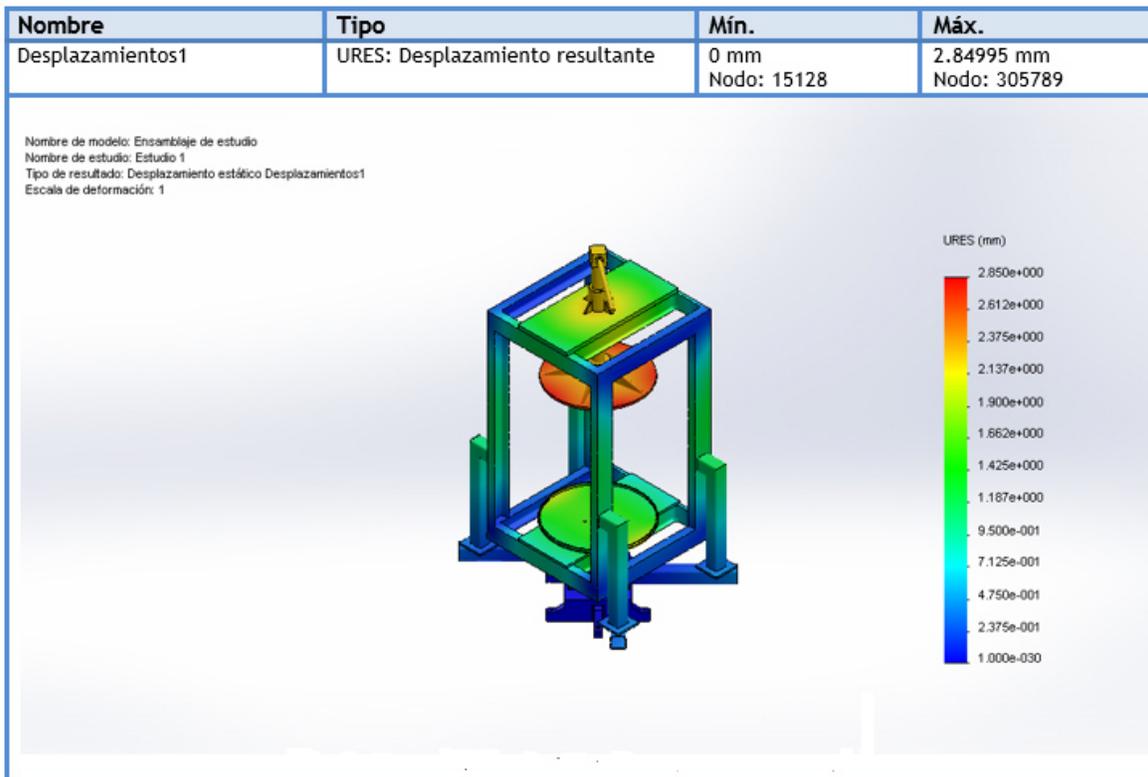
Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: AISI 4340 Acero recocido</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión máxima de von Mises</p> <p>Límite elástico: 4.7e+008 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 7.45e+008 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 2.05e+011 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0.285</p> <p>Densidad: 7850 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 8e+010 N/m²</p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: 1.23e-005 /Kelvin</p>	<p>Sólido 1(Avellanado para tornillo con cabeza plana avellanada de M101)(Base giratoria-1),</p> <p>Sólido 1(Chaflán2)(Base tornillo-1),</p> <p>Sólido 1(Línea de partición1)(Mango o palanca-1),</p> <p>Sólido 1(Simetría21)(Pieza1-1),</p> <p>Sólido 1(Saliente-Extruir2)(Tapa-1),</p> <p>Sólido 1(Chaflán1)(Tornillo-1)</p>
Datos de curva:N/A		

Fuente el autor.

Para la simulación de la pieza se utilizó una carga máxima de 80 psi repartida uniformemente en la tapa inferior y tapa superior que sostiene el tanque durante la operación. Se aplicó un estudio estático con enmallado uniforme y numero de nodos de 107586 (para mayor información revisar anexo 6). Como resultado del estudio se determinó un límite elástico de 470 KPa y límite a tracción de 745 KPa en la estructura que sostiene los tanques.

El resultado del estudio de las deformaciones se puede observar en la siguiente figura.

Figura 20. Resultado del estudio de las deformaciones estáticas en la estructura.

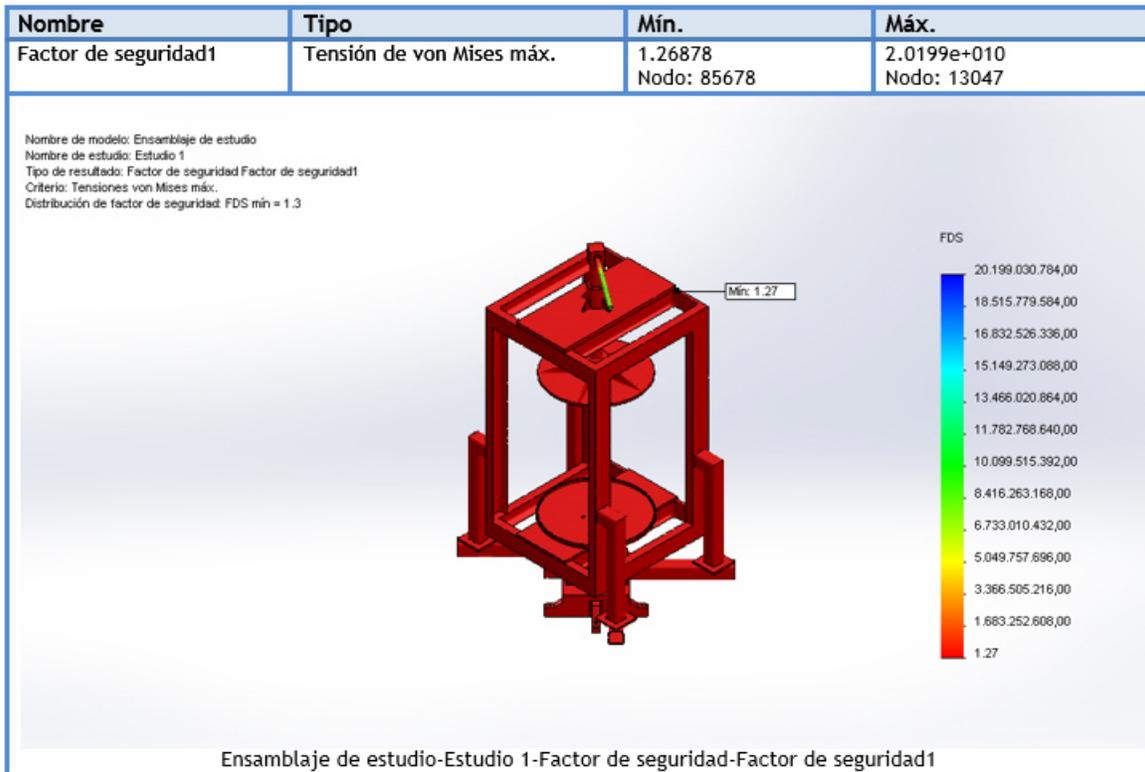


Fuente el autor.

El resultado del estudio estático de la deformación en la estructura, arrojo como resultado un valor máximo de deformación de 2,85 mm el cual no afecta funcionalmente ningún componente de la estructura durante la operación.

En la siguiente figura se puede observar los resultados del estudio del factor de seguridad por medio de von mises.

Figura 21. Resultado del estudio del factor de seguridad por medio de von mises.



Fuente el autor.

El estudio de factor de seguridad se realizó por medio de von mises a partir de las cargas máxima de tensión con un valor de 370 KPa y carga máxima a torsión con un valor de 190 KPa arrojando como resultado un factor de seguridad mínimo de 1,27. Esto indica que toda la estructura trabaja en el rango elástico y no se esperan durante el proceso deformaciones plásticas o permanentes, por lo que el uso en las condiciones de presión máxima en valor de 80 psi, es segura.

A continuación el resultado del estudio de los esfuerzos y deformaciones sometidos en la palanca de ajuste.

Esta pieza se encuentra en la parte superior de la estructura y se utiliza para ajustar el tanque y mantenerlo fijo durante el proceso de presurización. En la siguiente tabla se describen las propiedades de la pieza.

Tabla 38. Propiedades de la palanca de ajuste.

Propiedades de material

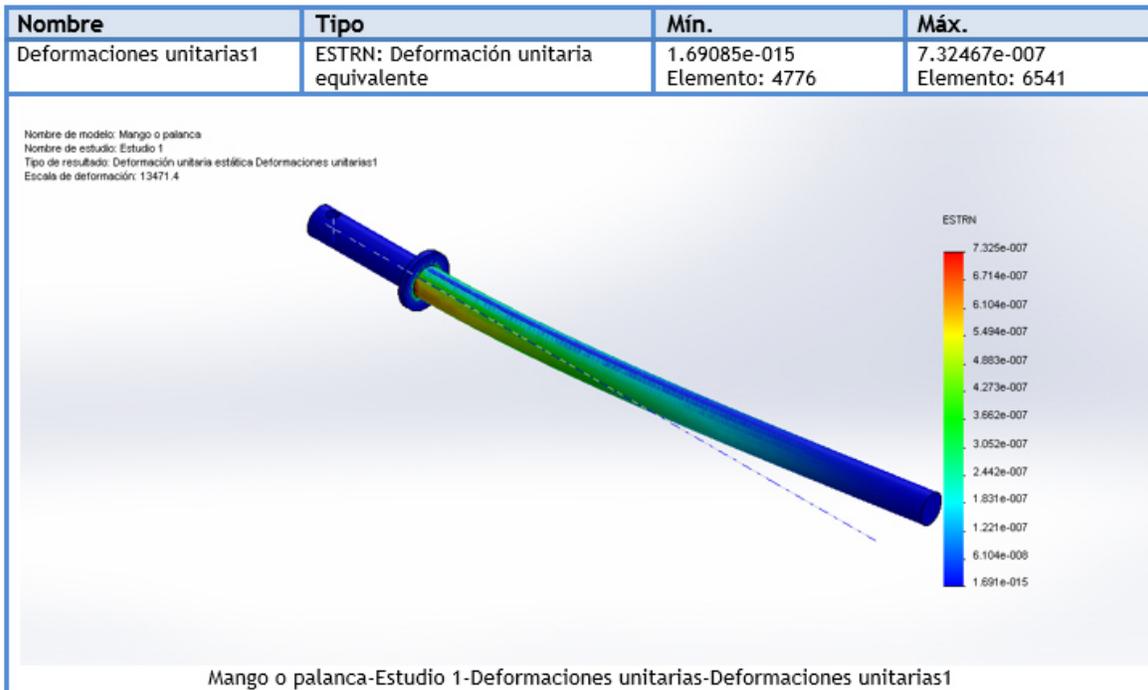
Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: AISI 4340 Acero recocido</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión máxima de von Mises</p> <p>Límite elástico: 4.7e+008 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 7.45e+008 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 2.05e+011 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0.285</p> <p>Densidad: 7850 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 8e+010 N/m²</p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: 1.23e-005 /Kelvin</p>	Sólido 1(Línea de partición1)(Mango o palanca)
Datos de curva:N/A		

Fuente el autor.

Para la simulación de la pieza, se realizó un análisis estático con un tipo de enmallado uniforme y un total de nodos de 38582, aplicando una fuerza normal de 1 N (para mayor información revisar anexo 7). La palanca de ajuste posee un límite elástico de 47 KPa y límite de tracción de 745 KPa.

A continuación los resultados del estudio de la deformación unitaria en la palanca de ajuste.

Figura 22. Resultado del estudio de las deformaciones en la palanca de ajuste.

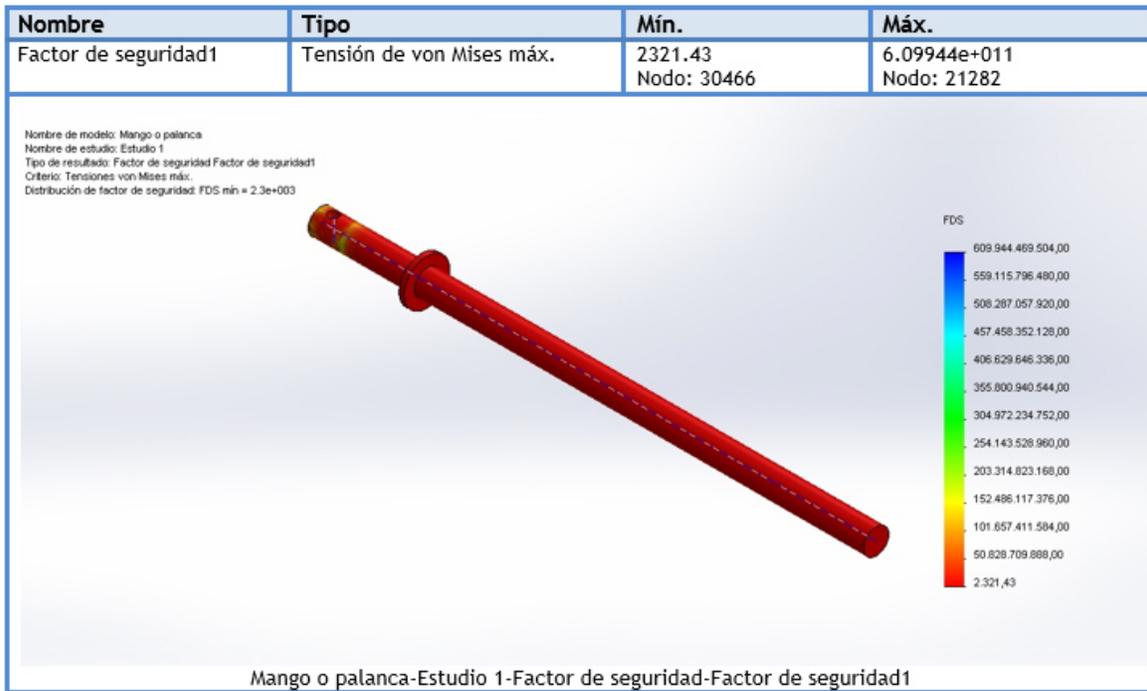


Fuente el autor.

El resultado del estudio estático de la deformación en la palanca de ajuste, arrojo como resultado un valor máximo de deformación de 7,32 mm el cual no afecta funcionalmente ningún componente de la estructura durante la operación.

En la siguiente figura se puede observar los resultados del estudio del factor de seguridad por medio de von mises.

Figura 23. Resultado de estudio del factor de seguridad en la palanca de ajuste.



Fuente el autor.

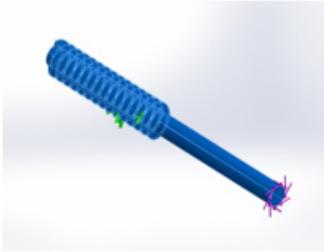
Para la palanca de ajuste el factor de seguridad tendrá un valor mínimo de 2321.43 es un valor demasiado alto lo que significa que es poco probable que la palanca de ajuste falle con la carga normal aplicada de 1 N. Para este caso no se le da mucha importancia al ahorro de material ya que solo se está fabricando una sola pieza y no aumenta de forma relevante el costo del producto, se le da más importancia a la seguridad del operario. Esta carga es la fuerza de apriete manual que utiliza el operario para ajustar el tanque en la estructura y mantenerlo fijo.

A continuación se describirá el resultado de los estudios de fuerzas del tornillo sin fin.

Esta pieza es la que conecta la palanca de ajuste con la tapa superior que sella el tanque. En la siguiente tabla se describen las propiedades de la pieza.

Tabla 39. Propiedades del Tornillo sin fin.

Propiedades de material

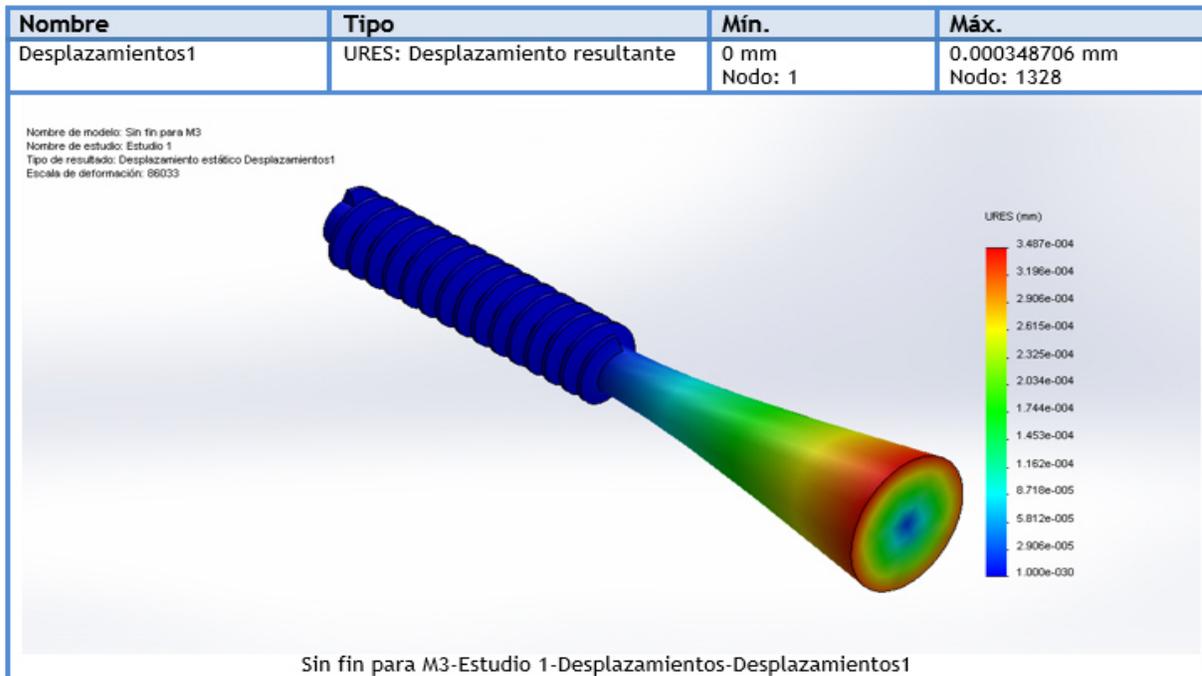
Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: AISI 4340 Acero normalizado</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión máxima de von Mises</p> <p>Límite elástico: 7.1e+008 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 1.11e+009 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 2.05e+011 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0.32</p> <p>Densidad: 7850 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 8e+010 N/m²</p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: 1.23e-005 /Kelvin</p>	Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Sin fin para M3)
Datos de curva:N/A		

Fuente el autor.

Para la simulación de la pieza, se realizó un análisis estático utilizando un tipo de enmallado uniforme con un total de nodos de 15240, aplicando un momento torsor de 0,25 N*m con limite elástico de 71 KPa y limite a tracción de 111 KPa (para mayor información revisar anexo 8).

El resultado del estudio de las deformaciones en el tornillo sin fin se puede observar en la siguiente figura.

Figura 24. Resultado del estudio de las deformaciones en el tornillo sin fin.



Fuente el autor.

El resultado del estudio estático de la deformación en el tornillo sin fin, arrojo como resultado un valor máximo de deformación de 3,48 mm el cual no afecta funcionalmente ningún componente de la estructura durante la operación.

En la siguiente tabla se describe el resultado del factor de seguridad en el tornillo sin fin por medio de von mises.

Figura 25. Resultado del estudio del factor de seguridad en el tornillo sin fin.



Fuente el autor.

El factor de seguridad mínimo para el tornillo sin fin, es de 2012.79 es un valor demasiado alto lo que significa que es poco probable que el tornillo sin fin falle por torsión aplicándole una carga de 0,25 N*m. de igual forma el ahorro de material no es relevante en el diseño de esta pieza.

5.1.4 DISEÑO DE DETALLE

En esta etapa del diseño se detalla cada conexión entre componentes; sus planos y medidas más importantes esto incluye desde cada subsistema (sistema de guardas de protección, mecanismo de giro, sistema de sellado, etc.). Así como también, el conjunto en general con sus respectivas medidas. Adicionalmente, se ha desarrollado un manual de operación y mantenimiento soportado en la matriz de falla analizada en la fase de diseño conceptual.

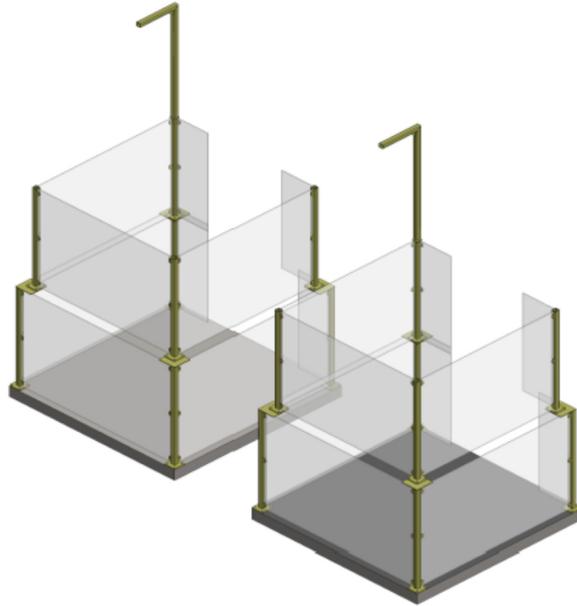
- Guardas de protección del bastidor móvil

Las guardas protectoras láminas de Kevlar (poliparafenileno tereftalamida resistente al impacto y golpes) son muy utilizadas en el campo industrial e ingenieril, ya que compagina la resistencia y su escaso peso con la comodidad y la protección. El Kevlar es cinco veces más resistente que el acero en condiciones de igualdad de peso y puede soportar cinco veces su carga. Debido a su composición química es un material fácil de manejar y es hilado en un nylon altamente resistente, utilizado principalmente en los chalecos de protección antibalas (propiedades mecánicas: Módulo de tracción 59-124 GPa; Resistencia a la tracción 2760 MPa).

Para el diseño de la estructura las láminas inferiores (mayor tamaño) miden 1460X930 mm, las superiores (menor tamaño) miden 1300X930 mm y finalmente las más pequeñas miden 300X930 mm, el espesor general es de 5 mm. (Ver anexo 3).

Los soportes de las láminas inferiores y superiores están diseñados en acero estructural en tubería cuadrada de 40X40X4 mm, con una altura de 942,50 mm. Para soporte de la manguera neumática se ha diseñado un paral en acero estructural en tubería cuadra con las siguientes medidas 40X40X4 mm y una altura de 2030 mm. Ver en la figura 26.

Figura 26. Detalle del sistema de guardas protectoras.



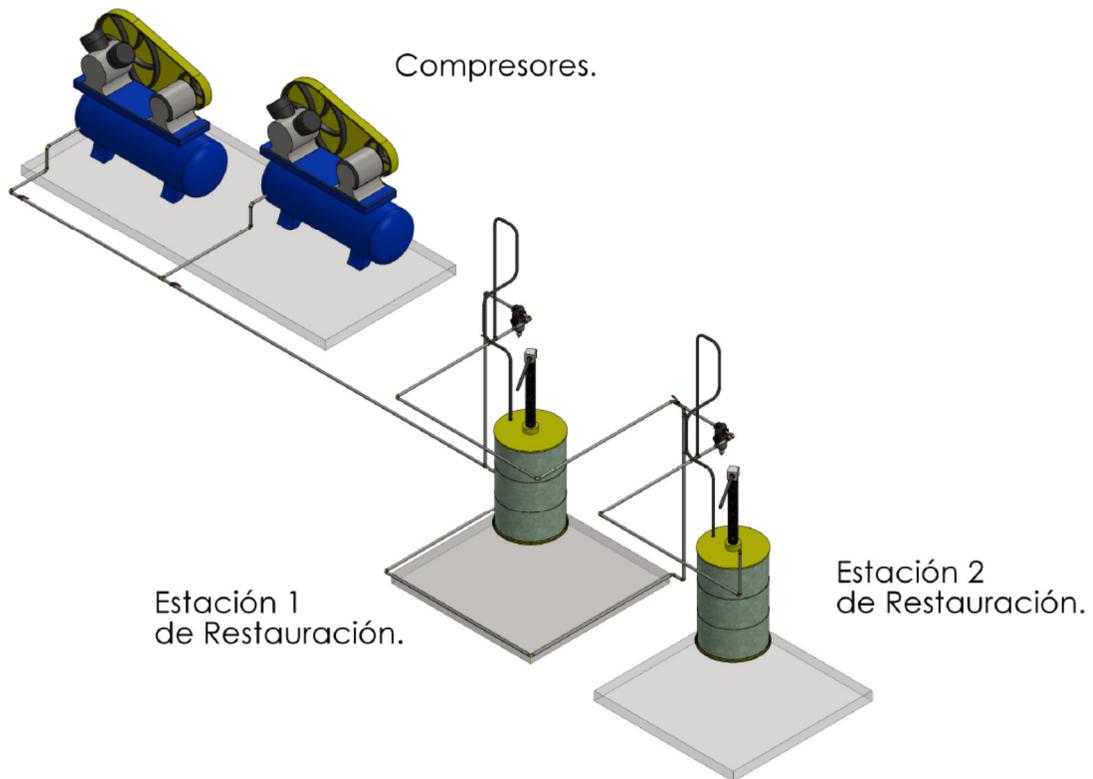
Fuente el autor.

- Líneas de aire comprimido principales

El circuito de aire comprimido está compuesto por una red de tubería y accesorios; codos, T y válvulas de control en acero y de un diámetro de 1/2 in. El aire es filtrado por medio de unos filtros de referencia F17-601-A1HA (drenado automático y con vaso metálico).

El sistema de control se hace por medio de válvulas tipo cierre rápido de 1/2 pulgada y la regulación del sistema por medio de manómetros 0-120 PSI. Finalmente, para una mayor comodidad en los procesos de restauración el llenado de los tanques se realiza por medio de mangueras caucho lona con una presión de trabajo máxima de 250 psi.

Figura 27. Circuito de aire comprimido, vista general.

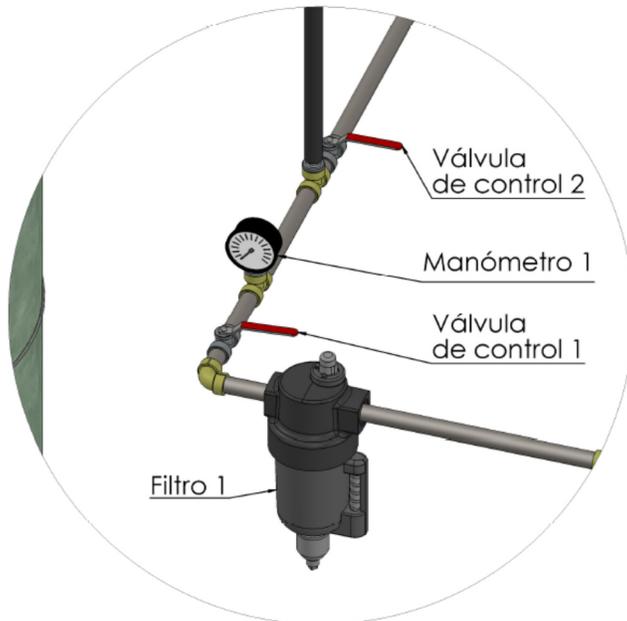


Fuente el autor.

En el gráfico se puede observar el circuito por el cual atraviesa el aire comprimido durante todo el proceso de restauración. La estación 1, es el lugar donde el primer tanque espera para ser reparado. Luego de finalizar esta operación, pasará a la estación 2, que es el lugar donde se ubica el segundo tanque que de igual forma será restaurado. Después de realizar los dos procesos, se abre la válvula de escape para que el aire circule hacia el exterior del sistema.

La estación 1; está conformada por un filtro de aire, la válvula de control 1 que es la encargada de permitir el paso del fluido al tanque 1 para restaurarlo y la válvula de control 2 que permite la circulación del fluido hacia la segunda estación. (Figura 23).

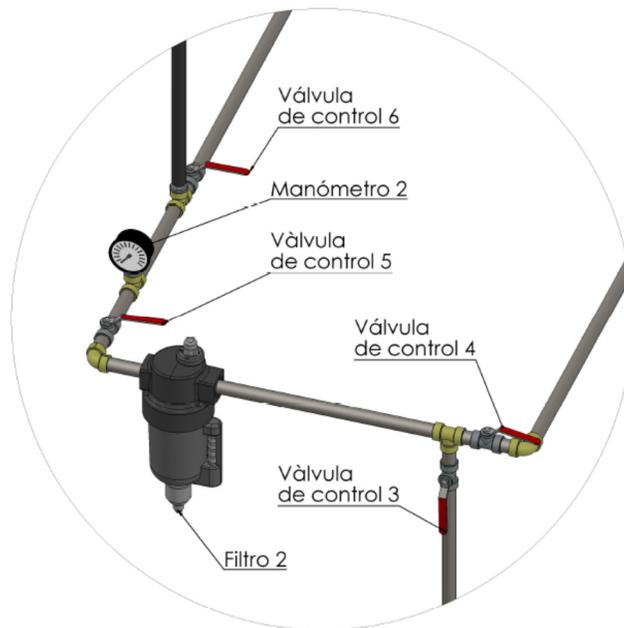
Figura 28. Sistema de control primera estación.



Fuente el autor.

La estación 2, está conformada por un filtro de aire. La válvula de control 4 que permite el paso del fluido que viene circulando del primer tanque hacia el segundo tanque. La válvula de control 3 que cumple la función de retroalimentación. La válvula de control 5 que permite el paso del fluido hacia el segundo tanque para restaurarlo y la válvula de control 6 que permite el escape del aire hacia el exterior de la máquina. (Figura 24).

Figura 29. Sistema de control segunda estación.



Fuente el autor.

5.2 ESTUDIOS Y CÁLCULOS PERTINENTES PARA EL REDISEÑO EN EL SISTEMA DE RESTAURACIÓN

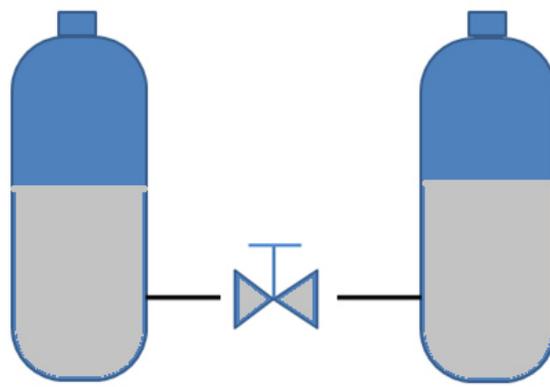
5.2.1 Calculo del tiempo de restauración para el segundo proceso

Como anteriormente fue mencionado, uno de los objetivos del proyecto es reutilizar el aire del primer proceso en un segundo proceso, con el fin de ahorrar consumo de energía aprovechando al máximo los recursos con que cuenta el sistema y evitando el desperdicio de material (aire comprimido). Para poner en marcha esta propuesta es necesario conocer las condiciones en las que se encuentra el sistema y el aire comprimido que fue utilizado después de haber restaurado el primer tanque.

El segundo proceso empieza cuando el operario abre la válvula para que el fluido circule hacia el siguiente tanque. Este sistema de restauración de los tanques metálicos puede considerarse como un sistema cerrado, ya que durante el

proceso no intercambia energía con su exterior, esto quiere decir que la presión y el volumen se mantendrán iguales hasta que el sistema se estabilice. Llegará un momento en que el fluido quedara repartido equitativamente en los dos tanques(figura 25), ya que no se varía la presión, y el volumen del sistema será el doble del valor que fue en el primer proceso. Es necesario llevar la presión del fluido hasta 80 psi para lograr la restauración del tanque.

Figura 30. Aire comprimido repartido en los dos tanques para el segundo proceso.



Fuente el Autor.

Partiendo de esta idea y apoyándose en la ley de Boyle y la ley de los gases ideales (los gases reales como el aire; a presiones y temperaturas cercanas a las ambientales, actúan como gases ideales), se podrá conocer la presión a la cual se encuentra el fluido para el segundo proceso. La ecuación quedara expresada de la siguiente forma:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2.$$

$$P_2 = \frac{P_1 V_1}{V_2} \text{Ecuación 1.}$$

Para esta ecuación se tienen los siguientes valores arrojados por el sistema:

$$P_{manometrica} = 80 \text{ Psi}$$

$$P_1 = P_{atm} + P_{man} \rightarrow P_1 = 94.7 \text{ Psi} \rightarrow 652933.5 \text{ Pa}$$

$$V_1 = 208 \text{ Lts} \rightarrow 0.208 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 416 \text{ Lts} \rightarrow 0.416 \text{ m}^3$$

Reemplazando los valores en la Ecuación 1 se tiene que:

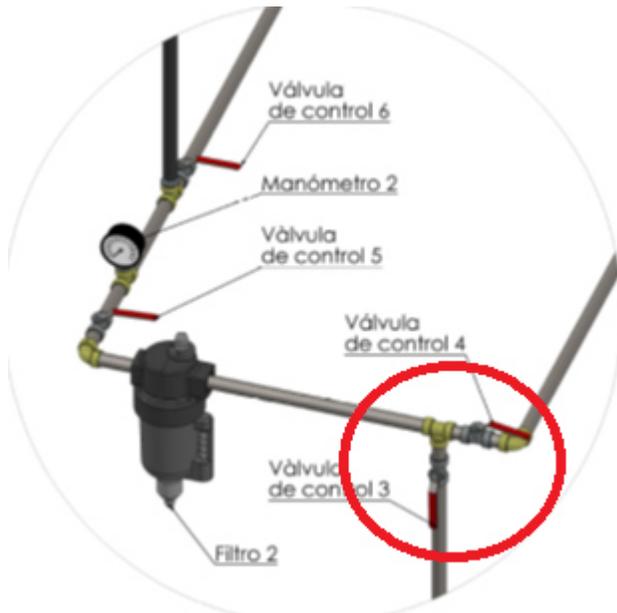
$$P_2 = \frac{(652933.5 \text{ Pa}) \cdot (0.208 \text{ m}^3)}{0.416 \text{ m}^3}$$

$$P_2 = 326466.7 \text{ Pa}$$

Como se puede observar la presión del fluido se reduce a la mitad cuando pasa al segundo proceso, ya que el fluido es proporcionalmente repartido en los dos tanques.

El aire comprimido que se encuentra reposando en el segundo tanque se puede considerar como ganancia, ya que el sistema no tendrá que empezar nuevamente desde el inicio del proceso, sino que utilizara el aire comprimido que se encuentra dentro del tanque y solo repondrá la cantidad que hace falta para llevar a cabo la restauración. Para reponer la cantidad de presión y de fluido que hace falta, se decidió colocar una retroalimentación, la cual es una tubería directa que va conectada desde que empieza a circular el fluido con la presión inicial que sale de los compresores (160Psi), hasta después de la válvula de control 4 que permite el paso al segundo tanque (Ver en la figura 26). Esta retroalimentación solo va a llenar el tanque con la cantidad de aire comprimido que hace falta.

Figura 31. Tubería de retroalimentación.



Fuente el autor.

Es importante conocer el tiempo que tarda el sistema en reponer la cantidad de aire comprimido que hace falta para que el segundo tanque pueda ser reparado. Este tiempo se puede obtener a través de la siguiente ecuación:

$$m_T = \dot{m}_C \cdot t \text{ Ecuación 2.}$$

Donde:

$m_T = \text{Masa total}$

$\dot{m}_C = \text{Gasto másico}$

$t = \text{Tiempo}$

Inicialmente se hallara la masa total (m_T), luego el gasto másico (\dot{m}_C) y por último se despejara de la ecuación el tiempo (t) para encontrar su valor.

m_T , Se hallara por medio de la siguiente ecuación:

$$\frac{m_T}{2} = m_1 + m_2 \quad \rightarrow \quad m = \frac{V}{v} \text{Ecuación 3.}$$

Donde:

m_1 = Masa de aire del primer tanque

m_2 = Masa de aire del segundo tanque

v = Volumen específico

El volumen específico (v) será igual a:

$$v = \frac{R \cdot T}{P \cdot M} \text{Ecuación 4.}$$

Donde:

R = Constante universal de gas ideal

T = Temperatura (se utilizará la temperatura ambiente $30^\circ\text{C} \rightarrow 303\text{ K}$)

P = Presión

M = Masa molar del gas

Reemplazando en la Ecuación 4 se tiene que:

$$v = \frac{(8.31434 \text{ Pa m}^3 \text{ mol K}) \cdot (303 \text{ K})}{(652933.5 \text{ Pa}) \cdot (28.8 \frac{\text{g}}{\text{mol}})}$$

$$v = 1.3 \times 10^{-04} \frac{\text{m}^3}{\text{g}}$$

$$m_1 = \frac{0.208 \text{ m}^3}{1.3 \times 10^{-04} \frac{\text{m}^3}{\text{g}}}$$

$$m_1 = 1600 \text{ g}$$

Antes de que el segundo tanque sea llenado con aire comprimido se halla m_2 de la misma forma, se asume que la presión en el segundo tanque durante el primer proceso es igual a la P_{atm} , teniendo en cuenta que el segundo tanque no estará totalmente vacío ya que adentro reposa aire atmosférico, antes de ser llenado con el fluido. Por lo tanto:

$$v = \frac{(8.31434 \text{ Pa m}^3 \text{ mol K}) \cdot (303 \text{ K})}{(101352.9 \text{ Pa}) \cdot (28.8 \frac{\text{g}}{\text{mol}})}$$

$$v = 8.6 \times 10^{-04} \frac{\text{m}^3}{\text{g}}$$

$$m_2 = \frac{0.208 \text{ m}^3}{8.6 \times 10^{-04} \frac{\text{m}^3}{\text{g}}}$$

$$m_2 = 241.8 \text{ g}$$

Se reemplaza en la Ecuación 3 para hallar m_T

$$\frac{m_T}{2} = m_1 + m_2$$

$$\frac{m_T}{2} = 1600 \text{ g} + 241.8 \text{ g} \rightarrow m_T = 1841.8 \text{ g}$$

m_T , Es la masa total que tendrá que reponer el sistema para llevar a cabo la restauración del segundo tanque.

Después de haber hallado la masa total se debe hallar el gasto másico (\dot{m}_C), y posteriormente poder determinar el tiempo total que tardara el sistema en recompensarla cantidad de aire comprimido faltante en el segundo tanque.

\dot{m}_C , Se hallara por medio de la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_C = \rho \cdot V \cdot S \quad \text{Ecuación 5.}$$

Donde:

$\rho = \text{Densidad del fluido}$

$V = \text{Velocidad del fluido}$

$S = \text{Área de la tubería}$

Inicialmente se determinan los valores de las variables que intervienen en la ecuación del gasto másico.

La densidad (ρ) del fluido se hallara de la siguiente forma:

$$\rho = \frac{1}{v} \text{Ecuación 6.}$$

$$\rho = \frac{1}{1.5 \times 10^{-04} \frac{m^3}{g}} \rightarrow \rho = 1177.8 \frac{m^3}{g}$$

Luego se halla el área de la tubería (S):

La tubería es de 1/2" diámetro nominal Sch 40

El diámetro nominal de 1/2 pulgada Schedule 40 corresponde a un diámetro de 0,622" = 15.8mm → 0.0158 m

Tabla 40. Diámetros nominales-Schedule

Tubería en acero

LINE PIPE - TUBING - CASING
TUBERIA ACERO AL CARBON SCH 20, 30, 40, 60, 80, 120, 160
ASTM A500 - ASTM A53 - ASTM A106 - API 5L - GRADOS A, B, C, X42, X65, X80

ESPECIFICACIONES TUBERIA LINE PIPE								
Diámetro Nominal	Cédula Calibre	Diámetro Ext.		Diámetro Int.		Espesor		Peso Kg x Mt
		Pulg.	m.m.	Pulg.	m.m.	Pulg.	m.m.	
1/8"	40	0.405"	10.29	0.269"	6.83	0.068"	1.73	0.357
	70	0.405"	10.29	0.215"	5.46	0.095"	2.41	0.461
1/4"	40	0.540"	13.72	0.364"	9.25	0.088"	2.24	0.625
	80	0.540"	13.72	0.302"	7.67	0.119"	3.02	0.804
3/8"	40	0.675"	17.15	0.493"	12.52	0.091"	2.31	0.846
	80	0.675"	17.15	0.439"	10.74	0.126"	3.20	1.101
1/2"	40	0.840"	21.34	0.622"	15.80	0.109"	2.77	1.265
	80	0.840"	21.34	0.546"	13.87	0.147"	3.73	1.622
	160	0.840"	21.34	0.466"	11.84	0.167"	4.75	1.935
	XXS	0.840"	21.34	0.252"	6.40	0.294"	7.47	2.544
	40	1.050"	26.67	0.824"	20.93	0.113"	2.87	1.682

Fuente. Moot, R. (2006). Mecanica de fluidos. New jersey: PEARSON Prentice Hall.

$$S = 2\pi (r) \times h \rightarrow S = 2\pi (7.9 \times 10^{-3} m) \times (4m)$$

$$S = 0.19 m^2$$

Para hallar la velocidad del fluido se utiliza la ecuación del caudal:

$$Q = S \cdot V$$

$$V = \frac{Q}{S} \text{ Ecuación 7.}$$

Donde:

$Q = \text{Caudal del fluido}$

$S = \text{Área transversal de la tubería}$

$V = \text{Velocidad del fluido}$

$$Q = 0.58 \frac{m^3}{min} \text{ (dato ofrecido por la tabla del compresor)}$$

$$V = \frac{0.58 \frac{m^3}{min}}{0.19 m^2}$$

$$V = 3.05 \text{ m/min}$$

Se reemplaza en la Ecuación 5:

$$\dot{m}_C = \rho \cdot V \cdot S$$

$$\dot{m}_C = \left(1177.8 \frac{m^3}{g} \right) \cdot \left(3.05 \frac{m}{min} \right) \cdot (0.19 m^2)$$

$$\dot{m}_C = 682.53 \text{ g/min}$$

Finalmente se determina el tiempo que tarda el sistema en reponer el flujo de aire que se requiere para la restauración de los tanques, reemplazando los valores en la Ecuación 2:

$$m_T = \dot{m}_C \cdot t$$

Despejando el tiempo, la ecuación quedara expresada de la siguiente forma:

$$t = \frac{m_T}{\dot{m}_C} \rightarrow t = \frac{913.1 \text{ g}}{682.53 \text{ g/min}}$$

$$t = 1.33 \text{ min} \rightarrow t = 80 \text{ seg}$$

Este valor es el tiempo que tarda el sistema en reponer la cantidad de aire comprimido faltante, para llevar a cabo el proceso de presurización en el segundo tanque.

También se puede calcular el trabajo requerido para comprimir una unidad de masa de aire y posteriormente la potencia generada por el compresor. Se podrá determinar mediante la siguiente ecuación:

$$W_{comp,entrada} = \frac{nRT_1}{n_{comp}(n-1)} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \text{Ecuación 8.}$$

Donde n es el exponente politrópico de compresión ($n = 1,4$ cuando la compresión es isentrópica y $1 < n < 1,4$ cuando hay enfriamiento) y n_{comp} es la eficiencia del compresor, cuyo valor normalmente está entre 0.7 y 0.9.

Se reemplaza en la ecuación 8, se tiene que:

$$W_{comp,entrada} = \frac{(1,4)(0,287 \text{ KJ/kg K})(303 \text{ K})}{(0,8)(1,4 - 1)} \left[\left(\frac{551,80 \text{ KPa}}{101 \text{ KPa}} \right)^{0,4/1,4} - 1 \right]$$

$$W_{comp,entrada} = 231,533 \text{ KJ/Kg}$$

Para determinar la potencia del compresor se utiliza la siguiente ecuación:

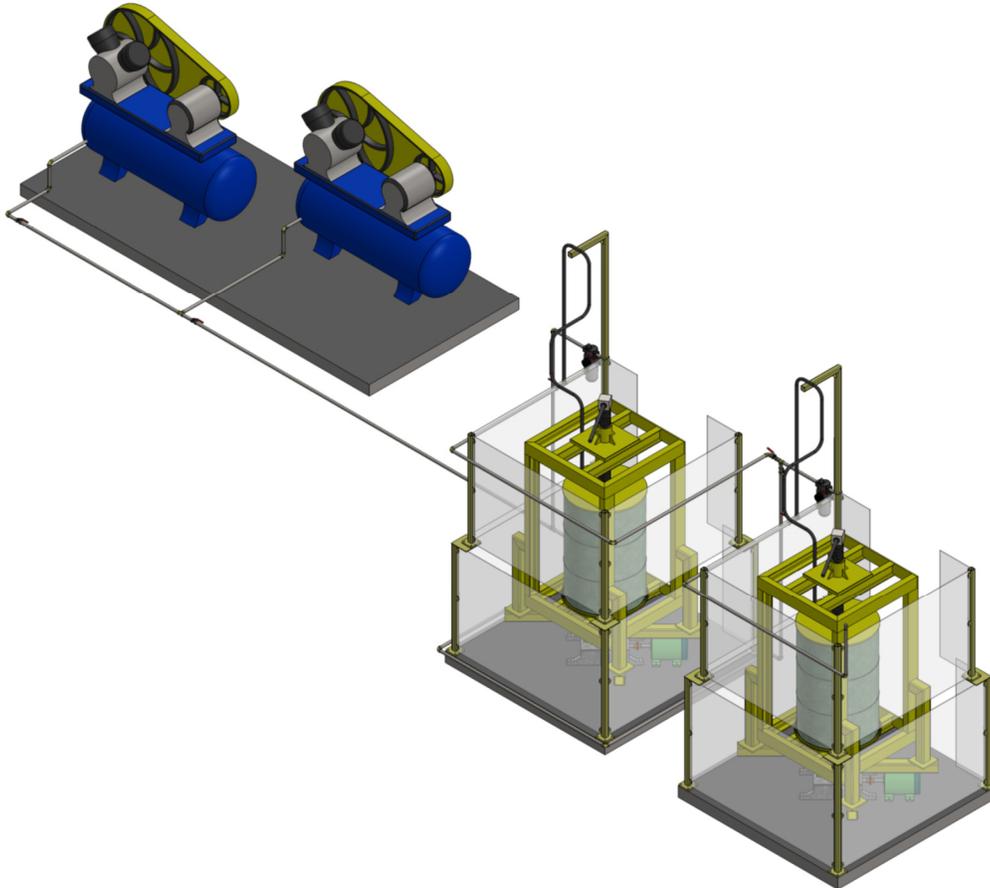
$$\text{Potencia} = \dot{m}_c * W_{comp,entrada} \text{Ecuación 9.}$$

$$\text{Potencia} = (40,951 \text{ Kg/ hr})(231,533 \text{ KJ/Kg})$$

Potencia = 9481,50 KJ → 2,6 Kw/hr

En la siguiente imagen se puede observar una ilustración del sistema rediseñado totalmente.

Figura 32. Prototipo del sistema de rasuración de los tanques rediseñado.



Fuente del autor.

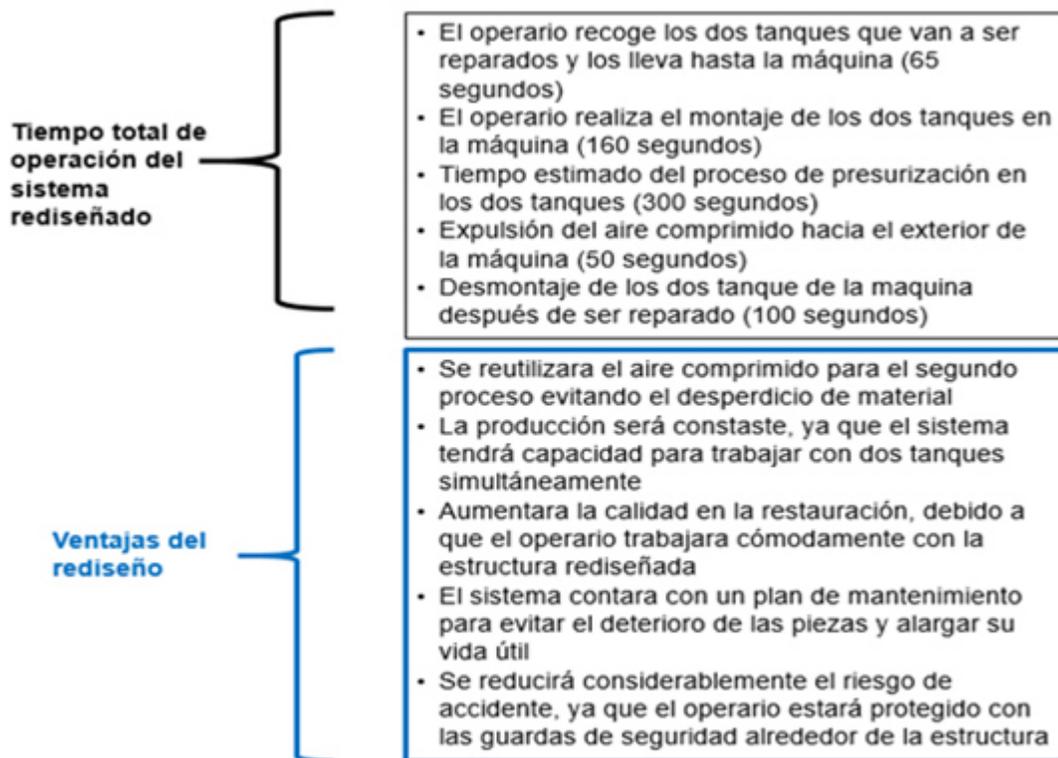
5.2.2 Ganancias del sistema rediseñado

Para determinar las ganancias que obtuvo el sistema con el nuevo rediseño, se describirá inicialmente una lista detallada con las actividades que intervienen en el nuevo mecanismo y el tiempo total que tardará el proceso en restaurar los dos tanques metálicos. Luego se realizara una comparación con el sistema anterior,

analizando los tiempos de producción y las ventajas que le ofrece a la empresa este nuevo sistema.

Las actividades que se desarrollan en el proceso siguen siendo iguales cambiando solamente el tiempo de duración, ya que el sistema trabajará con dos tanques simultáneamente. El tiempo estimado del proceso de presurización en los dos tanques se determinó por medio de la suma del tiempo anterior que tardaba el sistema en llenar con aire comprimido un tanque más el tiempo que tarda el nuevo sistema en reponer el aire comprimido faltante para la restauración del segundo tanque. Esta suma da un valor de 280 segundos pero se hace un estimado de 300 segundos teniendo en cuenta que el sistema tendrá que estabilizarse previamente al pasar del primer proceso al segundo proceso. La lista de actividades se describe en la figura 33.

Figura 33. Descripción del funcionamiento del sistema después del rediseño.



Fuente el autor.

A partir de la suma de los tiempos que tarda cada actividad, se calcula que el tiempo total de operación del sistema rediseñado es de 685 segundos o 11.4 minutos. Este será el tiempo total que tardará el sistema en restaurar dos tanques metálicos simultáneamente.

Anteriormente el sistema tardaba 7.5 minutos en restaurar un tanque, por lo tanto para reparar dos tanques tardaba 15 minutos. Entonces, su aumento de productividad en comparación al sistema anterior es:

$$\frac{(15 \text{ minutos} - 11.4 \text{ minutos})}{15 \text{ minutos}} = 0.24 \rightarrow 24\%$$

La empresa compra los tanques metálicos para su producción por un valor aproximadamente de \$5.000 c/u dependiendo el estado en que se encuentren. Luego de que son remanufacturados, los tanques son comercializados por la empresa por un valor de \$15.000 c/u. La empresa trabaja 16 horas diarias durante los 30 días del mes y produce 3840 tanques metálicos (valor estipulado a través del tiempo de restauración de cada tanque por las horas de trabajo mensuales en que funciona la empresa), lo que genera un ingreso de capital a la empresa de \$38.400.000 al mes, descontando la inversión inicial por la compra de la materia prima que en este caso son los tanques usados.

Con el rediseño del sistema la empresa logrará producir con las mismas horas de trabajo 5052 tanques metálicos al mes, ya que el proceso y el método de trabajo será más eficiente, disminuyendo el tiempo que tarda el sistema en restaurar una cantidad determinada de tanques como se mostró anteriormente. Generando un ingreso de \$50.520.000 mensuales.

La diferencia entre los dos casos es de \$12.120.000 la cual es una cifra considerable que proporciona el rediseño del sistema de restauración, y se puede

establecer como la ganancia a la empresa en términos monetarios y de producción.

También es cierto que existirá una ganancia en cuanto a consumo de energía ya que el tiempo que disminuyo el sistema en restaurar los tanques se verá reflejado en el ahorro de energía. En la siguiente tabla se muestran los beneficios comparando el sistema anterior con el sistema rediseñado en cuanto a tiempos de producción y ahorra en consumo de energía monetariamente.

Tabla 41. Ilustración comparativa del tiempo de producción y consumo de energía.

	No. TANQUES REPARADOS	DURACION DEL PROCESO	CONSUMO DE ENERGIA (Kw/hr)	CONSUMO DE ENERGIA (\$)
SISTEMA ANTES DEL REDISEÑO	117	16 Horas	36,57 Kw/hr	\$12.094
SISTEMA REDISEÑADO	117	11,1 Horas	25,53 Kw/hr	\$8.443

- El compresor enciende dos veces en una hora de trabajo y tarda 10 min en cargarse de aire comprimido.
- El valor que establece la empresa encargada del suministro de energía en la ciudad de Barrnauilla es de \$ 330.73 por Kw consumido.

Fuente el autor.

Como se puede observar en el anterior ejemplo, la diferencia entre el sistema anterior y el sistema rediseñado en cuanto a consumo de energía en términos de capital es de \$ 3.651, por lo tanto se puede llegar a la conclusión de que el sistema rediseñado ahorra el 30% en consumo de energía en comparación al sistema anterior.

A partir de las ganancias antes mencionadas en producción y ahorro en el consumo de energía se puede establecer que el dinero que será invertido en la realización del rediseño por valor de \$ 5.000.000 será retornado a la empresa en menos de un mes, ya que las ganancias mensuales superan considerablemente este valor de inversión.

6. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

6.1. CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD Y PRECAUCIONES DEL SISTEMA REDISEÑADO

- Asegúrese que ningún cable de electricidad esté descubierto y haciendo contacto con la estructura metálica.
- Es preferible no usar ropa holgada, ya que se corre el riesgo de enredarse con algún elemento del sistema mientras se esté operando.
- Asegúrese de remover la corriente eléctrica cuando se programen actividades de mantenimiento.

6.2. OPERACIÓN DEL EQUIPO

El Proceso de restauración de tanques básicamente depende de la configuración que se le da al control de válvulas, es decir, el direccionamiento del aire comprimido. Para poder garantizar un buen proceso se han establecido unos estados a apertura o cierre total de los accesorios de control, a continuación mediante tablas se imparte una guía a la hora de operar el Sistema de aire comprimido.

Tabla 42. Estado de las válvulas de control en el proceso de restauración de tanques y canecas metálicas estación 1.

PROCESO DE RESTAURACIÓN PRIMERA ESTACIÓN.		
Ítem	Válvulas	Estado
1	A1	ON

2	A2	ON
3	V. Control 1	ON
4	V. Control 2	OFF
5	V. Control 3	OFF
6	V. Control 4	OFF
7	V. Control 5	OFF
8	V. Control 6	OFF

Fuente el autor.

Tabla 43. Estado de las válvulas de control en el proceso de reutilización del aire comprimido.

PROCESO DE REUTILIZACIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO PRIMERA ESTACIÓN.		
Ítem	Válvulas	Estado
1	A1	ON
2	A2	ON
3	V. Control 1	OFF
4	V. Control 2	ON
5	V. Control 3	OFF
6	V. Control 4	ON
7	V. Control 5	ON
8	V. Control 6	OFF

Fuente el autor.

Tabla 44. Estado de las válvulas de control en el proceso de restauración de tanques y canecas metálicas estación 2.

PROCESO DE RESTAURACIÓN SEGUNDA ESTACIÓN.		
Ítem	Válvulas	Estado
1	A1	ON
2	A2	ON
3	V. Control 1	OFF
4	V. Control 2	OFF
5	V. Control 3	ON
6	V. Control 4	OFF
7	V. Control 5	ON

Fuente el autor.

6.3. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO Y SERVICIO

Las tareas de mantenimiento preventivo son rutinas o actividades que se deben hacer de acuerdo a una frecuencia específica establecida por el fabricante del equipo o por la experiencia en servicio del mismo en un determinado proceso y contexto operacional.

A continuación se detallan las principales actividades correspondientes a cada subsistema del Sistema de alta presión para restauración de tanque y canecas metálicas.

6.3.1. Circuito o red neumática y sistema de control

Para la verificación e inspección periódicas de un sistema neumático, a las partes siguientes del sistema se les debe dar más importancia sobre las otras, ya que éstas constituyen áreas con más propensión a presentar problemas. A continuación una lista de priorización:

Tabla 45. Subsistemas cuya probabilidad de falla es más alta y requieren mayor cuidado.

1	Líneas principales del aire, líneas en general, accesorios.
2	Unidad de acondicionamiento de aire, FRL.
3	Válvulas de conexión y desconexión de la línea.
4	Válvulas neumáticas de control.
5	Cilindros y motores neumáticos.
6	Elementos de transmisión neumática.
7	Accesorios neumáticos y otros componentes asociados.

Fuente el autor.

Basado en la anterior jerarquía y en las necesidades reales de la planta se formularon las siguientes actividades con sus respectivas frecuencias de ejecución:

Tabla 46. Actividades de mantenimiento preventivo en líneas principales y accesorios de aire comprimido.

A	Líneas principales del aire, líneas en general y accesorios.	
No.	ACTIVIDADES	Frecuencia
1	Detección y supresión de las fugas de aire.	Mensual
2	Inspección completa de todo el sistema de líneas.	Anual
3	Inspecciones de uniones y accesorios como T, acoplamientos, codos, etc.	Trimestral

4	Determinación de la presión en puntos estratégicos.	Trimestral
5	Inspección en Trampas de condensado.	Diario
6	Inspección en Drenaje automático del condensado.	Trimestral

Fuente el autor.

Tabla 47. Actividades de mantenimiento preventivo en Unidad de FRL.

B Unidad de FRL.		
No.	ACTIVIDADES	Frecuencia
1	Detección y supresión de las fugas de aire.	Diario
2	Drenar el condensado del filtro.	Diario
3	Limpieza del cartucho filtrante.	Semestral
4	Determinación de la presión del regulador de presión.	Mensual
5	Calibrar el manómetro.	Semestral
6	Limpieza del tazón del filtro y del tazón de la aceitera.	Anualmente
7	Recuperar el nivel del aceite.	Semanal
8	Limpiar el paso del chorro de aceite.	Semestral
9	Detención de fugas de aceite.	Trimestral
10	Ajustar el chorro de aceite.	Según se necesite
11	Cambiar el aceite después de una limpieza completa del tazón.	Anual

Fuente el autor.

Tabla 48. Actividades de mantenimiento preventivo en Válvulas neumáticas y dispositivos de control.

C Válvulas neumáticas y dispositivos de control.		
No.	ACTIVIDADES	Frecuencia
1	Fugas posibles de aire y su supresión.	Mensual
2	Verificación de la falla posible del sello.	Semestral
3	Inspeccionar los elementos de actuación.	Semestral
4	Verificar el ajuste de la válvula.	Semestral
5	Verificar el solenoide y su parámetro eléctrico.	Mensual
6	Verificar resortes y actuadores de las válvulas.	Anual
7	Daños mecánicos a las válvulas y sus piezas.	Anual

Fuente el autor.

6.3.2. Elementos estructurales

Tabla 49. Actividades de mantenimiento preventivo en guardas de protección.

A Guardas de protección.		
No.	ACTIVIDADES	Frecuencia
1	Limpieza de equipo.	Semanal.
2	Pintar cubierta y estructuras paralelas de soporte.	Trimestral
3	Inspección visual en estructura y elementos de unión.	Semestral

Fuente el autor.

Tabla 50. Actividades de mantenimiento preventivo en Bastidor móvil y de sujeción.

B Bastidor móvil y de sujeción.		
No.	ACTIVIDADES	Frecuencia
1	Limpieza de equipo.	Semanal.
2	Pintar cubierta y estructuras paralelas de soporte.	Trimestral
3	Inspección visual en estructura y elementos de unión.	Semestral
4	Inspección visual en rosca de la tapa de fijación superior.	Semestral
5	Lubricar roscas de la tapa de fijación superior y engranaje-tornillo sin fin.	Semanal

Fuente el autor.

6.3.3. Elemento motriz

Tabla 51. Actividades de mantenimiento preventivo en el Motor del bastidor móvil y mecanismos.

A Motor del bastidor móvil y mecanismos.		
No.	ACTIVIDADES	Frecuencia
1	Inspección visual en dientes de engranaje y tornillo sin.	Semestral
2	Inspección visual en rodamiento de la manzana giratoria	Semestral
3	Cambio de rodamientos del motor.	Anual
4	Barnizar el devanado del motor.	Anual
5	Inspección visual del papel aislante del devanado.	Anual

Fuente el autor.

Tabla 52. Actividades de mantenimiento preventivo en Compresores.

B Compresores.		
No.	ACTIVIDADES	Frecuencia
1	Inspección visual en dientes de engranaje y tornillo sin fin.	Semestral
2	Inspección visual en rodamiento de la manzana giratoria	Semestral
3	Cambio de rodamientos del motor.	Anual
4	Barnizar el devanado del motor.	Anual
5	Inspección visual del papel aislante del devanado.	Anual
6	Limpieza del filtro de aspiración. Jamás activar el compresor sin el filtro, la entrada de cuerpos extraños o polvo pueden originar serios daños a los componentes internos.	Cada 300 horas
7	Cambiar el aceite. No dispersar el aceite en el ambiente proceder con la norma de residuos de mantenimiento. Aceite recomendado para uso general: Aceite mineral 15W-50.	Cada 500 horas.
8	Inspección en la tensión de la correa de transmisión. La correa debe tener una flexión máxima de unos 10 mm y bajo una carga de 3 Kg.	Cada 500 horas.
9	Limpiar las aletas de la polea que refrigera el compresor, de esta forma se garantiza la eficiencia de la máquina.	Semestral
10	Controlar y limpiar las válvulas de aspersion y de impulsión. Controlar la válvula de retención y sustituirla si es necesario. Cambiar empaquetaduras.	Cada dos años.

Fuente el autor.

Tabla 53. Actividades de mantenimiento preventivo en sistema de alimentación eléctrica.

C Sistema de alimentación eléctrica.		
No.	ACTIVIDADES	Frecuencia
1	Limpieza de dispositivos del sistema de control, rutina de apriete y verificación de funcionalidad de elementos.	Quincenal.

Fuente el autor.

Tabla 54. Problemas y soluciones del sistema de alta presión para restauración de tanques metálicos.

Fallas	Causas	Soluciones
Motor está sucio	La ventilación está obstruida, las bobinas del devanado están llenas de polvo o pelusas.	El polvo puede ser producto de cemento, aserrín, carbón, etc. Desarme totalmente el motor, y límpiese bien las bobinas y demás partes. Utilice un buen barniz aislante.
	Las bobinas están atascadas.	
El motor está conectado pero no arranca	Una fase está interrumpida	Revise las líneas para comprobar que no haya líneas interrumpidas.
	Las conexiones del rotor pueden estar defectuosas.	Retírese las terminales y compruébese con un foco de prueba.
El motor arranca para perder velocidad y luego apagarse.	Falla en el suministro de fuerza.	Búsquese conexiones flojas en las líneas, revísense los tacos y los aparatos de control.
El motor no alcanza a levantar velocidad.	El voltaje es muy bajo en las terminales del motor por las caídas de tensión en las líneas.	Elévese el voltaje de los bornes en el transformador, revísese las conexiones secundarias. Búsquese rotura en los anillos de cierre, de existir ésta, sustituya el rotor por uno

	<p>Compruébese si todas las escobillas están rozando sobre los anillos. Barras del rotor rotas,</p> <p>El circuito primario se ha interrumpido.</p>	<p>nuevo, porque las relaciones son de duración general.</p> <p>Revísese con un probador.</p>
El motor tarda mucho en acelerarse.	Líneas defectuosas	Revísese si tiene resistencia demasiado alta.
El motor se sobrecalienta sobre la marcha con carga.	<p>Ventilador inadecuado, puede haber adherencia de suciedad que impiden el flujo adecuado de ventilación.</p> <p>El motor puede tener una fase interrumpida.</p>	<p>Límpiese el ventilador.</p> <p>Revísense las líneas y conexiones para tener la seguridad que todas las terminales estén bien conectadas.</p>
Ruidos de arrastre.	El ventilador roza con el deflector de aire.	Ajústense estos elementos.
	El ventilador golpea contra el aislamiento. La base está floja.	Apriétense las tuercas de los pernos de la base.
Presión muy baja en el sistema.	Fugas excesivas en tubos.	Reemplazar tuberías o accesorios dañados.
	Pistón y anillos gastados.	Reemplazar elementos de desgaste en próximo

		mantenimiento.
	Demanda de mayor capacidad del compresor.	Recalcular consumos.

El compresor sobrecarga el motor.	Tubo de entrega restringido.	Abrir válvulas A1 o A2 según el caso.
	Aceite insuficiente.	Reponer aceite del compresor.
	Presóstato averiado o establecido a una presión más baja de la nominal de operación 120 psi.	Inspeccionar presóstato y reemplazar si es necesario.
	Correas demasiado apretadas.	Ajustar tensión.
	Voltaje muy bajo.	Verificar voltaje.

Fuente el autor.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

El presente trabajo tuvo como finalidad rediseñar el sistema de aire comprimido para la restauración de los tanques metálicos en el mejoramiento continuo de sus procesos productivos, llegando a las siguientes conclusiones:

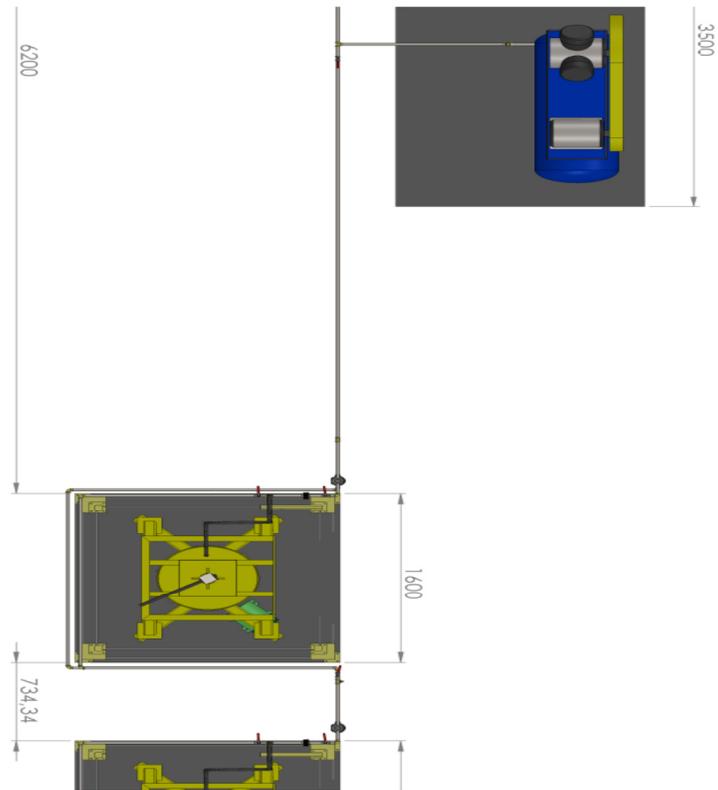
- El nuevo sistema rediseñado disminuirá los tiempos de restauración en los tanques comparándolos con el sistema actual.
- Disminuirá el tiempo en que se despachan los pedidos a los clientes haciendo más eficiente la producción y favoreciendo directamente la rentabilidad de la empresa.
- A partir del rediseño de la estructura metálica mejorará la calidad de restauración en los tanques debido a que el operario se le hará más cómodo trabajar y maniobrar el tanque desde un solo perfil verificando que todas las superficies del tanque están en su forma correcta.
- Con el rediseño del sistema se evitará el desperdicio de material, utilizando al máximo los recursos con que cuenta el sistema y garantizando que la producción no se detenga. Además el sistema contará con un plan de mantenimiento evitando fallas inesperadas en la máquina.
- Aumentará la seguridad del operario al momento de trabajar en la máquina por medio de guardas de seguridad alrededor de la estructura y con el nuevo mecanismo se evitarán riesgos y accidentes por estallido de algún tanque.

Sin duda el rediseño del sistema de aire comprimido traerá beneficios a la empresa no solo en producción, rentabilidad y consumo de energía sino también en seguridad para los operarios los cuales también son favorecidos con este proyecto.

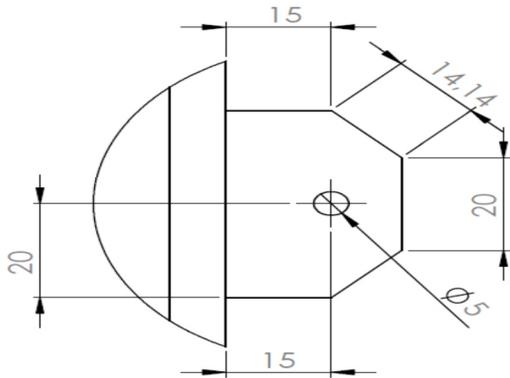
Analizando el proyecto desde otro punto de vista a futuro y como posible mejora para el sistema, podría plantearse la idea de que el sistema fuera totalmente automático donde el operario solamente colocara el tanque y la máquina se encargara de hacer todo el proceso el cual pueda garantizar un mejor desempeño en la producción y además reducir en su totalidad los riesgos de accidentes.

ANEXOS

Anexo 1. Dimensionamiento general de proyecto, medidas en mm.

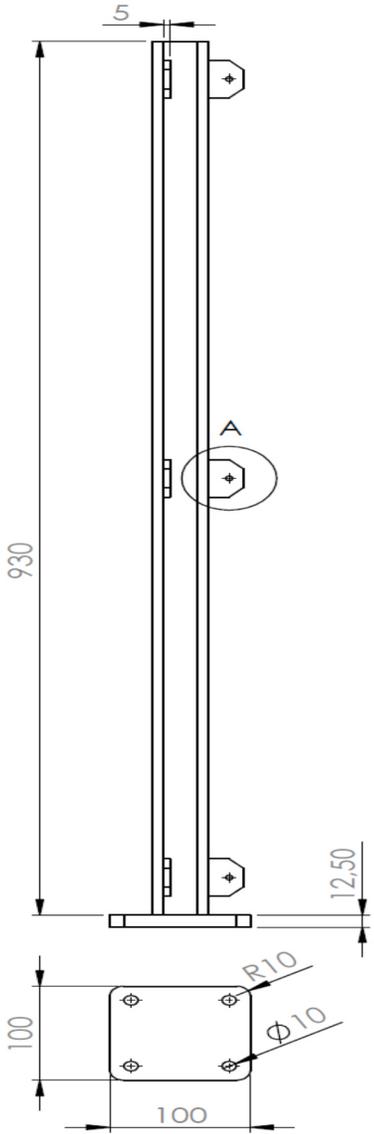


Anexo 2. Detalles del soporte que sostienen las láminas que conforman las guardas de seguridad de la estructura.



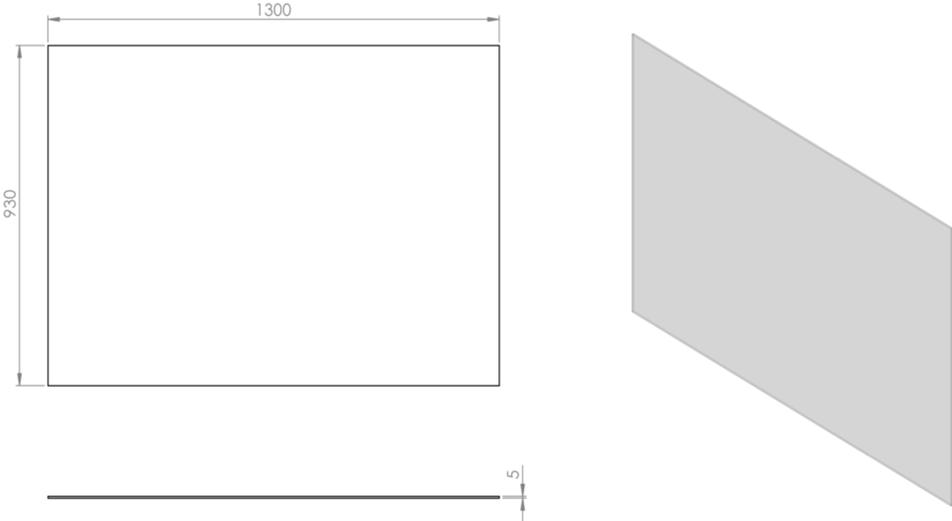
DETALLE A

MEDIDAS EN MM



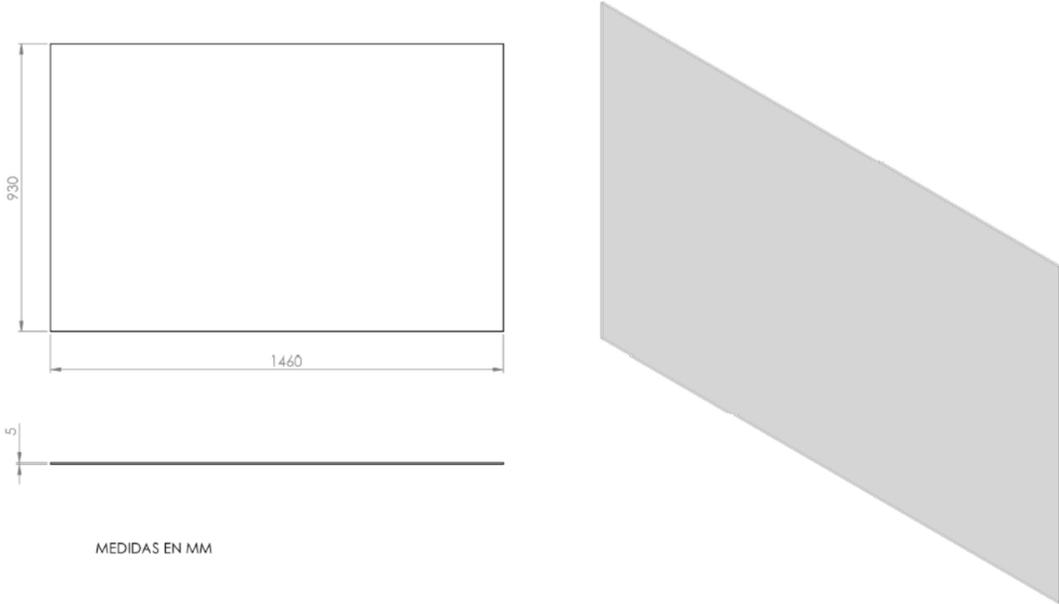
Anexo 3. Detalles de las láminas que conforman las guardas de seguridad de la estructura.

- Detalle Lámina superior.



MEDIDAS EN MM

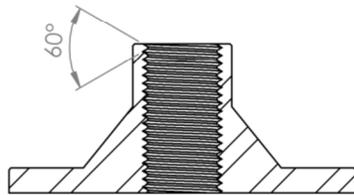
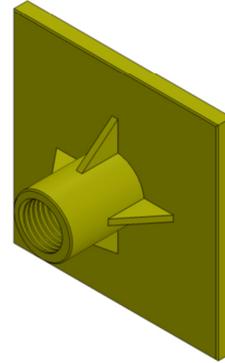
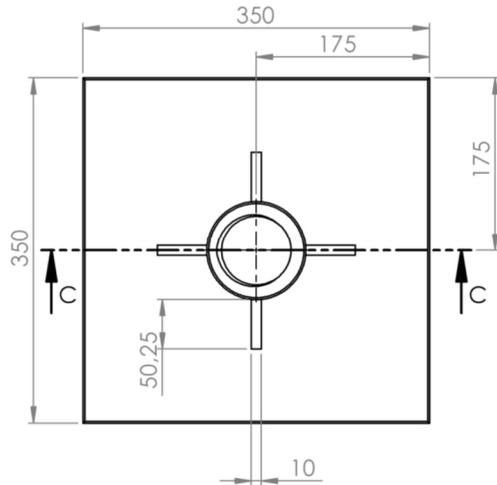
- Detalle Lámina inferior.



MEDIDAS EN MM

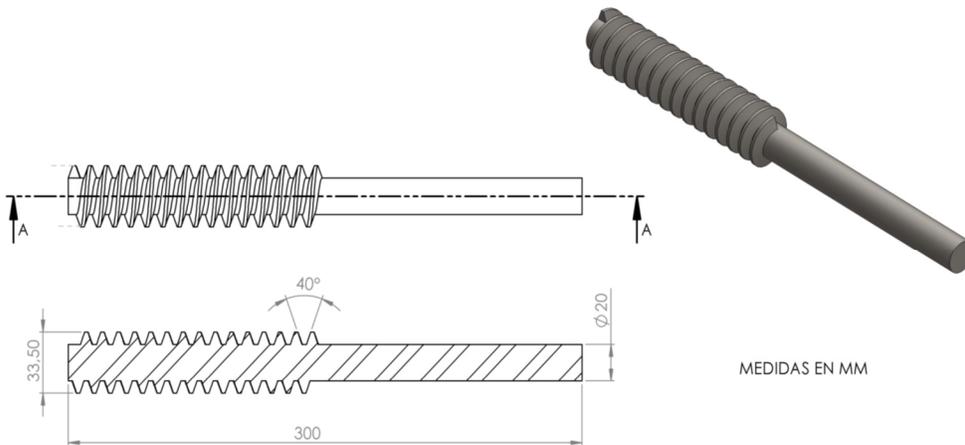
Anexo 4. Detalles del tornillo sin fin.

- Detalle base palanca de sello (Tornillo sin fin).



SECCIÓN C-C
ESCALA 1 : 5

- Detalle Tornillo Rosca a un ángulo de 60°.

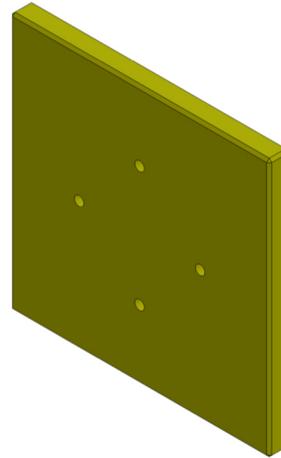
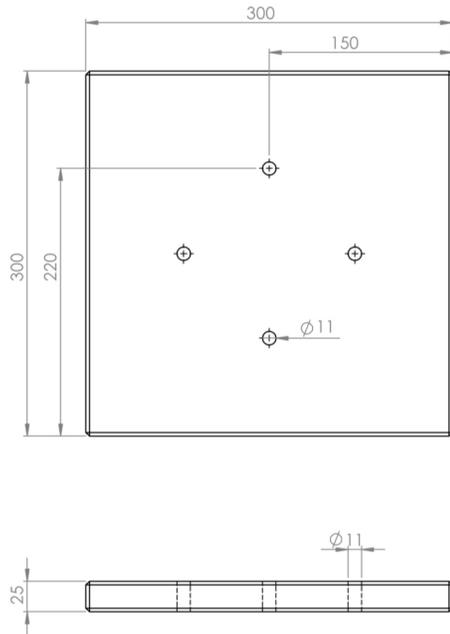


MEDIDAS EN MM

SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 2

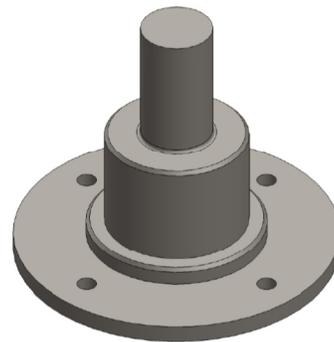
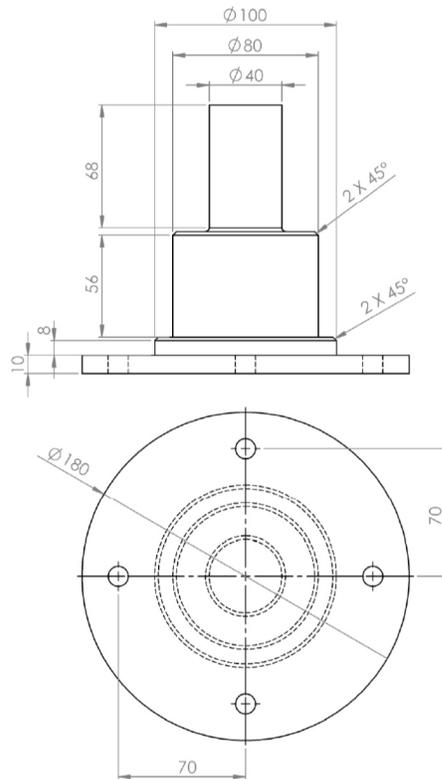
Anexo 5. Detalles manzana giratoria que permite el movimiento de la estructura.

- Detalle Platina base giratoria.



MEDIDAS EN MM

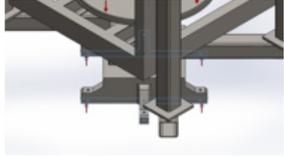
- Detalle manzana giratoria.

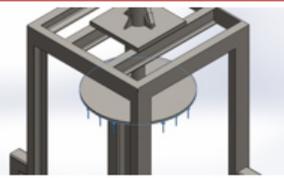
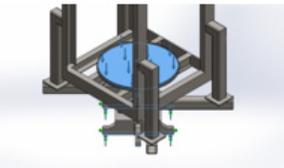


MEDIDAS EN MM

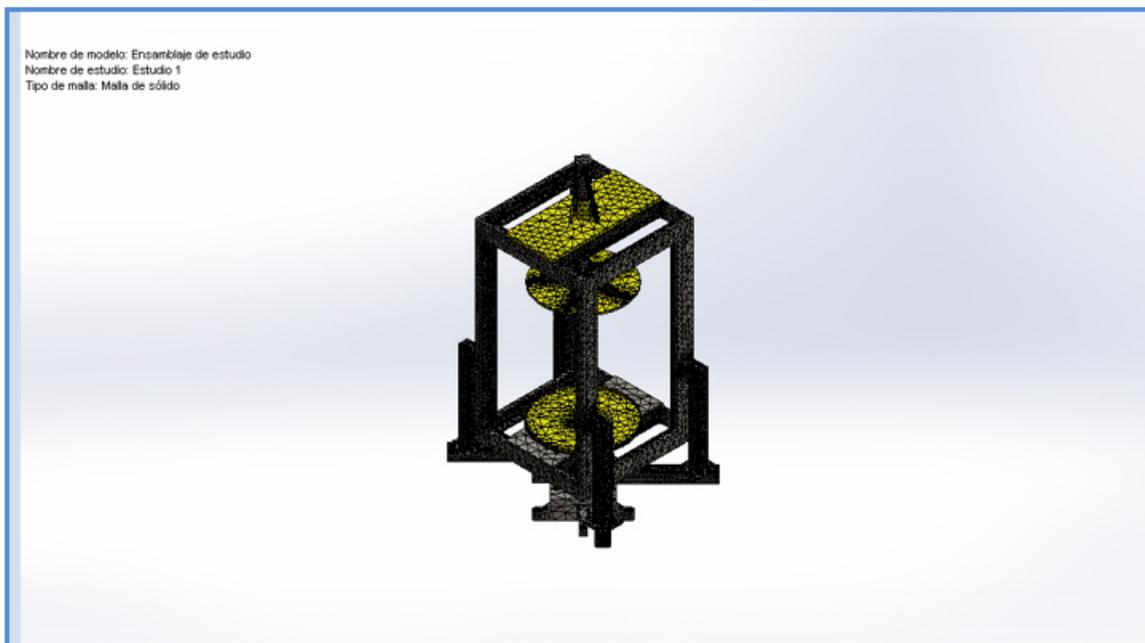
Anexo 6. Detalles de la simulación de la estructura que sostiene los tanques.

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción			
Fijo-1		Entidades: 2 cara(s) Tipo: Geometría fija			
Fuerzas resultantes					
Componentes	X	Y	Z	Resultante	
Fuerza de reacción(N)	0.000274958	-30485.5	-0.000518324	30485.5	
Momento de reacción(N-m)	0	0	0	0	

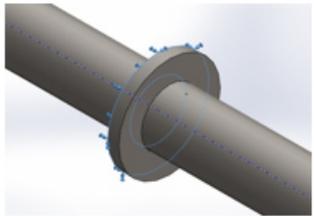
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga			
Presión-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Normal a cara seleccionada Valor: 80 Unidades: psi			
Presión-3		Entidades: 3 cara(s) Tipo: Normal a cara seleccionada Valor: 80 Unidades: psi			

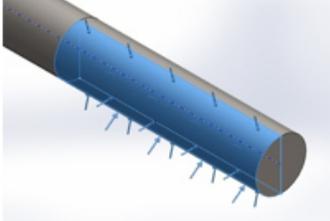
- Enmallado uniforme



Anexo 7. Detalles de la simulación de la palanca de ajuste.

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	0.000136167	-8.77157e-005	0.636558	0.636558
Momento de reacción(N·m)	0	0	0	0

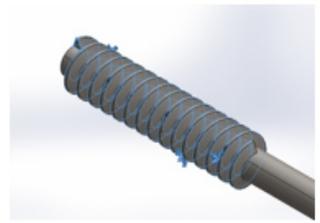
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 1 N		

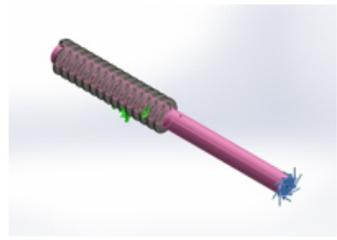
- Enmallado uniforme



Anexo 8. Detalles de la simulación del tornillo sin fin.

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0.00740483	-0.0204007	-0.00409005	0.022085
Momento de reacción(N·m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Torsión-1		Entidades: 1 cara(s) Referencia: Cara< 1 > Tipo: Aplicar momento torsor Valor: 0.25 N·m

- Enmallado uniforme



BIBLIOGRAFIA

- [1] B., F. C. *QuimiNet*. Recuperado el 24 de Octubre de 2012, de QuimiNet. {En línea}. {10 de Diciembre de 2012} disponible en: (<http://www.quiminet.com/articulos/aproveche-al-maximo-su-sistema-de-aire-comprimido-3353138.htm>)
- [2] ESCANDON, C. *QuimiNet*. Recuperado el 22 de Noviembre de 2012, de QuimiNet. {En línea}. {31 de Agosto de 2010} disponible en: (<http://www.quiminet.com/articulos/el-uso-de-los-compresores-en-la-industria-44288.htm>)
- [3] STEHING, D. Tanque de almacenamiento de los compresores. *saquimsa.wordpress*, (2010) 15-17.
- [4] GONZALO, L. Presion del aire comprimido. En: *Metal Actual*, (Nombiembre 2010- Enero 2011)p.26.
- [5] MORALES, J. *ARTICULOS INFORMATIVOS*. Recuperado el 12 de Agosto de 2012, de ARTICULOS INFORMATIVOS. {En línea}. {18 de Septiembre de 2010} disponible en: (http://www.articulosinformativos.com.mx/Compresor_de_Aire-a854678.html)
- [6] G., F. S. *OLX*. Recuperado el 14 de Diciembre de 2012, de OLX. {En línea} {06 de Julio de 2010} disponible en : (<http://lavictoria.olx.com.ve/q/tambores-usados/c-210>)
- [7] INTERCOM, G. (26 de Abril de 2007). *Jefe de Compras*. Recuperado el 26 de septiembre de 2012, de Jefe de Compras. {En línea}. {26 de Abril de 2007} disponible en: (<http://www.jefedecompras.com/contenedor-deposito-ibc-1000-litros-usados-/anuncio-680440.htm>)