

DISEÑO DE UNA MÁQUINA LAVADORA AUTOMÁTICA DE PISTOLAS
DE PINTURA

DIEGO FELIPE RODRÍGUEZ GARCÍA

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C
2.016

DISEÑO DE UNA MÁQUINA LAVADORA AUTOMÁTICA DE PISTOLAS
DE PINTURA

DIEGO FELIPE RODRÍGUEZ GARCÍA

Proyecto Integral de Grado para optar al título de:
INGENIERO MECÁNICO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C
2.016

Nota de aceptación:

Presidente del jurado
Ing. Juan Fernando Echeverry Perico

Jurado 1
Ing. Francisco Javier Gonzales Cruz.

Jurado 2
Ing. Carlos Urrego Rodríguez.

Bogotá D.C., Mayo de 2.016

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. JAIME POSADA DÍAZ

Vice-rector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vice-rectora Académica y de Posgrados

Dra. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS

Secretario General

Dr. JUAN CARLOS POSADA GARCÍA-PEÑA

Decano Facultad de Ingeniería

Dr. JULIO CÉSAR FUENTES ARISMENDI

Director Programa Ingeniería Mecánica

Dr. CARLOS MAURICIO VELOZA VILLAMIL

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

Agradezco a Dios primero por permitirme realizar este proyecto y culminar otra etapa de mi vida profesional. A mi madre, a mi padre y a mis demás familiares que sé mantuvieron al lado mío apoyándome en todo este proceso. En especial a mi abuela, que más que acompañarme durante la carrera, me brindó una enseñanza de vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento a la Universidad de América y a todas las personas que se involucraron a lo largo del desarrollo de la carrera, a la facultad de Ingeniería Mecánica, al cuerpo de docentes y en especial a mi profesor y orientador de proyecto Ing. Juan Fernando Echeverry quien me aportó durante este proceso sus más valiosos conocimientos.

Finalmente a todas la personas que de una u otra forma se vieron involucradas de manera positiva y creativa en este proyecto.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	19
1. GENERALIDADES Y SITUACIÓN ACTUAL DEL PROCESO	21
1.1 SOLVENTES USADOS PARA LA LIMPIEZA	22
1.2 FUNCIONAMIENTO DE LAS PISTOLAS AEROGRÁFICAS	22
1.2.1 Pasos para el funcionamiento de la pistola aerográfica	25
1.3 TIPOS DE PISTOLAS AEROGRÁFICAS	25
1.4 LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO DE LAS PISTOLAS AEROGRÁFICAS	26
1.5 MECANISMO PARA LA FILTRACIÓN DE SOLVENTES	27
2. PARÁMETROS BÁSICOS Y REQUERIMIENTOS FUNCIONALES	29
2.1 AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL	29
2.2 TIPOS DE PISTOLAS AEROGRÁFICAS A LAVAR	29
2.3 VARIABLES DE DISEÑO	29
2.4 PARÁMETROS DE DISEÑO	30
2.5 DISPONIBILIDAD DE RECURSOS	30
3. DISEÑO CONCEPTUAL Y ALTERNATIVAS DE DISEÑO	32
3.1 ALTERNATIVAS DE DISEÑO	34
3.1.1. Alternativa del subsistema de bombeo	35
3.1.1.1 Bomba de desplazamiento positivo	36
3.1.1.2 Bomba centrífuga	37
3.1.2 Alternativa del subsistema de recirculación de solvente	38
3.1.2.1 Con único depósito	39
3.1.2.1 Con doble depósito	40
3.2 SELECCIÓN DE ALTERNATIVA	41
3.2.1 Método de ponderación lineal	41
4. DISEÑO FUNCIONAL	45
4.1 DETERMINACIÓN DE CAUDAL INICIAL	43
4.2 DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO	45
5. DISEÑO DETALLADO	49
5.1 SISTEMA HIDRÁULICO	49
5.1.1 Análisis de caudal	50
5.1.2 Análisis de velocidades	53
5.1.3 Análisis de alturas y distancias	55
5.1.4 Pérdidas de energía	57
5.1.4.1 Pérdidas por fricción y accesorios en la succión	58
5.1.4.1 Pérdidas por fricción y accesorios en la descarga	62
5.1.4.1 Pérdidas por fricción y accesorios en la tubería de 0,0092 m (1/4")	65

5.1.5 Planteamiento de la ecuación general	68
5.1.6 Lista de aditamentos de tramos de tubería y accesorios.	71
5.2 CÁLCULO DE ESTRUCTURA	72
5.2.1 Diagrama de fuerza cortante y momento flector	73
5.1.2 Soldadura	77
5.3 AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL	80
5.3.1 Cálculo de ciclos de lavado	81
5.3.2 Componentes y descripción	82
5.3.3 Programación Ladder	88
5.3.4 Diagramas espacio fase	89
5.3.5 Programación PLC por listado de instrucciones	92
5.4 SELECCIÓN DE ACCESORIOS	92
5.4.1 Filtro	93
5.4.2 Boquillas de aspersión	95
6. ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS	96
6.1 ANÁLISIS DE PRESIÓN	96
6.2 ANÁLISIS DE VELOCIDAD	97
6.3 ANÁLISIS DE ESTRUCTURA	99
6.4 ANÁLISIS DE BOQUILLA	100
7. EVALUACIÓN FINANCIERA	101
7.1 ANÁLISIS DE MERCADO	101
7.1.1 Identificación del objetivo	102
7.1.2 Seguridad en los talleres	104
7.2 ANÁLISIS DE INVERSIÓN	105
7.2.1 Costo de ingeniería del proyecto	105
7.2.2 Costo de materiales y mano de obra	106
7.2.3 Costo total de la máquina	106
7.3 FLUJO DE CAJA	108
7.3.1 Beneficio en el taller	111
8. EVALUACIÓN AMBIENTAL	113
8.1 DESCRIPCIÓN DEL ASPECTO AMBIENTE EN EL PROYECTO	113
8.1.1 Características generales del medio	113
8.1.2 Entorno geográfico	113
8.2 IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES	113
8.2.1 Componente atmosférico	113
8.2.2 Componte de suelo	114
8.3 MATRIZ DE EVALUACIÓN	114
8.4 MEDIDAS PREVENTIVAS	115
8.5 NORMATIVA AMBIENTAL	115
8.5.1 Generación y gestión de residuos	116
9. MANUALES	118

9.1 MANUAL DE MONTAJE	119
9.2 MANUAL DE OPERACIÓN	121
9.2.1 Recomendaciones de seguridad	121
9.2.1.1 Vestuario y equipo EPI	122
9.2.1.2 Número de operarios	123
9.2.2 Puesta en marcha	123
9.2.3 Cambio de solvente	126
9.2.4 Cambio de filtro	127
9.3 MANUALE DE MANTENIMIENTO	127
10. CONCLUSIONES	130
11. RECOMENDACIONES	131
BIBLIOGRAFÍA	132
ANEXOS	113

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Solute y solvente	22
Figura 2. Entrada de aire y de pintura	24
Figura 3. Elementos internos	24
Figura 4. Pistola aerográfica por sistema de gravedad	25
Figura 5. Proceso de reciclado por destilación	27
Figura 6. Proceso de reciclado por filtración	28
Figura 7. Pistola aerográfica con Thinner	32
Figura 8. Esquema general de la máquina	34
Figura 9. Alternativas de diseño	35
Figura 10. Bomba neumática de desplazamiento positivo	36
Figura 11. Bomba centrífuga	37
Figura 12. Alternativa con depósito único	39
Figura 13. Alternativa con doble depósito	40
Figura 14. Esquema del experimento	47
Figura 15. Esquema funcional del sistema	48
Figura 16. Posición inicial de la pistola aerográfica	49
Figura 17. Dimensiones de tubería	50
Figura 18. Funciones de boquillas y aspersores	51
Figura 19. Porcentajes de caudal	52
Figura 20. Detalle para la salida de solvente	53
Figura 21. Esquema general de tubería	56
Figura 22. Alturas para la tubería de 0,0092 m ($\frac{1}{4}$ ")	56
Figura 23. Alturas para tubería de succión	57
Figura 24. Rugosidad para Acero, comercial o soldado	59
Figura 25. Longitud equivalente en diámetros de tubería	60
Figura 26. Factor de fricción de un Tee con paso de fluido por ramal	61
Figura 27. Factor de fricción para válvula de bola	62
Figura 28. Contracción gradual a 42°	63
Figura 29. Gráfica de valores de K según el Ángulo	64
Figura 30. Puntos de análisis	65
Figura 31. Puntos para la selección de bomba	69
Figura 32. Curva de bomba seleccionada	70
Figura 33. Puntos en los cuales se distribuye la carga	73
Figura 34. Diagrama de cuerpo libre de la viga	73
Figura 35. Reacciones en los apoyos	74
Figura 36. Diagrama de fuerza cortante y momento flector	74
Figura 37. Sección transversal del perfil seleccionado	77

Figura 38. Unión crítica	77
Figura 39. Tipo de soldadura	78
Figura 40. Esfuerzos sobre soldaduras	79
Figura 41. Caja Nema 30x30x15	81
Figura 42. PLC Array seleccionado	81
Figura 43. Unidad de mantenimiento	82
Figura 44. Selección según la calidad del aire ISO	83
Figura 45. Selección de la función deseada	83
Figura 46. Características generales	84
Figura 47. Contactor Chint para la bomba	84
Figura 48. Manifold de 4 electroválvulas	84
Figura 49. Especificaciones manifold	85
Figura 50. Botón pulsador puesta en marcha	85
Figura 51. Paro de emergencia	86
Figura 52. Interruptor de seguridad tipo bisagra	86
Figura 53. Diagrama neumático	87
Figura 54. Diagrama eléctrico	88
Figura 55. Diagrama de los actuadores neumáticos	88
Figura 56. Diagrama de las electroválvulas	89
Figura 57. Configuración LADDER	90
Figura 58. Listado de instrucciones	90
Figura 59. Conexión PLC	91
Figura 60. Clasificación de filtrado	92
Figura 61. Especificaciones del cartucho del filtro	94
Figura 62. Especificaciones carcasa del filtro	94
Figura 63. Boquilla	95
Figura 64. Aspersor a 90°	95
Figura 65. Simulación de presión en el fluido	96
Figura 66. Simulación de velocidad en el fluido	97
Figura 67. Simulación de esfuerzos en la estructura	98
Figura 68. Simulación de desplazamientos en la estructura	99
Figura 69. Análisis de boquilla	100
Figura 70. Producción de vehículos en Colombia	101
Figura 71. Matrículas por departamento	102
Figura 72. Intoxicación laboral por químicos	105
Figura 73. Representación VPN	110
Figura 74. Necesidades y entregas ambientales	116
Figura 75. Residuos no peligrosos	116
Figura 76. Residuos peligrosos	117
Figura 77. Descripción general de la máquina	118
Figura 78. Posición láminas	120

Figura 79. Tolva	120
Figura 80. Parales en aluminio	121
Figura 81. Aviso de precaución de fuego	122
Figura 82. Aviso conexión al contendor	122
Figura 83. Aviso tubo defectuoso	122
Figura 84. Uso de guantes	123
Figura 85. Uso de gafas	123
Figura 86. Nivel del Thinner	124
Figura 87. Disposición inicial de la pistola aerográfica	124
Figura 88. Dispositivo de seguridad	124
Figura 89. Rosca estandarizada	125
Figura 90. Posición láminas de seguridad	125
Figura 91. Posición inicial de la pistola aerográfica	126

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Elementos internos	25
Cuadro 2. Componentes de la alternativa con depósito único	38
Cuadro 3. Componentes de la alternativa con doble depósito	40
Cuadro 4. Ponderación de alternativas	42
Cuadro 5. Rating de satisfacción para el subsistema de bombeo	43
Cuadro 6. Rating de satisfacción para subsistema de recirculación y filtrado	43
Cuadro 7. Score subsistema de bombeo	43
Cuadro 8. Score subsistema de recirculación y filtrado	44
Cuadro 9. Componentes del experimento	47
Cuadro 10. Funciones de boquillas y aspersores	51
Cuadro 11. Descripción para la salida de solvente figura 20	52
Cuadro 12. Porcentajes de Caudal	53
Cuadro 13. Porcentajes de velocidad para la tubería de 0,0092 m ($\frac{1}{4}$ ")	55
Cuadro 14. Componentes del esquema general de tubería de la figura 21	55
Cuadro 15. Resumen de pérdidas en la succión y en la descarga	64
Cuadro 16. Pérdidas en los puntos analizados	66
Cuadro 17. Velocidades en los puntos de análisis	67
Cuadro 18. Aditamento de tubería	71
Cuadro 19. Aditamiento de accesorios	71
Cuadro 20. Peso de los elementos internos de la recámara de lavado	72
Cuadro 21. Descripción de PLC Array 74270	82
Cuadro 22. Actuadores Semi-giratorios	87
Cuadro 23. Talleres calificados en Bogotá	103
Cuadro 24. Costos de ingeniería del proyecto	106
Cuadro 25. Costos de materiales y mano de obra	106
Cuadro 26. Costo final del proyecto	108
Cuadro 27. Demanda de máquinas por año	108
Cuadro 28. Flujo de caja	109
Cuadro 29. Flujo neto	109
Cuadro 30. Costo sin máquina	111
Cuadro 31. Costo con la máquina	111
Cuadro 32. Valor para el impacto ambiental	114
Cuadro 33. Matriz de impacto ambiental	115
Cuadro 34. Descripción general de la máquina	119
Cuadro 35. Descripción figura 91	126
Cuadro 36. Rutinas de mantenimiento	128
Cuadro 37. Mantenimiento de válvulas neumáticas	129

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Ponderación lineal	41
Ecuación 2. Caudal	54
Ecuación 3. Número de Reynolds	58
Ecuación 4. Factor de fricción para zonas de completa turbulencia	58
Ecuación 5. Darcy	59
Ecuación 6. Factor de fricción para accesorios	60
Ecuación 7. Pérdida por accesorio	60
Ecuación 8. Factor de fricción para una contracción asimétrica	66
Ecuación 9. Bernoulli con pérdida	67
Ecuación 10. Ecuación general de energía para fluidos	69
Ecuación 11. Esfuerzo admisible	75
Ecuación 12. Módulo de sección	75
Ecuación 13. Esfuerzo admisible con módulo de sección	75
Ecuación 14. Factor de seguridad	75
Ecuación 15. Valor presente neto	110
Ecuación 16. Tasa interna de retorno	110

LISTA DE PLANOS

- Plano 1. Conjunto general
- Plano 2. Conjunto de estructura y despiece
- Plano 3. Detalles despieces No. 2
- Plano 4. Desarrollo de tolva
- Plano 5. Conjunto de tuberías y unifilar

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Bomba Centrífuga	134
Anexo B. Boquillas	137
Anexo C. Carcasa de Filtro y Cartucho	140
Anexo D. Manifold de válvulas	143
Anexo E. Perfil estructural de Aluminio	146
Anexo F. Hoja de seguridad del Thinner	148
Anexo G. Tubería y accesorios	152
Anexo H. Unidad de Mantenimiento	157
Anexo I. Válvula de bola con actuador neumático	160
Anexo J. Perfil estructural de acero	164
Anexo K. Recirculación de solvente	166
Anexo L. Diagrama de MOODY	168

RESUMEN

El presente proyecto consiste en el diseño de una máquina lavadora automática de pistolas de pintura para la industria automotriz; esta máquina realiza un lavado de dos pistolas aerográficas tipo gravedad, de manera simultánea en un tiempo de 40 segundos. Cuenta además con dos contenedores con capacidad aproximada de 70 litros para solvente cada uno, recirculándolo de manera cíclica. Esta recirculación cuenta con un sistema de filtrado por cartucho de 75 μm , basado en un mecanismo de filtrado químico de solventes. Está automatizada mediante un mini PLC que va dirigido principalmente a 4 válvulas con actuadores neumáticos que son las encargadas de dirigir y almacenar el solvente hacia los contenedores o hacia la recámara de lavado que es el lugar donde se realiza el proceso de limpieza. Cuenta con un sistema de bombeo encargado de dirigir el solvente del contenedor hacia las boquillas de salida.

En el diseño de ingeniería se realizan los cálculos hidráulicos de pérdidas por accesorios y tubería, se diseña una estructura, la cual va a soportar los elementos que componen la máquina y se muestran los diagramas neumáticos y la programación LADDER para el proceso.

PALABRAS CLAVE: Pistola aerográfica tipo gravedad, recirculación de solvente, automatización, cálculo hidráulico.

INTRODUCCIÓN

Este proyecto tiene como finalidad el diseño de una máquina lavadora automática de pistolas de pintura, sin realizar ningún prototipo físico, solo hasta los planos de fabricación y simulación del sistema hidráulico.

Inicialmente se hace una descripción de la situación actual del proceso y del funcionamiento general de la pistola aerográfica, se muestran algunos de sus componentes, aplicaciones para la cual está diseñada y bajo qué principios físicos funciona. Se hace una breve mención de los sistemas de recirculación de filtrado ya que es uno de los aspectos importantes a tratar y se explica qué procedimientos usan las empresas fabricantes de este tipo de máquinas.

Después de esto se realiza una parametrización del proyecto donde se indica la capacidad requerida, el tiempo aproximado de lavado y la disponibilidad de los recursos como la geometría y los componentes principales que debe llevar. Una vez se realiza esto, se organiza un diseño conceptual donde se mencionan los diferentes sistemas de la máquina y su ubicación dentro de esta.

Se escogen dos de los sistemas mostrados en el diseño conceptual y se someten a una evaluación de ponderación lineal siguiendo unos factores de prioridad, para establecer la mejor opción de diseño según esta evaluación. Una vez evaluadas las alternativas, se procede a empezar con un diseño funcional donde se explican las variables de caudales y velocidad usados en este tipo de procedimientos.

En el diseño detallado se identifican los sistemas de cálculo hidráulico, cálculo de estructura, automatización y selección adecuada de accesorios. Se explica de una mejor manera la posición inicial de la pistola aerográfica con la boquilla de salida del solvente para garantizar que el chorro entre de manera adecuada. Se hacen los respectivos cálculos de pérdida de energía por accesorios y tubería, velocidades, caudales y presiones. Para finalmente seleccionar la bomba adecuada.

Para comparar los resultados obtenidos de manera analítica se hace una simulación por elementos finitos principalmente del cálculo hidráulico y luego de la estructura.

Después de esto se hace un análisis de mercados a nivel Bogotá para detectar posibles clientes potenciales y luego se hace una evaluación financiera del proyecto, donde se evidencie la viabilidad de éste. También se hace un análisis ambiental donde se involucran los factores de uso y construcción de la máquina

Finalmente se elaboran los manuales de montaje, procedimiento y mantenimiento de la máquina y sus componentes.

Por otro lado se pretende dar a conocer el problema que se presenta en los talleres de servicio automotriz de carrocería y pintura, al limpiar las pistolas de pintura de manera indebida, manualmente y sin la protección necesaria generando daños al ambiente y a la salud del operario generados por la toxicidad del solvente; cuándo se presenta un mayor volumen de trabajo, la lavadora automática ofrecería una mayor rapidez y agilidad al proceso.

Se presentan los objetivos que se van a desarrollar a lo largo del proyecto:

- ❖ Realizar una evaluación del estado actual de este proceso.
- ❖ Establecer parámetros básicos y requerimientos funcionales de la máquina.
- ❖ Plantear alternativas de diseño y elegir una de ellas.
- ❖ Realizar el diseño mecánico y de automatización de la máquina.
- ❖ Hacer el análisis por medio de elementos finitos.
- ❖ Elaborar planos de fabricación, ensamble, montaje de la máquina y sus componentes auxiliares.
- ❖ Elaborar un manual de instalación, operación y mantenimiento.
- ❖ Realizar la evaluación financiera y análisis del mercado.

1. GENERALIDADES Y SITUACIÓN ACTUAL DEL PROCESO

Una de las herramientas que se usan con más frecuencia en los talleres de reparación y pintura automotriz son las pistolas aerográficas. Los trabajos de repintado han tenido numerosos cambios a lo largo de la historia y lógicamente, las herramientas con las que se trabajan. En un principio estos arreglos se hacían por medio de brochas y atomizadores especiales para pintura, pero hoy en día se pueden encontrar desde campanas electrostáticas de alta velocidad hasta sistemas de pulverización de alta transferencia, disminuyendo de forma significativa el consumo de solvente y pintura en los talleres de reparación.

Así como las pistolas pulverizadoras y aerógrafos han tenido una constante evolución, los elementos paralelos a esta labor de repintado también lo han tenido, como son las pinturas con base de agua, los solventes que se usan para su enjuague y posterior lavado y la forma en que estas herramientas se lavan.

Aun así, con el gran avance tecnológico en la industria del repintado, no se han encontrado pinturas o solventes que sean completamente inofensivos al medio ambiente y a la integridad de los operarios que las usan. Algunos años atrás la profesión del pintor de vehículos automotores tenía muy poca aceptación en el mercado laboral debido al alto índice de enfermedades que se producían como consecuencia de la falta de elementos y medios de protección, así como una información clara y precisa de lo que estas sustancias tóxicas producían en el cuerpo.

Dadas estas circunstancias, el Comité Técnico Europeo Para El Acabado De Vehículos (CEPE) recomienda acerca de la reducción de disolventes orgánicos volátiles a la atmósfera, VOC, entre los cuales se encuentran:

- ❖ Naturales: isopreno, pineno y limoneno
- ❖ Artificiales: benceno, tolueno, nitrobenceno

Todos estos compuestos encontrados en las pinturas y solventes con los que se trabaja en los talleres.

Debido a esto, el informe refleja la necesidad de que en los talleres de pintura automotriz se utilicen sistemas cerrados para el lavado y disposición final de todos aquellos elementos que usen estas sustancias. Un ejemplo claro son las pistolas aerográficas con las que se retocan y pintan los carros en ensambladoras y talleres de mecánica.

1.1 SOLVENTES USADOS PARA LIMPIEZA DE PISTOLAS AEROGRÁFICAS

Si bien el proyecto está encaminado a la limpieza de las pistolas aerográficas, el método o la forma en que se lavan es tan importante como el líquido que se requiere para esta finalidad.

El Thinner, es el solvente más usado en la industria por su poder de disolución y es muy usado en los talleres de repintado y de ensamblaje automotriz. Los operarios no solo lo usan para diluir pinturas, sino como “detergente” para limpiar partes mecánicas de los carros y demás piezas y herramientas.

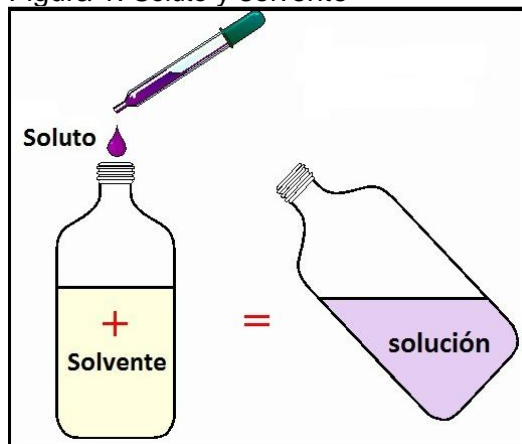
Es importante también, resaltar las definiciones de solvente y disolvente para una mejor interpretación literaria del proyecto.

Un solvente es una sustancia que se encuentra en mayor porcentaje en una solución. Una solución, es la mezcla de un solvente y un soluto, por su parte, el soluto es el que se encuentra en menor cantidad y generalmente es un sólido, pero para el caso de la industria del repintado es líquido ya que se habla de las pinturas.

El solvente es comúnmente llamado disolvente, ya que al contactar con el soluto, este se reparte por todo el fluido (solvente) debido a su naturalidad y a que está presente en una mayor cantidad.

De cualquier modo referirse al Thinner como un solvente o disolvente estaría bien. Pero para el desarrollo del proyecto se hará referencia al Thinner como un **Solvente**.

Figura 1. Solutos y solventes



Fuente. <http://m.exam-10.com/>. Visto el 14 de enero de 2016

El Thinner como principal solvente industrial para la limpieza de pistolas aerográficas es el resultado de una mezcla de solventes de naturaleza orgánica

derivados del petróleo, que ha sido diseñado para disolver o diluir sustancias insolubles en el agua como son los casos de la pintura, los aceites y las grasas.

En la fabricación del Thinner pueden variar la cantidad y concentración de compuestos usados ya que este varía de acuerdo con el uso.

De manera general existen dos tipos de Thinner el corriente y el fino. El primero tiene como base el metanol y el fino etanol. Por lo cual es más peligroso y tóxico el primero.

Estas son algunas propiedades físico-químicas del Thinner corriente, según la Hoja de seguridad del THINNER (Nafta solvente)

Grupo Transmerquím de Colombia S.A.¹

- ❖ Rango de ebullición: Inicial: 98° final: 105 ° C
- ❖ Densidad de vapor: 4.8 (aire=1).
- ❖ Gravedad específica: 0,79 a 15, 5° (agua=1).
- ❖ Temperatura de autoignición: 229° C.
- ❖ Velocidad de evaporación: 0,1 (Acetato de butilo=1)
- ❖ Viscosidad: 1,14 cST a 25 ° C
- ❖ Presión de vapor: < 0,3 kPa a 20 ° C
- ❖ Límites de explosividad: Inferior: 1 % Superior: 13,3 %
- ❖ Temperatura de inflamación: Mínimo 43°C
- ❖ Umbral de olor: < 1ppm (5 mg/m).
- ❖ Solubilidad: Insoluble en agua (<0.01% a 25°C). Soluble en todas proporciones en la mayoría de solventes orgánicos.

1.2 FUNCIONAMIENTO DE LAS PISTOLAS AEROGRÁFICAS

Las pistolas aerográficas funcionan mediante un fenómeno físico llamado Efecto Venturi que es el encargado de reducir la pintura a partículas muy pequeñas mediante una corriente de aire. A esto se le conoce como atomización.

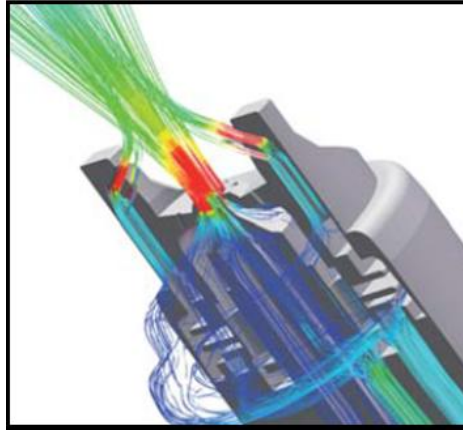
Según las leyes de la dinámica de fluidos, cuando un fluido pasa por una sección transversal más angosta, su velocidad aumenta y su presión disminuye, cumpliendo de esta manera la ley de conservación de la masa y la energía.

Para efectuar la pulverización de la pintura la pistola dispone de dos entradas.

¹ GRUPO TRANSMERQUIM, Hoja de datos de seguridad: Producto Thinner, [online], Fecha de Revisión: Julio 2014. Revisión N°3 [citado el 14 de enero de 2016]. Disponible en; <<http://www.gtm.net/images/industrial/t/THINNER.pdf>>

- ❖ Entrada de aire
- ❖ Entrada de pintura

Figura 2. Entrada de aire y de pintura.



La entrada de aire es el medio por el cual el aire entra a una presión regulada entre 3 y 6 bares, dependiendo del tipo de pistola y aplicación. Este aire tiene como finalidad impactar sobre la pintura para romperla en pequeñas partículas y pulverizarlas.

El flujo de aire pasa a través de los ductos internos que tiene la pistola destinados para tal propósito, como se observa en la Figura 2, el paso de aire hacia la boquilla de salida de pintura y hacia el abanico que es el que regula la abertura o cono de salida de pintura pulverizada.

El aire y la sustancia a pulverizar entran por conductos INDEPENDIENTES donde finalmente se mezclan en el exterior de la boquilla de aire de manera controlada, como se observa en el corte de la Figura 3 de la pistola aerográfica.

Figura 3. Elementos internos.



Cuadro 1.Elementos internos.

Ítem	Descripción
1	Regulador de abanico
2	Regulador de producto (pintura)
3	Válvula de aire
4	Paso de aire
5	Aguja
6	Entrada de pintura

1.2.1 Pasos para el funcionamiento de una pistola aerográfica.

- ❖ Una vez se tiene la pistola cargada con el producto que se quiere aplicar, se acciona el gatillo hacia atrás donde se apoya primero contra el vástago de la válvula de aire, permitiendo el paso de este a través de los ductos hacia la boquilla.
- ❖ Luego de esto el gatillo desplaza la aguja hacia atrás y permite el paso de la pintura hacia el exterior, produciéndose la mezcla entre aire y pintura. Es así como se produce la pulverización y el abanico que el operario requiere.
- ❖ Finalmente cuando se libera el gatillo, la aguja se mueve hacia adelante, cortando el paso de la pintura y cerrando la válvula de aire terminado la salida de este.

1.3 TIPOS DE PISTOLAS AEROGRÁFICAS Y SUS APLICACIONES.

- ❖ Pistolas de Gravedad: Se caracteriza por tener el depósito en la parte superior, sus aplicaciones más comunes son el de barnices, mono capas, bicapas de agua y se usa mucho en los talleres de repintado y en la industria automotriz. Dentro de esta clase se encuentra además las pistolas HVLP, esta es más eficiente que la de gravedad normal ya que posee una tasa de transferencia mucho mayor de aproximadamente un 75 % es decir que por cada 100 gr de producto se pierden 25 al ambiente. Además de esto cuenta con una pulverización más controlada.

Figura 4. Pistola aerográfica por sistema de gravedad.



- ❖ Pistolas de Succión: Se caracterizan por tener el depósito en la parte inferior, se usan en aplicaciones de barnices, usados en la industria de la madera y pintado de estructuras metálicas.
- ❖ Pistolas de Presión: Estas son abastecidas por bombas. Se usa en el pintado de equipos que necesiten acabados con una mayor cobertura en la aplicación como lo son paredes o láminas.
- ❖ Pistolas Automáticas: Estas también se abastecen por bombas. Su empleo es con todo tipo de pinturas y tiene diversos campos de aplicación.

1.4 LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO DE PISTOLAS AEROGRÁFICAS

Hoy en día se busca en la aplicación de pinturas un mejor acabado, una mayor economía de pinturas y desde luego una larga vida para las herramientas que se usan. Toda esta serie de factores se ven involucrados directamente con el mantenimiento y correcta limpieza de las pistolas aerográficas.

Cuando un equipo no tiene el suficiente cuidado, se ven defectos como pulverizaciones no deseadas, menor aprovechamiento de pintura, malos acabados y sumado a todo esto, un mayor costo de operación, que se incrementa con la cantidad de unidades que se repintan.

Cuando se trabaja con altos volúmenes de piezas para pintar, lo más recomendado es usar pistolas de alta calidad y un sistema de limpieza rápido y eficiente.

Lo ideal para este tipo de operaciones es una máquina lavadora automática de pistolas de pintura, la cual brinde un mayor uso del solvente usado para lavarlas y esté en un sistema cerrado el cual evite el contacto con el ambiente y el operario ya que esto puede generar daños y poner en riesgo su salud.

El mantenimiento es diferente ya que este se hace en periodos no tan seguidos y es necesario hacer un desmontaje de las piezas críticas de la pistola entre las cuales se encuentran:

- ❖ Boquilla de aire.
- ❖ Kit pico + aguja.
- ❖ Prensaestopas Producto.
- ❖ Válvula de aire.
- ❖ Arandela de cierre de aire.
- ❖ Muelle válvula de aire.
- ❖ Muelle aguja producto.
- ❖ Volante regulador.
- ❖ Regulador de producto.

- ❖ Regulador caudal de aire.

Cabe resaltar que las únicas piezas recomendadas para desmontar, de los elementos críticos, son el Kit pico-aguja y la boquilla.

El mantenimiento depende directamente de la frecuencia de uso que se tenga. Cuando el uso es frecuente se recomienda hacer un mantenimiento cada 40 o 45 aplicaciones directas.

1.5 MECANISMOS PARA FILTRACIÓN DE SOLVENTE

En la actualidad hay máquinas encargadas de la filtración y reciclaje de solventes usados en la industria con el ánimo de minimizar los costos que acarrearán la compra y la disposición final de estos fluidos, además de esto contribuyendo con el medio ambiente.

Hay dos maneras de reciclar el solvente contaminado de partículas de pintura:

- ❖ **RECICLAJE POR MEDIO DE DESTILACIÓN:**

Esta técnica consiste en llevar todos los desperdicios y almacenarlos en un depósito donde se filtran y por aumento de temperatura y decantación se eliminan los sólidos que este puedan tener.

Figura 5. Proceso de reciclado por destilación.



Fuente. <http://www.beccainc.com/products/solvent-distillation-recycling-equipment>.
Visto el 2 de febrero de 2016.

De esta manera se eliminan el 100% de sólidos para volverlo a reutilizar.

- ❖ **RECICLADO POR FILTRADO:**

Con este método se eliminan entre el 75-90 % de los sólidos dependiendo del mecanismo usado. Cuando pasa por un solo filtro o dos, como se ve en la figura 6.

Este tipo de proceso recomienda cambiar el solvente cada mes, esto debido a que puede perder las propiedades principales de solvencia.

Figura 6. Proceso de reciclado por filtración.



Fuente. <http://www.beccainc.com/products/solvent-distillation-recycling-equipment>. Visto el 2 de febrero de 2016

2. PARÁMETROS BÁSICOS Y REQUERIMIENTOS FUNCIONALES

Los parámetros básicos para el diseño de la máquina lavadora de pistolas de pintura o pistolas aerográficas automática, se fundamenta en la necesidad del operario para desarrollar su labor de una mejor manera y sin contaminar el medio ambiente y el área que lo rodea debido a la cantidad de agentes químicos tóxicos que se manejan en los disolventes para lavar las pistolas aerográficas.

2.1 AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

Es una parte fundamental ya que por medio de la automatización se puede garantizar un mejor desarrollo de la tarea propuesta por el operario. El ciclo de lavado de las pistolas se basa en una secuencia de lavado accionado por una bomba ya sea centrífuga o de desplazamiento positivo

La máquina debe tener un sistema de mando donde se pueda dirigir el lavado y control total sobre las válvulas. Además de esto debe tener una parada de emergencia por si se llega a abrir la puerta, se pare automáticamente el sistema y deje de funcionar ya que los chorros podrían salir directamente hacia el operario y causarle daños.

2.2 TIPOS DE PISTOLAS AEROGRÁFICAS A LAVAR

Como se explicó en el capítulo uno existen varios tipos de pistolas aerográficas en la industria. Unas son usadas para el sector de la madera y sus arreglos en muebles y decoraciones. Otras se usan muy frecuentemente para pintar esculturas y llevar toda esta técnica a un nivel netamente artístico, así como también son usadas para resaltar partes de estructuras y piezas metálicas.

Como se puede ver para cada área de trabajo existen pistolas aerográficas con un propósito y unas características especiales.

En este proyecto se va a estudiar el sistema de limpieza y lavado de las pistolas aerográficas para carrocería y pintura de la industria automotriz, **POR GRAVEDAD.**

2.3 VARIABLES CRÍTICAS DE DISEÑO

Uno de los mayores problemas que tienen estos procesos de lavado son la cantidad de residuos que quedan en el ambiente, dando lugar a un mal aspecto del sitio y perjudicando el ambiente. El diseño permite tener un sistema de lavado cerrado que no genere mayor contaminación ambiental.

La presión de entrada es la que genera el compresor de la línea de aire del taller, generalmente éstos manejan un presión normal de 14 PSI, la cual será regulada a la entrada de la lavadora para sistema de control a 9 PSI.

Los diámetros de las tuberías internas de la lavadora que se encuentren en la recámara de lavado no superarán los 10 mm y los tubos de absorción y drenaje 27 mm como máximo. Esto debido a que no deben ocupar mayor espacio al interior de la estructura de la lavadora.

2.4 PARÁMETROS DE DISEÑO

La capacidad requerida de lavado para esta máquina es de dos pistolas en un periodo menor a un minuto, de tal forma que el operario tenga un espacio para cambiar o preparar la pintura que va a usar después.

La cantidad de solvente que se maneja es importante ya que se tiene en cuenta que este va a circular por medio del circuito de tubería interna. Se estima que se manejará una capacidad aproximada de 70 litros que se distribuirían en dos contenedores. Este volumen obedece al promedio aproximado de solvente que se usa en los talleres de reparación, en una semana.

El tiempo de proceso de lavado de las pistolas aerográficas debe ser consecuente con el tiempo del operario para preparar otra pintura o realizar alguna actividad propuesta. Menos de un minuto es lo que corresponde al ciclo de limpieza.

Para una limpieza más óptima de la pistola aerográfica se recomienda lavarla en el menor tiempo posible luego de ser usada.

El agente limpiador común para esta tarea generalmente es Thinner industrial corriente ya que en un taller de carrocería y pintura es muy frecuente su uso no solo para limpiar piezas de uso frecuente sino que sirve como disolvente en la preparación de las pinturas.

2.5 DISPONIBILIDAD DE RECURSOS

El entorno donde se usa este tipo de máquinas, por norma debe ser un lugar ventilado como lo estipula la norma técnica colombiana NTC 3631.²

² INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC), NTC 3631. Ventilación de recintos Interiores donde se instalan artefactos que emplean gases combustibles para uso doméstico, comercial e industrial. Primera actualización 26 de agosto de 2003.

Esta máquina debe contar con una ubicación estratégica. Lo más recomendado es que esté cerca de la cabina de pintura para asegurar un mínimo de distancia recorrida por parte del operario. Esto no quiere decir que solo en la cabina es donde se pinta, generalmente los retoques pequeños se hacen afuera de ella y es donde la máquina lavadora tiene un papel muy importante porque ofrece una limpieza de la pistola aerográfica de manera rápida.

La máquina debe contar con un sistema de filtrado de solvente ya sea por decantación o que pase por un filtro donde se le quiten las impurezas y éste vuelva a recircular.

El tipo de energía que maneja la máquina lavadora es energía neumática y energía eléctrica.

El panel de control y sensores se manejan mediante baterías y corriente eléctrica.

3. DISEÑO CONCEPTUAL Y ALTERNATIVAS DE DISEÑO

Una parte fundamental de la lavadora de pistolas aerográficas por sistema de gravedad es el ahorro de disolvente y la rapidez con la que estas se lavan. Un operario común de taller de repintado tarda en promedio dos minutos aproximadamente en lavar las pistolas de manera manual.

El proceso se realiza de la siguiente manera:

- ❖ Evacuar los restos de pintura en un recipiente destinado para tal propósito, que por obligación tiene que tener el taller reparador.
- ❖ Conectar la manguera de la línea de aire del taller a la entrada de aire de la pistola.
- ❖ Desplazarse a un lugar donde se encuentran los contenedores de Thinner (en algunos casos los talleres prefieren usar otro agente limpiador diferente ya que en el mercado existe una gran variedad de estos) y recoger una pequeña cantidad de este hasta llenar un poco más de la mitad el depósito de pintura de la pistola, aproximadamente 550 ml.

Figura 7. Pistola aerográfica con Thinner



- ❖ Accionar el obturador de la pistola para que salga el Thinner atomizado hasta que limpie los ductos por donde pasa la pintura y limpiando a su vez el depósito o taza de pintura.

Como se puede observar, éstos son los pasos generales que se tienen al momento de limpiar las pistolas aerográficas, aclarando que puede existir una variación en alguno de los pasos según la costumbre del operario o modo de empleo del Thinner.

Esto resalta una mala práctica ya que al momento de atomizar el Thinner, el operario se expone a la contaminación de los elementos tóxicos que este contiene y pone en riesgo su salud y la de los demás. Además de esto contamina el ambiente con los VOCs y da un mal aspecto al lugar ya que al atomizar la pintura con Thinner quedan partículas regadas en el suelo o donde se efectúe la limpieza.

Es por esto que se requiere un sistema cerrado en el cual se pueda hacer la limpieza de manera controlada, rápida y cómoda.

Otro factor importante es el uso del solvente; si bien, cuando el operario efectúa la limpieza éste se volatiliza y se pierde en el ambiente, como consecuencia no hay un ahorro y se incrementan los costos en el mantenimiento.

El diseño básico contempla un sistema cerrado en el cual se coloquen las pistolas dentro de una recámara y comience un ciclo de lavado al interior de los ductos de pintura.

También se requiere un depósito de Thinner dentro de la estructura de la máquina para así evitar el desplazamiento del operario.

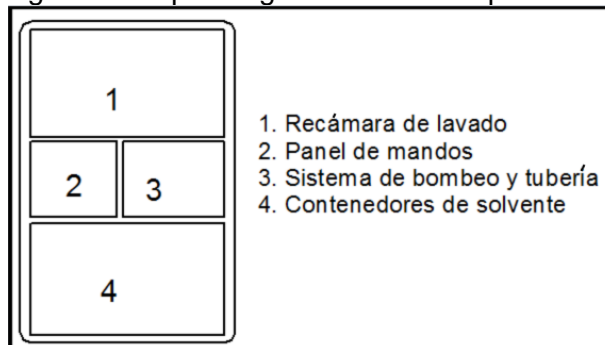
Dentro de la estructura debe haber un sistema de bombeo del depósito de solvente hacia las tuberías donde se encuentran las pistolas aerográficas. Éstas deben estar en una recámara donde se pondrán con la taza de pintura hacia abajo coincidiendo con la boquilla por donde saldrá el solvente.

Como medida preventiva se tendrá un conector o un macho roscado a la entrada de aire de la pistola para asegurarse de que en el proceso no entre Thinner dentro de los conductos de aire de esta, evitando daños y acumulación de partículas al interior de la pistola.

Un esquema básico de la estructura sería como el que se muestra en la figura 8.

Como se puede ver en este esquema básico, cada subsistema debe tener un espacio y función específica. A partir de este esquema básico se empieza a desarrollar el proyecto.

Figura 8. Esquema general de la máquina.



Teniendo en cuenta esto, la máquina debe cumplir con el siguiente proceso general para el lavado de las pistolas:

- ❖ Para la posición inicial de las pistolas, el operario debe colocarlas (como se indicó en la delimitación del anteproyecto) de tal forma que la entrada de pintura coincida con la boquilla de salida del solvente y de manera manual abrir el obturador de la pistola para así asegurarse que el paso de pintura de la pistola esté totalmente abierto. Este proceso se hace mediante un dispositivo de obturación el cual trae incluido la máquina.
- ❖ Una vez puestas las pistolas y con el gatillo totalmente abierto se procede a enroscar un macho en la conexión de aire para tapar el ducto y evitar posibles entradas de solvente al interior de estas cavidades de aire, generando posibles daños al interior de estos.
- ❖ Se procede a darle encendido a la máquina lavadora.
- ❖ Finalmente acaba el ciclo y se abre la puerta de la recámara de lavado, se retira la pistola ya limpia y finalmente se quita el dispositivo que mantiene el gatillo accionado.
- ❖ Se dispone a usar la pistola aerográfica para su nueva aplicación.

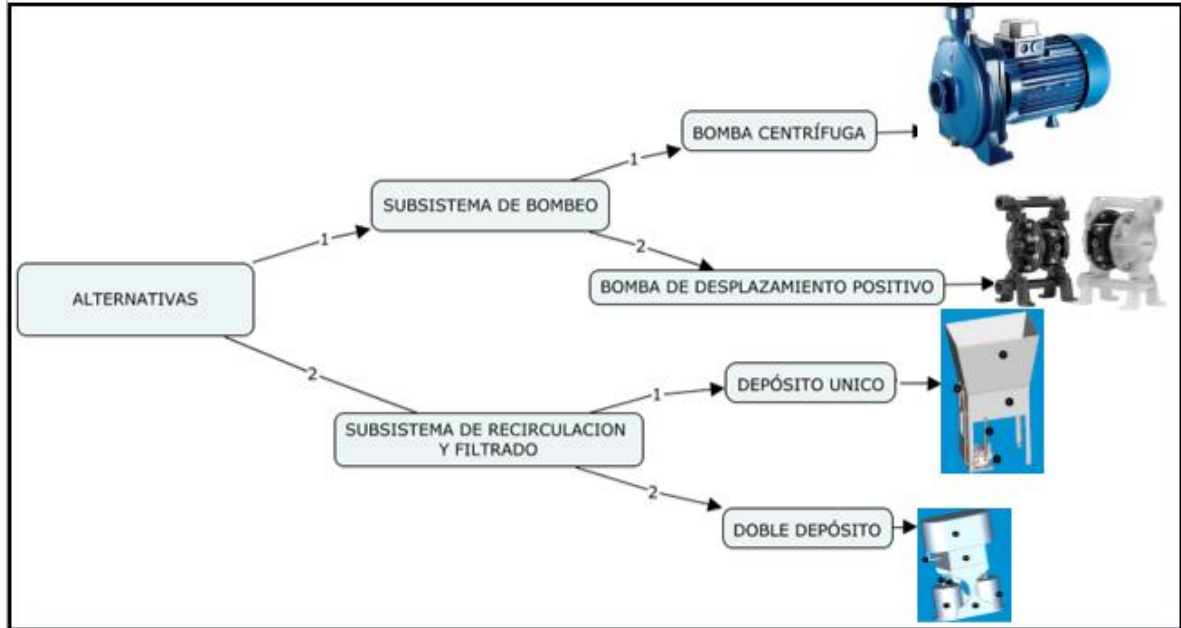
3.1 ALTERNATIVAS

Se plantean dos alternativas de diseño con el fin de solucionar el problema del lavado de pistolas aerográficas en la industria automotriz partiendo de los subsistemas anteriormente mostrados y cumpliendo con los requerimientos funcionales descritos en el capítulo dos.

Las alternativas que se muestran, se enfocan en el sistema de bombeo de la máquina y en el almacenamiento de Thinner o agente limpiador para su recirculación y filtrado.

Se muestra un mapa conceptual de los subsistemas con sus dos posibles alternativas para una mejor comprensión de esta sección.

Figura 9. Alternativas de diseño.



3.1.1 Alternativas del subsistema de bombeo de solvente.

3.1.1.1 Bomba con sistema de desplazamiento positivo tipo membrana neumática. Esta bomba se basa en el funcionamiento general de cuatro elementos que son: 2 diafragmas de membrana, un eje, una válvula de aire y cuatro válvulas de esfera. El movimiento variable de los diafragmas se produce por la succión y la impulsión del fluido (solvente) a través de las válvulas. Este movimiento lo produce el aire comprimido entra a la bomba desde el compresor.

Una de las bombas más comunes y usadas en la industria química es la de desplazamiento positivo de tipo membrana neumática.

Figura 10. Bomba neumática de desplazamiento positivo.



Fuente. <http://www.directindustry.es/>. Visto el 27 de febrero de 2016

Entre sus características generales se encuentran:

- ❖ Fácil limpieza y reparación.
- ❖ Resistencia a la abrasión.
- ❖ Fácil regulación de caudal con el aire.
- ❖ No poseen cierres neumáticos o empaquetaduras.

Esta es ideal para el manejo de sustancias corrosivas ya que tiene una buena resistencia química. Las membranas están disponibles en materiales como Neopreno, Buna-n, Nordel y Viton, que son elastómeros resistentes a altas temperaturas. Una parte importante de esta bomba es que es autocebante ya que puede aspirar en seco hasta una altura de 8 m dependiendo del tipo de bomba.

El precio de estas bombas, para la categoría de baja presión que está entre 5-10 bares, es aproximadamente de 627,00 USD.

3.1.1.2 Bomba centrífuga. Las bombas centrífugas son siempre rotativas y son un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica en energía cinética o de presión de un fluido incompresible. El fluido entra por el centro del rodete, que dispone de unos álabes para conducir el fluido, de tal manera que este llegue a las paredes de la carcasa y llegue a la salida de la bomba.³

³ SÁNCHEZ, Vicente. Clasificación y Funcionamiento de las Bombas Centrífugas. Universidad Fermín Toro, Vicerrectorado académico Facultad de Ingeniería. [Online] 16 de marzo de 2015 [citado el 18 de febrero de 2016]. Disponible en internet: < <http://es.slideshare.net/vicentesutera/bombas-centrifugas-40337> >

Figura 11. Bomba centrífuga.



Fuente. <http://mrelectromecanica.com.co/>.
Visto el 27 de febrero de 2016

Entre sus características más importantes se encuentran:

- ❖ Aumento de energía de presión al fluido.
- ❖ Su construcción es sencilla, de fácil reparación y su precio es bajo
- ❖ Puede utilizarse con líquidos que tienen partículas en suspensión y también con fluidos que manejan temperaturas de (-40 hasta 180) grados Celsius.
- ❖ No alcanzan presiones excesivas.
- ❖ Tienen que estar conectadas a un motor eléctrico.

La mayoría de bombas para este tipo de aplicaciones no tienen mayor problema en los materiales ya que generalmente sus álabes están construidos con hierro fundido o bronce.

La posición de la bomba centrífuga en la estructura es de fácil acomodación ya que no genera mayor espacio y algunas tienen la característica de que son auto-cebantes al igual que la de desplazamiento positivo por membrana, solo que en este caso la altura de aspiración es mucho menor.

Además de esto el sistema eléctrico no entra en contacto con el solvente lo cual puede generar algún riesgo de conflagración o accidente.

Por otra parte estas bombas son de construcción fácil y de bajo costo. El precio promedio para manejo de presiones medias oscila entre 27 y 30 USD.

3.1.2 Alternativa del subsistema de recirculación de solvente. Esta alternativa da una idea geométrica de cómo va a ser la estructura de la máquina y de las dimensiones aproximadas que va a tener.

3.1.2.1 Con depósito único. En el proceso de lavado de las pistolas, la recirculación es una parte fundamental, ya que uno de los propósitos principales es el ahorro de solvente. La alternativa con depósito único brinda una facilidad para drenar el disolvente de manera rápida, pero la calidad del solvente recirculado no es bueno ya que no hay un proceso de filtrado y este se degradaría más rápido.

Como se muestra en la Figura 12 el contenedor está conectado a la bomba, la cual impulsa el fluido a través de la tubería hasta las boquillas de salida para el lavado de las pistolas aerográficas.

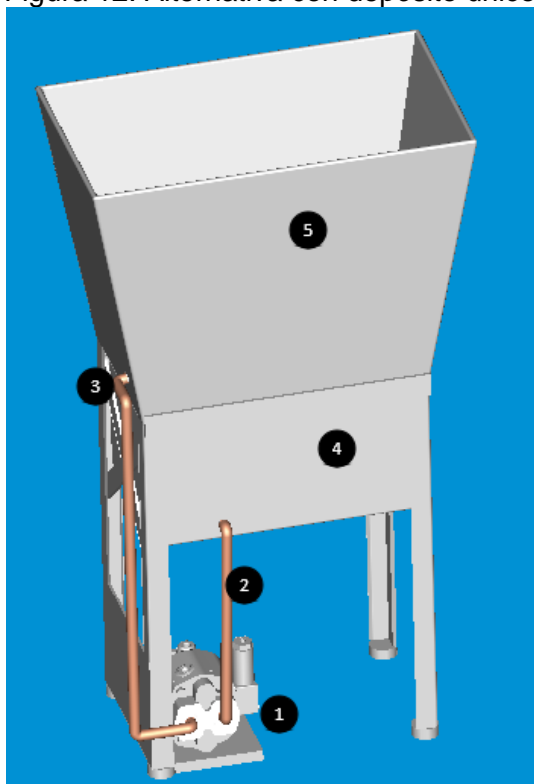
Cuadro 2. Componentes de la alternativa con depósito único.

Ítem	Descripción
1	Bomba
2	Tubería de aspiración
3	Tubería de descarga para el lavado de las pistolas
4	Compartimiento para el solvente
5	Recámara de lavado de pistolas

Consta también de una válvula a la salida, para drenar el disolvente sucio para posteriormente reemplazarlo por uno nuevo.

Una de las desventajas de este depósito es que las partículas de solvente sucio por proceso de decantación se acumularían en la parte de abajo y al momento de accionar la bomba recogería parte de esas partículas causándole daños y afectando su rendimiento.

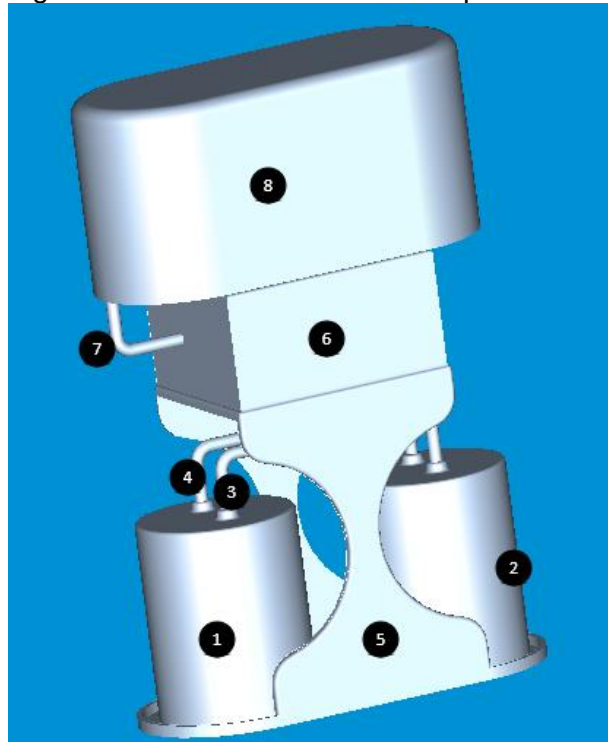
Figura 12. Alternativa con depósito único.



3.1.2.2 Con doble depósito para filtrado de solvente. Este sistema permite tener un mayor control en la recirculación de solvente ya que con dos contenedores se tiene una mejor calidad de filtrado y manejo de este.

La característica principal de esta alternativa es que el solvente filtrado tendrá una mayor duración ya que va a estar separado en otro contenedor diferente.

Figura 13. Alternativa con doble depósito.



Cuadro 3. Componentes de la alternativa con doble depósito.

Ítem	Descripción
1	Contenedor con solvente limpio
2	Contenedor con solvente recirculado y filtrado
3	Tubería de succión
4	Tubería de descarga con solvente ya filtrado
5	Estructura que soporta la máquina
6	Compartimiento donde se encuentra la bomba
7	Tubería de descarga lista para ir hacia la recámara de lavado
8	Recámara de lavado

3.2 SELECCIÓN DE ALTERNATIVA

3.2.1 Método de ponderación lineal. Para la selección de alternativas de cada uno de los subsistemas, se ha planteado de manera estratégica un método de ponderación lineal (SCORING) ya que es una sencilla de identificar la alternativa preferible en un problema de decisión multi-criterio. Las etapas del método son las siguientes.⁴

- ❖ Identificar una meta general del problema
- ❖ Identificar las alternativas
- ❖ Listar los criterios a emplear en la toma de decisión
- ❖ Asignar una ponderación para cada uno de los criterios
- ❖ Establecer en cuánto satisface cada alternativa a nivel de cada uno de los criterios
- ❖ Calcular el puntaje para cada una de las alternativas. La alternativa con el puntaje más alto representa la alternativa a recomendar

Modelo Matemático

Ecuación 1.
Ponderación lineal

$$S_j = \sum_i W_i r_{ij}$$

Donde

W_i = Ponderación para cada criterio

r_{ij} = Rating de la alternativa j en función del criterio i

S_j = Puntaje o Score para la alternativa j

A continuación se muestran los criterios para cada uno de los subsistemas.

a) Subsistema de Bombeo de solvente.

- ❖ Aumento de velocidad.
- ❖ Mantenimiento.
- ❖ Costo.

⁴ ROCHE, Hugo. Método cualitativo multicriterio-Método Scoring. Universidad Uruguay. [online], junio 2005. Citado 1 de marzo de 2016. Disponible en internet <<http://www.ccee.edu.uy/ensenian/catmetad/material/MdA-Scoring-AHP.pdf>>

❖ Tamaño.

b) Subsistema de recirculación y filtrado de solvente.

- ❖ Facilidad de drenaje.
- ❖ Mantenimiento.
- ❖ Calidad de solvente recirculado.
- ❖ Ahorro de solvente.

En esta tabla se muestra la ponderación para cada uno de los criterios de selección en la escala de 1 a 5 puntos.

1 = Muy poco importante.

2 = Poco importante.

3 = Importancia Media.

4 = Algo importante.

5 = Muy importante.

Cuadro 4. Ponderación de alternativas.

Subsistema de bombeo		Subsistema de recirculación y filtrado	
Criterios	Ponderación W_i	Criterios	Ponderación W_i
Aumento de velocidad	5	Facilidad de drenaje	4
Mantenimiento	4	Mantenimiento	4
Costos	3	Calidad del solvente	5
Tamaño	1	Ahorro de solvente	5

Luego de esto se estableció una evaluación de satisfacción para cada alternativa empleando una escala de 1 a 9.

1 = Extra bajo

2 = Muy bajo

3 = Bajo

4 = Poco Bajo

5 = Medio

6. = Poco alto

7. = Alto

8. = Muy alto

9. = Extra Alto

Se muestran las tablas de los subsistemas con las alternativas y el Rating de satisfacción para cada una de ellas.

Cuadro 5. Rating de satisfacción para el subsistema de bombeo.

Subsistema de bombeo	Criterios	Bomba Centrífuga	Bomba Reciprocante
		r_{j1}	r_{j2}
	Aumento de velocidad	7	6
	Mantenimiento	8	7
	Costos	7	4
	Tamaño	5	8

Cuadro 6. Rating de satisfacción para subsistema de recirculación y filtrado.

Subsistema de recirculación y filtrado	Criterios	Único Contenedor	Doble Contenedor
		r_{j1}	r_{j2}
	Facilidad de drenaje	9	8
	Mantenimiento	5	6
	Calidad de solvente	5	8
	Ahorro de disolvente	5	8

Por último se calcula el puntaje (Score) mediante la ecuación. Los resultados se muestran en los siguientes cuadros.

Cuadro 7. Score subsistema de bombeo.

Subsistema de bombeo	Criterios	Bomba Centrífuga	Bomba Reciprocante
		$W_j r_1$	$W_j r_2$
	Aumento de velocidad	35	30
	Mantenimiento	32	28
	Costos	28	16
	Tamaño	5	8<<
	Puntaje S_j	100	82

Según el método de ponderación lineal Scoring muestra que lo ideal y lo más conveniente para el desarrollo del proyecto es que el solvente de la máquina lavadora de pistolas de pintura sea impulsado por una bomba centrífuga hacia la tubería donde se lavarán las pistolas.

Cuadro 8. Score subsistema de recirculación y filtrado.

	Criterios	Único Contenedor $W_i r_1$	Doble Contenedor $W_i r_2$
Subsistema de recirculación y filtrado	Facilidad de drenaje	36	32
	Mantenimiento	20	24
	Calidad de solvente	25	40
	Ahorro de solvente	25	40
	Puntaje S_j	106	136

Según el método de ponderación lineal Scoring muestra que lo ideal y lo más conveniente para el desarrollo del proyecto es que la máquina lavadora de pistolas de pintura tenga dos contenedores para una mejor circulación del solvente

Esta parte es fundamental ya que a partir de esto se va a desarrollar el proyecto, el diseño y los cálculos con harán en base en esta parte del capítulo.

4. DISEÑO FUNCIONAL

En las diferentes industrias se han venido desarrollando diferentes procesos de limpieza de instrumentos y herramientas buscando un adecuado mantenimiento y funcionamiento de éstas. Para el caso de las pistolas aerográficas un sistema que más se acomoda, es el del CIP (Clean In Place) por sus siglas en inglés.

Este proceso se usa mucho en la industria de alimentos y también en la de tuberías, ya que son zonas críticas y necesariamente tienen que hacerse en el sitio de la operación.

Este sistema de limpieza se basa en limpiar el circuito por donde circula el producto, haciendo pasar los líquidos de limpieza en circuito cerrado, es decir, tanto el agua de enjuague, como las soluciones detergentes que circulan a través de los depósitos, tuberías y líneas de proceso sin la necesidad de desmontar el equipo.

El objetivo de este proceso de limpieza maneja tres propósitos:

- ❖ Limpieza: eliminación de suciedad.
- ❖ Desinfección: reducción del número de bacterias.
- ❖ Esterilización: eliminación de todas las bacterias.

Para el caso de las pistolas aerográficas solo comprendería el primer ítem ya que los demás son más enfocados a la parte de alimentos.

La efectividad de la limpieza mediante este sistema se determina mediante cinco elementos, los cuales son:

- ❖ Tiempo de duración del ciclo de limpieza.
- ❖ Agente de limpieza, productos químicos.
- ❖ Temperatura.
- ❖ Velocidad/caudal de paso de la disolución de limpieza a través de la tubería.
- ❖ Frecuencia entre ciclos de limpieza.

Para este caso solo se eliminaría la parte de temperatura y frecuencia entre ciclos ya que no hacen parte fundamental del proceso de lavado de las pistolas.

Si bien este sistema no es usado para la limpieza de las pistolas aerográficas, se puede usar como referencia para establecer algunos parámetros de velocidad y caudal del solvente a través de las tuberías.

El factor importante en este proceso es el uso de solvente apropiado para hacer la limpieza de las pistolas. En la actualidad el Thinner es el que más se usa y para el cual se van hacer los cálculos de velocidad y caudal.

Uno de los requisitos de este proceso (CIP) para sistemas cerrados, es que el líquido detergente esté en régimen turbulento y tenga una velocidad promedio entre 4 y 6 m/s. Estos valores dan una idea para empezar a parametrizar el proyecto de la máquina lavadora de pistolas aerográficas.⁵

Como se mencionó anteriormente son datos de referencia ya que finalidad del lavado es distinta, lo que proporciona es una idea del rango de velocidades que se usa en los sistemas cerrados de limpieza.

Como medida inicial se debe tener en cuenta que la velocidad mínima debe ser de 6 m/s, debido a que se necesita un chorro de solvente lo bastante fuerte para que impacte en las cavidades de los ductos internos de la pistola y remover las partículas de pintura que quedan dentro de este compartimiento.

Concretamente, si velocidades de 6 m/s o superiores son posibles, de cualquier modo sería muy recomendable. Para el caso se mantendrá un intervalo de **5 a 7 m/s** ya que las cavidades internas de la pistola son pasajes muy restringidos.

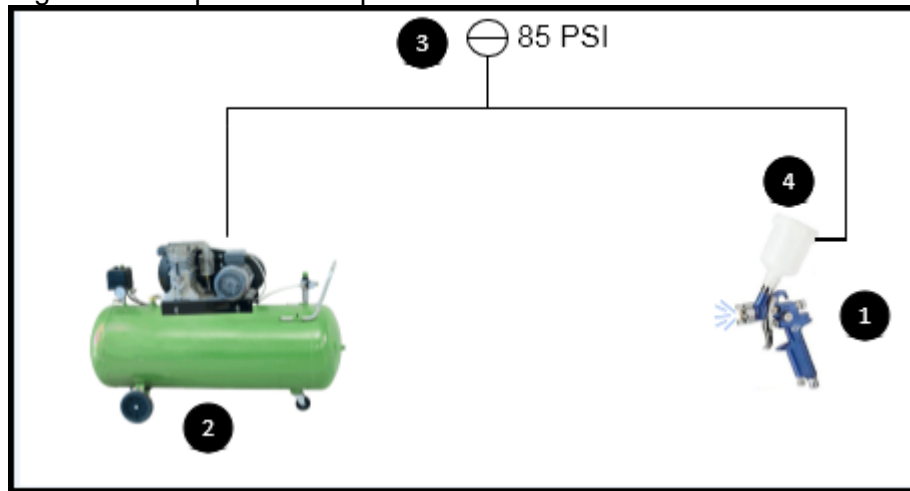
4.1 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL INICIAL

Un experimento práctico y eficiente, es haciéndole una adaptación a la taza de pintura de la pistola, exactamente en el “respiradero”, donde se pueda conectar a una línea de aire presurizada, luego de esto llenarla con 500 cm³ de agua y prender el compresor que simulará la bomba, para imprimirle una fuerza de empuje necesaria para desocupar la taza de la pistola y contabilizar el tiempo que esta demore en desocuparse.

A continuación se muestra un esquema del experimento a una presión dada por el compresor de 85 psi que equivale a 5,86 bares.

⁵ AURUM PROCESS, Proceso de limpieza (CIP), Tecnología en limpieza. [online], enero 2010. Citado 28 de febrero de 2016. Disponible en internet. <<http://www.aurumprocess.com /proceso-de-limpieza> >

Figura 14. Esquema del experimento



Cuadro 9. Componentes del experimento.

Ítem	Descripción
1	Pistola aerográfica
2	Compresor
3	Indicador de presión
4	Taza de pintura de la pistola por donde ingresa el aire

Repitiendo varias veces el experimento se tiene el resultado de que la taza de pintura que contiene 500 cm^3 de agua se desocupa en un tiempo de 11 segundos.

Pasando este valor por segundo, quedaría:

$$Q = \frac{500 \text{ cm}^3}{11 \text{ s}} = 45,45 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$Q = 45,45 \text{ cm}^3/\text{s} = 4,55 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} = 2,73 \text{ l}/\text{min}$$

De esta manera se puede empezar un diseño de tubería y selección de bomba con base en el caudal requerido.

4.2 DIAGRAMA GENERAL DE FUNCIONAMIENTO

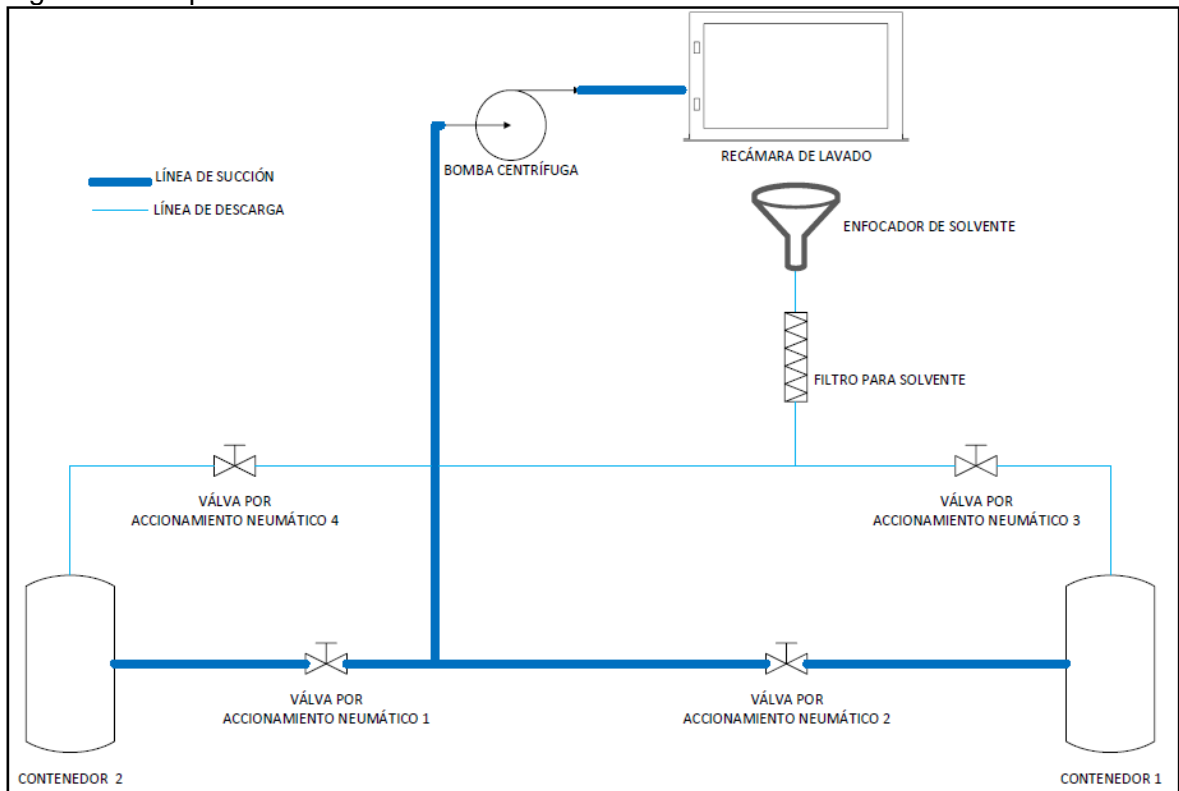
Se muestra un esquema básico del funcionamiento de la máquina. Figura 15.

Los sistemas de control en tuberías que manejan hidrocarburos o derivados, en este caso, solventes, es recomendable que se utilicen sistemas de mando neumáticos ya que por manejar este tipo de fluidos contempla un rango de prevención en caso de alguna conflagración o accidente. Por esta razón las válvulas dentro del sistema no se manejan por accionamiento eléctrico.

El funcionamiento del sistema automatizado es el siguiente: Después de varios ciclos de lavado el PLC envía una señal eléctrica hacia el distribuidor Manifold de 4 electroválvulas 5/2 y este a su vez envía una señal neumática dentro del sistema a la válvula para su accionamiento. Los componentes eléctricos están aislados por una caja de protección de manera que impide cualquier contacto con fluidos externos.

El funcionamiento empieza cuando se introducen las pistolas en la recámara, una vez completado el ciclo de lavado, el solvente sucio pasa por el filtro almacenándolo en otro contenedor (contenedor 2) diferente al de succión, de esta manera durante varios ciclos. Cuando el contenedor de Thinner reciclado se llena (contenedor 2), la configuración de las válvulas cambia y empieza a funcionar nuevamente pero esta vez con el contenedor de Thinner filtrado y almacenándolo en el inicial (contenedor 1). Este proceso es cíclico. Ver figura 15.

Figura 15. Esquema funcional del sistema.



5. DISEÑO DETALLADO

En este capítulo se lleva a cabo el diseño detallado de ingeniería, que consiste en los cálculos para cada uno de los sistemas y subsistemas mencionados en el capítulo 3 como lo son el sistema hidráulico, estructura de la máquina y automatización.

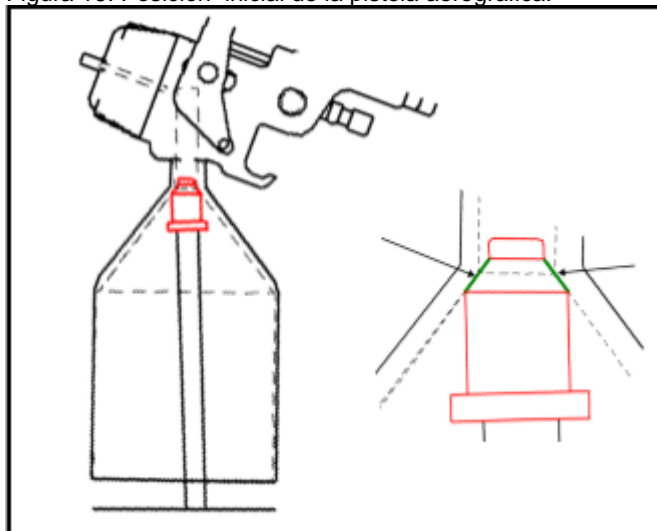
En la parte hidráulica se definen los materiales de tubería y su respectiva cédula, se analiza el caudal requerido que entrega la bomba, se hace el cálculo de velocidades, pérdidas de energía por fricción y por accesorios, se plantea la ecuación de Bernoulli para los puntos deseados y finalmente se selecciona la bomba.

En la parte estructural se definen los materiales y perfiles de vigas según las cargas a las que estén sometidas.

Finalmente se realiza el montaje del PLC para el control de las válvulas hidráulicas.

La manera adecuada para la colocación inicial de la pistola, es haciendo coincidir la boquilla de salida de solvente con la entrada de pintura de la taza; de tal forma se garantiza que el chorro entre en la dirección correcta. Es por esto que la conicidad de la boquilla debe tener un diámetro aproximado al orificio del agujero de la taza de pintura, el cual es de 7 mm; ésta medida es estándar para todas las pistolas.

Figura 16. Posición inicial de la pistola aerográfica.



De esta manera, la pistola queda totalmente suspendida por el tubo asegurándose por la boquilla y el agujero de la taza, sin que permita algún movimiento durante la salida del solvente por las demás boquillas.

5.1 SISTEMA HIDRÁULICO

Para definir el material del tubo es necesario conocer las características y propiedades del Thinner que es el solvente más usado para la aplicación en pinturas.

El Thinner industrial corriente no tiene propiedades agresivas de abrasión y corrosión en acero, hierro dúctil, aleaciones de cobre, aluminio, entre otros. Por otro lado los empaques de silicona y caucho a lo largo de su vida útil generan un deterioro del material y pérdida de sus propiedades al contacto con el Thinner.

Según esta información un material apropiado para la tubería sería de acero comercial.

Como se estipuló en el capítulo anterior las velocidades alcanzadas deben estar en un intervalo de 5 a 7 m/s en la salida de la boquilla, se comienza el diseño con una tubería de 0,0092 m (¼”) como diámetro tentativo, para luego corroborarlo con el caudal ya definido en el diseño funcional y observar si el resultado de la velocidad se encuentra en el intervalo. De igual manera se escoge un diámetro de tubería de 0,026 m (1”) que se conecta a la bomba, ya que la rosca de la bomba generalmente es de 0,026 m (1”) para este tipo de aplicaciones.

Se muestra en la Figura 17 las dimensiones de tubería cédula 40 para 0,0092 m (¼”) y 0,026 (1”).

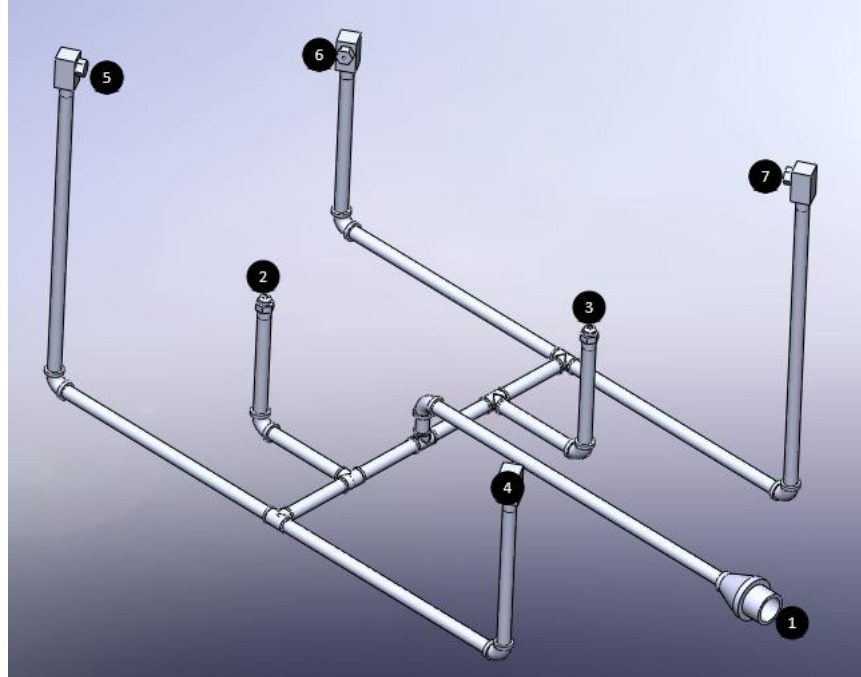
Figura 17. Dimensiones de tubería.

Tamaño nom. de tubería (pulg)	Diámetro exterior		Espesor de pared		Diámetro interior			Flujo de área	
	(pulg)	(mm)	(pulg)	(mm)	(pulg)	(pies)	(mm)	(pies ²)	(m ²)
¼	0.540	13.7	0.088	2.24	0.364	0.0303	9.2	0.000 723	6.717×10^{-5}
1	1.315	33.4	0.133	3.38	1.049	0.0874	26.6	0.006 00	5.574×10^{-4}

Fuente: MOTT, Robert (2006), Mecánica de fluidos, México; PEARSON, Educación, P220

5.1.1 Análisis de caudal. Se muestra un esquema de la funcionalidad de las boquillas. Véase Figura 18 y Cuadro 10.

Figura 18. Funciones de boquillas y aspersores.



Como se explicó anteriormente (Figura 16) la pistola se pone boca abajo coincidiendo la entrada de pintura con la salida del solvente al final de la boquilla.

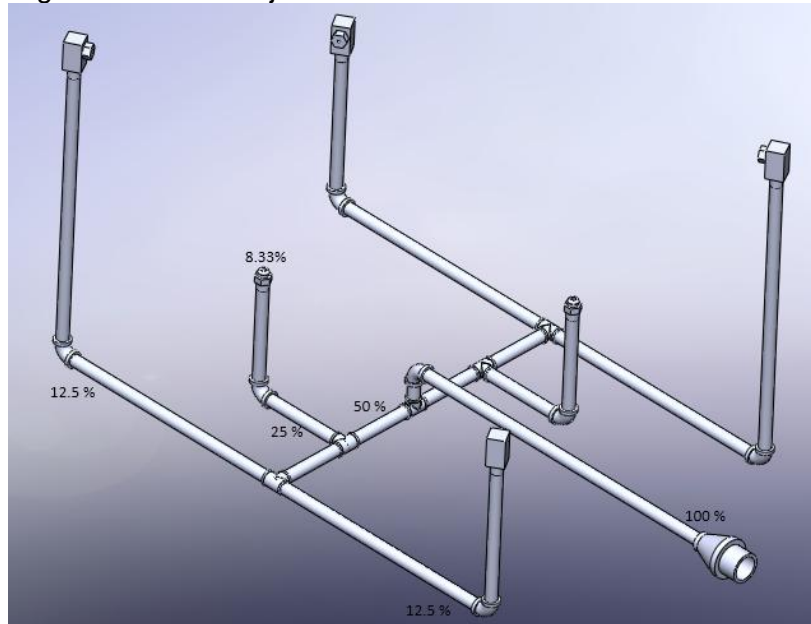
Para hallar el caudal total que entra al sistema se empieza por ver las ramificaciones y divisiones de caudal que este sufre a lo largo del trayecto. Ver Cuadro 12.

Se muestran en la Figura 19 las divisiones en porcentaje del caudal.

Cuadro 10. Funciones de boquillas y aspersores.

Ítem	Descripción
1	Tubería por donde entra el caudal inicial
2	Boquilla de salida para el lavado interior de la pistola 1
3	Boquilla de salida para el lavado interior de la pistola 2
4	Boquilla para lavado externo parte inferior de la pistola 2
5	Boquilla para lavado externo parte superior de la pistola 1
6	Boquilla para lavado externo parte inferior de la pistola 1
7	Boquilla para lavado externo parte superior de la pistola 2

Figura 19. Porcentajes de caudal.



Como se ve en las ramificaciones, al cambiar los caudales cambian las velocidades y esto influye directamente en las pérdidas de energía.

Como se demostró experimentalmente, en el capítulo 4, el caudal necesario para la salida de la boquilla principal, ítem 2 y 3 (Cuadro 10 y Figura 18) es de $4,55 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ ($2,73 \text{ l}/\text{min}$).

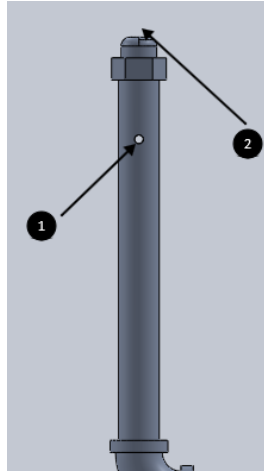
Este caudal de $4,55 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ representa un 8.33 % (Figura 19) del caudal total de entrada. Por esa misma ramificación de 25 % existen otros dos orificios con el mismo diámetro de salida de la boquilla principal. Con el fin de no alterar las velocidades.

Se hace un bosquejo para una interpretación más clara de esta división de caudal (tramo de 25%).

Cuadro 11. Descripción para la salida de solvente figura 20.

Ítem	Descripción
1	Salida de solvente por un orificio pasante para lavar la taza de pintura
2	Salida de solvente por la boquilla para lavar los ductos internos.

Figura 20. Detalle para la salida de solvente.



Como se observa en la Figura 20 el caudal se divide en tres, ya que la sección transversal de los tres orificios es la misma, es decir, el caudal se divide en 3 partes iguales, que equivalen al 8,33% del caudal de entrada.

De tal manera, el caudal de entrada que equivale al 100% es de:

$$\frac{100\% \times 2,73 \text{ l/min}}{8,3\%} = 32,76 \text{ l/min} = 5,47 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

Este cálculo permite conocer qué caudal tiene que entregar la bomba. Se muestra el Cuadro 12 con sus caudales según sus ramificaciones de la Figura 19.

Sabiendo el caudal que pasa por cada tramo y su sección transversal, se halla la velocidad.

❖ Diámetro de boquilla

Teniendo en cuenta que la velocidad debe estar entre 5 y 7 m/s y el caudal igual a $4,54 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ (8,33%), se calcula el diámetro de la boquilla.

Cuadro 12. Porcentajes de Caudal.

Porcentaje	Caudal en m ³ /s
100%	$5,47 \times 10^{-4}$
50%	$2,74 \times 10^{-4}$
25%	$1,37 \times 10^{-4}$
12,50%	$6,84 \times 10^{-5}$
8,33%	$4,54 \times 10^{-5}$

Ecuación 2. Caudal

$$Q = \text{Velocidad} \times \text{Superficie (A)}$$

Fuente. MOTT, Robert, Mecánica de fluidos.

Despejando "A"

$$A = \frac{Q}{V}$$

$$A = \frac{4,54 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}{6,5 \text{ m/s}}$$

$$A = 6,98 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

Se toma la velocidad de 6,5 m/s ya que se encuentra en el intervalo dado. Por último se despeja el radio de la sección transversal.

$$r = \sqrt{\frac{6,98 \times 10^{-6} \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$r = 0,00147 \text{ m}$$

Se toma un diámetro de boquilla de 3 mm.

5.1.2. Análisis de velocidades.

Comprobación de diámetro de tubería.

❖ Velocidad para la tubería de diámetro 0,026 m (1").

$$\text{Vel} = \frac{\text{Caudal}}{\text{Superficie}}$$

Esta velocidad se calcula con el 100% del caudal (caudal en entregado por la bomba) y la sección transversal mostrado en la figura 17 correspondiente a 0,026 m (1").

$$\text{Vel} = \frac{5,47 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{5,574 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 1,03 \text{ m/s}$$

❖ Velocidad para la tubería de 0,0092 m (¼”).

Se toma el caudal de entrada (100%) y una sección transversal de 0,0092 m (¼”) descritos en la figura 17.

$$\text{Vel} = \frac{5,47 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{6,717 \times 10^{-5} \text{ m}^2} = 8,54 \text{ m/s}$$

Al igual que para el caudal se hace un cuadro de velocidades con sus respectivos porcentajes para la tubería de 0,0092 m (¼”).

Cuadro 13. Porcentajes de velocidad para la tubería de 0,0092 m (¼”)

Porcentaje	Velocidad (m/s)
100%	8,54
50%	4,07
25%	2,04
12,50%	1,02
8,33%	6,42

De esta manera se comprueban los diámetros dados al principio del diseño, ya que se observa una velocidad de 6,42 m/s a la salida de la boquilla (8,33% Cuadro13).

5.1.3 Análisis de alturas y distancias. Para el cálculo de pérdidas, inicialmente se hace un bosquejo donde se muestran las distancias y alturas que recorre el fluido desde el contenedor hasta las boquillas, que es donde finalmente el chorro de solvente sale para limpiar las pistolas aerográficas.

En la Figura 21 se hace una representación general de conjunto con su descripción en el cuadro 14.

La tubería de 0,0092 m (¼”) es la que se localiza dentro de la recámara de lavado, antecedida por una restricción la cual conecta a la tubería de 0,026 m (1”).

Cuadro 14. Componentes del esquema general de tubería de la figura 21

Ítem	Descripción
1	Contenedor 1
2	Contenedor 2
3	Válvula de paso por accionamiento neumático
4	Bomba centrífuga
5	Tubería de 0,0092 m (¼”)
6	Tubería de 0,026 m (1”)
7	Restricción

Figura 21. Esquema general de tubería.

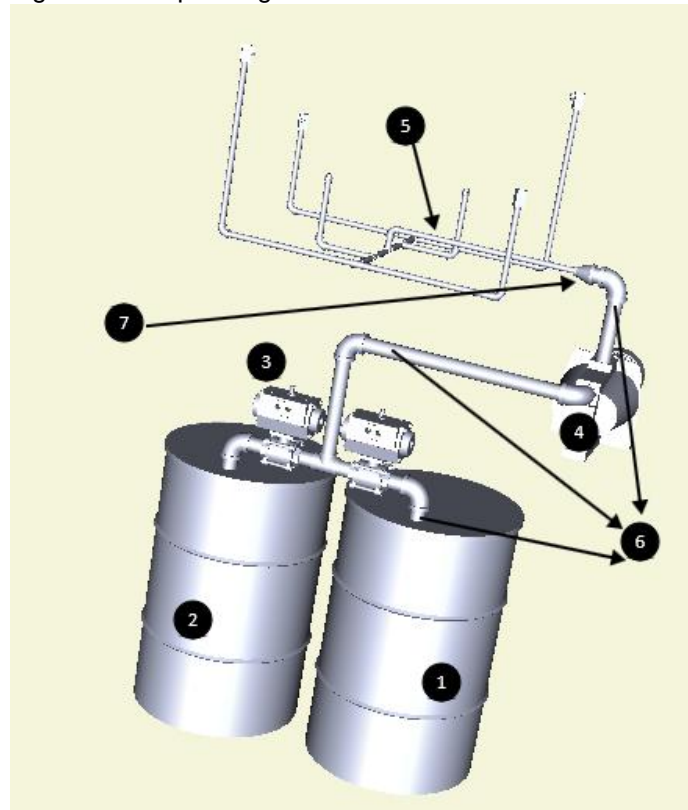
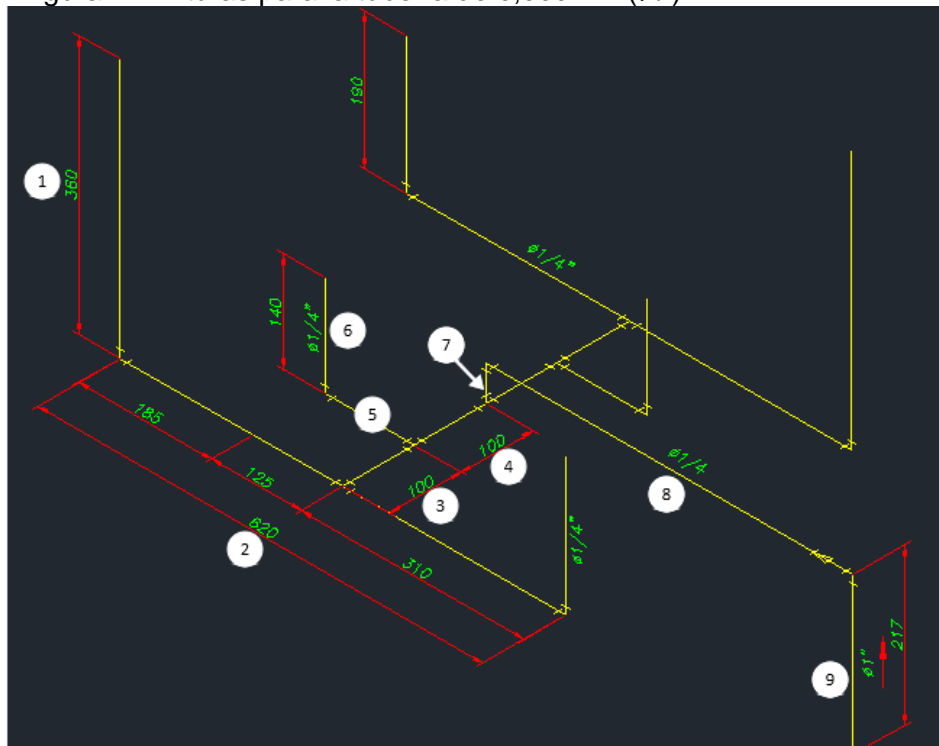
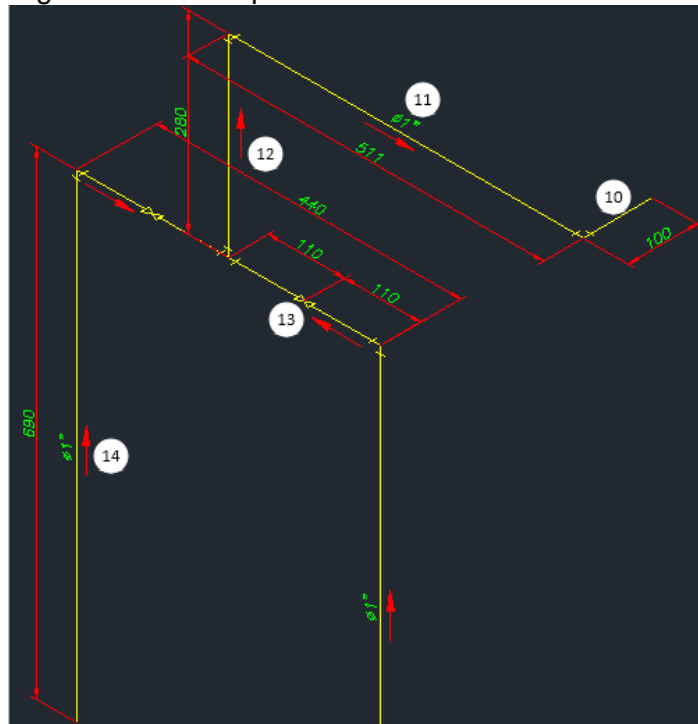


Figura 22. Alturas para la tubería de 0,0092 m (1/4")



En la Figura 23 se muestra el conjunto de tubería de succión, con sus medidas.

Figura 23. Alturas para tubería de succión.



5.1.4 Pérdida de energía. El método que se usa para hallar las pérdidas de energía por fricción en la tubería y por accesorios, inicialmente, es determinando la longitud total de las tuberías de succión, descarga y de 0,0092 m ($\frac{1}{4}$ " de diámetro).

Debido a que la tubería de 0,0092 m ($\frac{1}{4}$ " conforma un sistema en paralelo, solo se hallan las pérdidas en un solo lado a partir de donde está la primera división de caudal.

Además de esto las medidas son iguales para cada tramo de tubería. Después de esto, se halla el número de Reynolds para cada sector de tubería, ya que este depende de la velocidad y el diámetro. Finalmente se hallan los factores de fricción.

Es una manera práctica de hallar las pérdidas, pero esto sería ejemplar solo para el caso de la succión y descarga. Para la de tubería de 0,0092 m ($\frac{1}{4}$ " el comportamiento es un poco diferente ya que en esta tubería se necesita hallar varios puntos de presiones y determinar la presión donde el caudal es total, es decir a la entrada, para poder plantear una ecuación de energía donde se conozcan las presiones y velocidades, para así finalmente hallar la altura de la bomba e ir a los catálogos de selección de bombas y determinar cuál es la que más se acomoda a la situación presentada.

5.1.4.1 Pérdidas por fricción y accesorios en la succión.

- ❖ Diámetro nominal: 0,026 m (1”).
- ❖ Según el Anexo G, el diámetro interno es de: 26,6 mm
- ❖ Longitud de tubería total de succión: 1801 mm
- ❖ Velocidad: 1,03 m/s
- ❖ Viscosidad: 1,14 cST a 25 ° C
- ❖ Número de Reynolds

Ecuación 3. Número de Reynolds

$$N_R = \frac{vD\rho}{\eta} = \frac{vD}{\nu}$$

Fuente. MOTT, Robert.
Mecánica de fluidos.

$$N_R = \frac{(1,03 \text{ m/s})(0,0266\text{m})}{1,14 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$N_R = 23491,22$$

Factor de fricción según el Diagrama de Moody (Anexo L)= 0,026. Corrección de factor de fricción mediante la ecuación de P.K Swamee y A.K. Jaén para flujo turbulento.

Ecuación 4. Factor de fricción para zonas de completa turbulencia.

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7(D/\epsilon)} + \frac{5,74}{N_R^{0,9}} \right) \right]^2}$$

Fuente. MOTT, Robert.
Mecánica de fluidos.

Se toma la rugosidad ϵ el valor de Acero comercial o soldado, para todas las tuberías del sistema.

Figura 24. Rugosidad para Acero, comercial o soldado.

Material	Rugosidad ϵ (m)	Rugosidad ϵ (pie)
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	3.0×10^{-7}	1.0×10^{-6}
Tubo extruido; cobre, latón y acero	1.5×10^{-6}	5.0×10^{-6}
Acero, comercial o soldado	4.6×10^{-5}	1.5×10^{-4}
Hierro galvanizado	1.5×10^{-4}	5.0×10^{-4}
Hierro dúctil, recubierto	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Hierro dúctil, no recubierto	2.4×10^{-4}	8.0×10^{-4}
Concreto, bien fabricado	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Acero remachado	1.8×10^{-3}	6.0×10^{-3}

Fuente: MOTT, Robert (2006), Mecánica de fluidos, México; PEARSON, Educación, P225.

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7(1733)} + \frac{5,74}{23491,22^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0,0263$$

Ecuación de Darcy para la pérdida por fricción.

Ecuación 5. Darcy

$$h_L = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g}$$

Fuente. MOTT, Robert.
Mecánica de fluidos.

$$h_L = 0,027 \times \frac{1,8\text{m}}{0,026\text{ m}} \times \frac{(1,03\text{ m/s})^2}{2 \times 9,81\text{ m/s}^2}$$

$$h_L = 0,108\text{ m}$$

❖ Accesorios encontrados, codos a 90 estándar y Te.

Ecuación 6. Factor de fricción para accesorios.

$$K = f_t \times \frac{L_e}{D}$$

Fuente. MOTT, Robert. Mecánica de fluidos.

Ecuación 7. Pérdida por accesorio

$$h_L = K \times \frac{v^2}{2g}$$

Fuente. MOTT, Robert. Mecánica de fluidos.

Codo a 90 estándar.

Se localiza la longitud equivalente en diámetros de tubería $\frac{L_e}{D}$ para los codos.

Figura 25. Longitud equivalente en diámetros de tubería.

Tipo	Longitud equivalente en diámetros de tubería L_e/D
Válvula de globo—abierta por completo	340
Válvula de ángulo—abierta por completo	150
Válvula de compuerta—abierta por completo	8
— $\frac{3}{4}$ abierta	35
— $\frac{1}{2}$ abierta	160
— $\frac{1}{4}$ abierta	900
Válvula de verificación—tipo giratorio	100
Válvula de verificación—tipo bola	150
Válvula de mariposa—abierta por completo, 2 a 8 pulg	45
—10 a 14 pulg	35
—16 a 24 pulg	25
Válvula de pie—tipo disco de vástago	420
Válvula de pie—tipo disco de bisagra	75
Codo estándar a 90°	30
Codo a 90° de radio largo	20
Codo roscado a 90°	50
Codo estándar a 45°	16
Codo roscado a 45°	26
Vuelta cerrada en retorno	50
Te estándar—con flujo directo	20
—con flujo en el ramal	60

Fuente: MOTT, Robert (2006), Mecánica de fluidos, México; PEARSON, Educación, P297.

$$K = 0,023 \times 30$$

$$K = 0,69$$

Luego se reemplaza el valor de K en la ecuación 7 y se multiplica por el número de codos en el sistema.

$$h_L = 0,69 \times \frac{(1,03 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2}$$

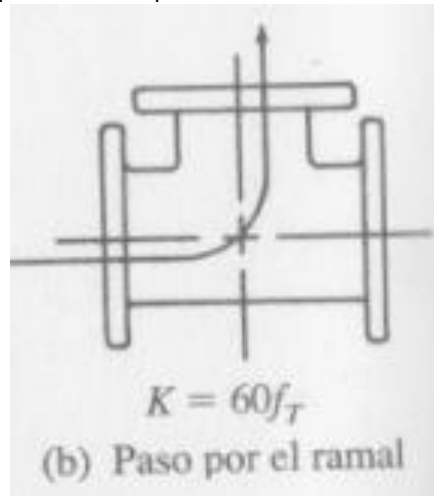
$$h_L = 0,036 \text{ m} \times 3$$

$$h_L = 0,108 \text{ m}$$

Tee, paso por ramal.

Se hace el mismo cálculo que para el codo, pero con distinto K.

Figura 26 Factor de fricción de un Tee con paso de fluido por ramal.



Fuente: MOTT, Robert (2006), Mecánica de fluidos, México; PEARSON, Educación, P296.

$$K = 60 \times 0,023$$

$$K = 1,38$$

$$h_L = 1,38 \times \frac{(1,03 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_L = 0,074 \text{ m}$$

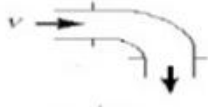

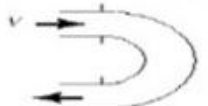



Válvula de bola por accionamiento neumático.

Esta se toma como una válvula de bola. Sus especificaciones de medida se encuentran en el anexo (I) y su valor K en la figura 27.

$$h_L = 0,05 \times \frac{(1,03 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_L = 0,0027 \text{ m}$$

Figura 27. Factor de fricción para válvula de bola.

Coeficientes de pérdida para componentes de tubería $(h_L = K_L \frac{V^2}{2g})$		
Component	K_L	
a. TUBOS ACODADOS		
Regular de 90°, embridado	0.3	
Regular de 90°, roscado	1.5	
De 90° con gran radio, embridado	0.2	
De 90° con gran radio, roscado	0.7	
De 45° con gran radio, embridado	0.2	
Regular de 45°, roscado	0.4	
b. CODOS DE 180°		
Codo de 180°, embridado	0.2	
Codo de 180°, roscado	1.5	
c. CONEXIONES EN T		
Flujo de línea, embridado	0.2	
Flujo de línea, roscado	0.9	
Flujo derivado, embridado	1.0	
Flujo derivado, roscado	2.0	
d. UNION ROSCADA		
	0.08	
e. VALVULAS		
De globo, completamente abierta	18	
De ángulo, completamente abierta	2	
De compuerta, completamente abierta	0,15	
De compuerta, 1/4 cerrada	0,26	
De compuerta, 1/2 cerrada	2,1	
De compuerta, 3/4 cerrada	17	
De retención a bisagra, flujo hacia adelante	2	
De retención a bisagra, flujo hacia atrás	infinito	
De bola, completamente abierta	0,05	
De bola, 1/3 cerrada	5,5	
De bola, 2/3 cerrada	2,15	

Fuente <http://es.slideshare.net/LuismartinRodriguez1/perdidas-menores-mecánica-de-los-fluidos>. Visto el 2 de marzo de 2016.

5.1.4.2 Pérdidas por fricción y accesorios en la descarga.

- ❖ Diámetro nominal: 0,026 m (1”).
- ❖ Según el anexo G el diámetro interno es de: 26,6 mm
- ❖ Longitud de tubería total de descarga: 220 mm

- ❖ Velocidad: 1,03 m/s
- ❖ Número de Reynolds: 23491,22.
- ❖ Factor de fricción: 0,0289.
- ❖ Pérdida por fricción con Darcy.

$$h_L = 0,029 \times \frac{0,0197 \text{ m}}{0,026 \text{ m}} \times \frac{(1,03 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_L = 0,0012 \text{ m}$$

- ❖ Accesorios encontrados: codos a 90° estándar y contracción gradual.

Pérdida en codo.

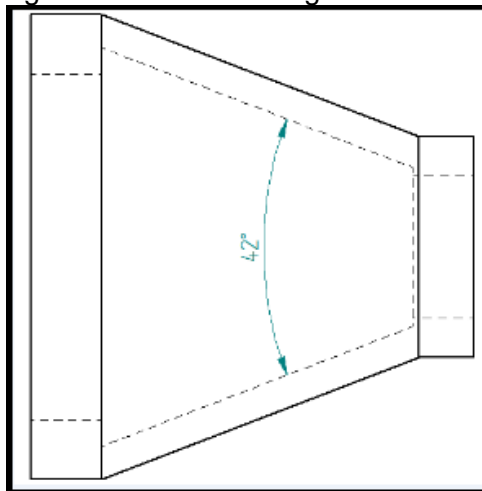
$$h_L = 0,036 \text{ m}$$

Pérdida por contracción gradual. Véase Anexo G Para las especificaciones de medida.

Para este caso se tiene que hallar el ángulo de la restricción, como se observa en la Figura 28.

Contracción usada y normalizada de 0,026 m (1") a 0,0092 m (¼").

Figura 28. Contracción gradual a 42°

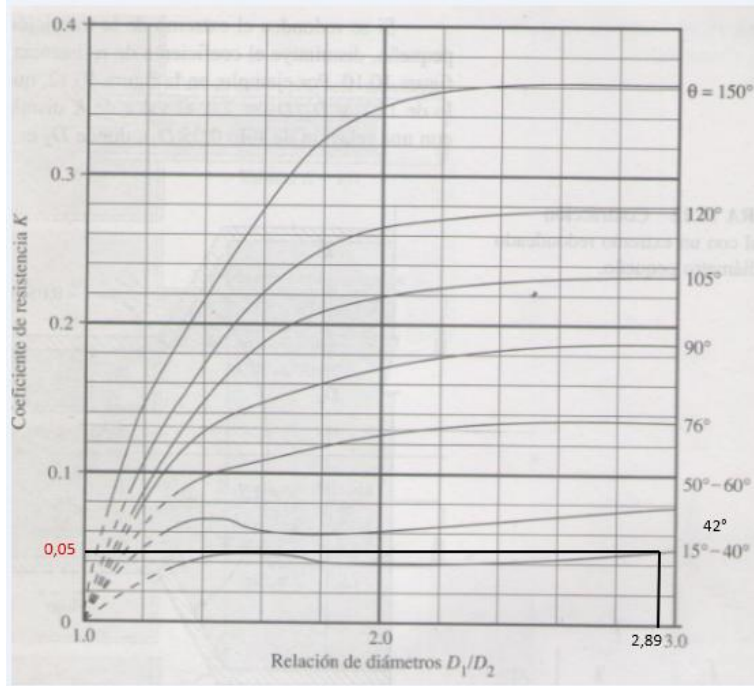


Luego de que se tiene el ángulo se procede a observar la gráfica de la Figura 29 para hallar el coeficiente de resistencia K.

La relación de diámetros es igual a:

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{26,6}{9,2} = 2,89$$

Figura 29. Gráfica de valores de K según el Ángulo.



Fuente: MOTT, Robert (2006), Mecánica de fluidos, México; PEARSON, Educación, P291.

$$K = 0,05$$

Se toma la velocidad del tubo con menor superficie:

$$h_L = 0,05 \times \frac{(8,54 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_L = 0,18 \text{ m}$$

A manera de resumen se presentan la suma de pérdidas en la succión y descarga de la tubería de 0,026 m (1”).

Cuadro 15. Resumen de pérdidas en la succión y en la descarga.

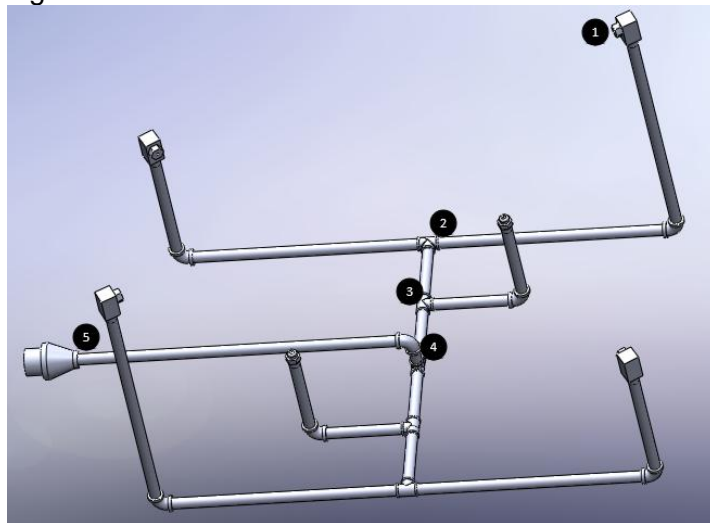
Conjunto Pérdida	Succión (m)	Descarga (m)
Fricción	0,216	0,0012
Accesorios	0,077	0,26
Total	0,3	0,26

Las pérdidas totales fueron de 0,56 m.

5.1.4.3 Pérdidas por fricción y accesorios en la Tubería de 0,0092 m (¼”) de diámetro. Como se mencionó anteriormente para esta parte se hace un análisis de varios puntos con la ecuación de Bernoulli. Además de esto para conocer la presión en el tubo de entrada de 0,0092 m (¼”).

Los puntos de análisis son los que se muestran en la siguiente figura.

Figura 30. Puntos de análisis.



Recuadro para las pérdidas por fricción y accesorios en los puntos dados.

❖ Pérdida del punto 1-2.

a) Pérdida por fricción.

Con F : 0,039. Ver diagrama de Moody, Anexo L.

Con N_R : 8214,95.

$$N_R = \frac{(1,02 \text{ m/s})(0,0092\text{m})}{1,14 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 8214,95$$

L : 0,67m. Ver Figura 22.

D : 0,092 m. Diámetro interno. Anexo G.

V : 1,017 m/s. Ver cuadro 13, (12,5%).

$$h_L = 0.039 \times \frac{0.67\text{m}}{0,092\text{ m}} \times \frac{(1,017\text{ m/s})^2}{2 \times 9,81\text{ m/s}^2}$$

$$h_L = 0,15\text{ m}$$

b) Codo a 90°

$$h_L = 0.029 \times 50 \times \frac{(1,017\text{ m/s})^2}{2 \times 9,81\text{ m/s}^2}$$

$$h_L = 0,12\text{ m}$$

c) Contracción asimétrica. 50° Aspensor.

Ecuación 8. Factor de fricción para una contracción asimétrica.

$$K = 0,5 \left(1 - \frac{D_1^2}{D_2^2} \right) \sqrt{\text{sn} \left(\frac{\theta}{2} \right)}$$

Fuente. <http://redyriego.blogspot.com.co/>. Visto el 14 de abril de 2016.

$$K = 0,21$$

$$h_L = 0,21 \times \frac{(9,67\text{ m/s})^2}{2 \times 9,81\text{ m/s}^2}$$

$$h_L = 1,00\text{ m}$$

Pérdida total del punto 1-2 es de 1,27 m.

Este procedimiento se lleva a cabo para los demás puntos de análisis de la Figura 30 y se resume en el Cuadro 16.

Se tiene en cuenta que las velocidades cambian en los diferentes puntos de análisis de la Figura 30, como se muestra en el Cuadro 17.

Cuadro 16. Pérdidas en los puntos analizados.

Puntos	Pérdidas en (m)	Representación
1-2	1,27	h_{L1}
2-3	0,53	h_{L2}
3-4	0,92	h_{L3}
4-5	10,74	h_{L4}

Se muestran en el siguiente cuadro las velocidades de los puntos de análisis, basados en el Cuadro 13.

Cuadro 17. Velocidades en los puntos de análisis.

Punto	Velocidad (m/s)
v ₁	9,67
v ₂	1,02
v ₃	2,04
v ₄	4,07

❖ Puntos 1-2

Ecuación 9. Bernoulli con pérdida

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Fuente. MOTT, Robert. Mecánica de fluidos.

$$\cancel{\frac{P_1}{\gamma}} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} - h_{L1} = \cancel{\frac{P_2}{\gamma}} + \cancel{Z_2} + \frac{v_2^2}{2g}$$

Se cancela la presión 1 porque para el estudio solo se consideran presiones manométricas y se despeja presión 2. El γ del Thinner es igual a: 7848 N/m³.

$$P_2 = \left[\frac{v_1^2}{2g} + Z_1 - h_{L1} - \frac{v_2^2}{2g} \right] (\gamma)$$

$$P_2 = \left[\frac{(9,67 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} + 0,37 \text{ m} - 1,27 - \frac{(1,02 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} \right] (7848 \text{ N/m}^3)$$

$$P_2 = 29961,94 \text{ Pa} \approx 30 \text{ KPa}$$

❖ Puntos 2-3

$$\cancel{\frac{P_3}{\gamma}} + \cancel{Z_3} + \frac{v_3^2}{2g} - h_{L2} = \cancel{\frac{P_2}{\gamma}} + \cancel{Z_2} + \frac{v_2^2}{2g}$$

$$P_3 = \left[\frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_{L2} \frac{v_3^2}{2g} \right] (\gamma)$$

$$P_3 = \left[\frac{29961,94 \text{ Pa}}{7848 \text{ N/m}^3} + \frac{(1,02 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} + 0,53 \text{ m} - \frac{(2,04 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} \right] (7848 \text{ N/m}^3)$$

$$P_3 = 32909,68 \text{ Pa} \approx 33 \text{ KPa}$$

❖ Puntos 3-4

$$\frac{P_4}{\gamma} + \cancel{Z_4} + \frac{v_4^2}{2g} - h_{L2} = \frac{P_3}{\gamma} + \cancel{Z_3} + \frac{v_3^2}{2g}$$

$$P_4 = \left[\frac{P_3}{\gamma} + \frac{v_3^2}{2g} + h_{L3} \frac{v_4^2}{2g} \right] (\gamma)$$

$$P_4 = \left[\frac{32909,68 \text{ Pa}}{7848 \text{ N/m}^3} + \frac{(2,04 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} + 0,92 \text{ m} - \frac{(4,07 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} \right] (7848 \text{ N/m}^3)$$

$$P_3 = 35163,45 \text{ Pa} \approx 35 \text{ KPa}$$

❖ Puntos 4-5

$$\frac{P_5}{\gamma} + \cancel{Z_5} + \frac{v_5^2}{2g} - h_{L4} = \frac{P_4}{\gamma} + \cancel{Z_4} + \frac{v_4^2}{2g}$$

$$P_5 = \left[\frac{P_4}{\gamma} + \frac{v_4^2}{2g} + h_{L4} \frac{v_5^2}{2g} \right] (\gamma)$$

$$P_5 = \left[\frac{35163,45 \text{ Pa}}{7848 \text{ N/m}^3} + \frac{(4,07 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} + 10,74 \text{ m} - \frac{(8,54 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} \right] (7848 \text{ N/m}^3)$$

$$P_5 = 96881,28 \text{ Pa} \approx 96,8 \text{ KPa}$$

5.1.5. Planteamiento de la ecuación general de la energía para la selección de la bomba. Como ya se tiene la presión en el punto 5, se plantea una nueva ecuación de energía incluyendo el tramo de la bomba y todas las pérdidas del sistema (Figura 21), teniendo en cuenta que en el punto 5 las pérdidas ya están representadas en la presión final que se halló.

Se plantean nuevos puntos para la Figura 31 que son el 1 y el 2. El punto 2 ubicado al inicio de la tubería de succión.

Ecuación 10. Ecuación general de energía para fluidos

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} - h_L + h_A = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Fuente. MOTT, Robert, Mecánica de fluidos.

En la ecuación 10 para los puntos 1-2, se despeja h_A .

$$\cancel{\frac{P_1}{\gamma}} + \cancel{Z_1} + \cancel{\frac{v_1^2}{2g}} - h_L + h_A = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

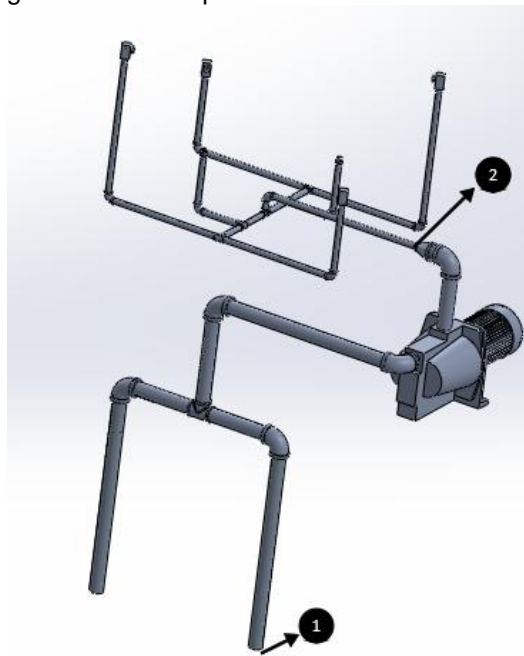
La velocidad en el punto 1 (figura 31) es tan pequeña que se aproxima a cero.

$$h_A = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_L$$

$$h_A = \frac{96881,28 \text{ Pa}}{7848 \text{ N/m}^3} + 1,18 \text{ m} + \frac{(8,54 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} + 0,52 \text{ m}$$

$$h_A = 17,76 \text{ m}$$

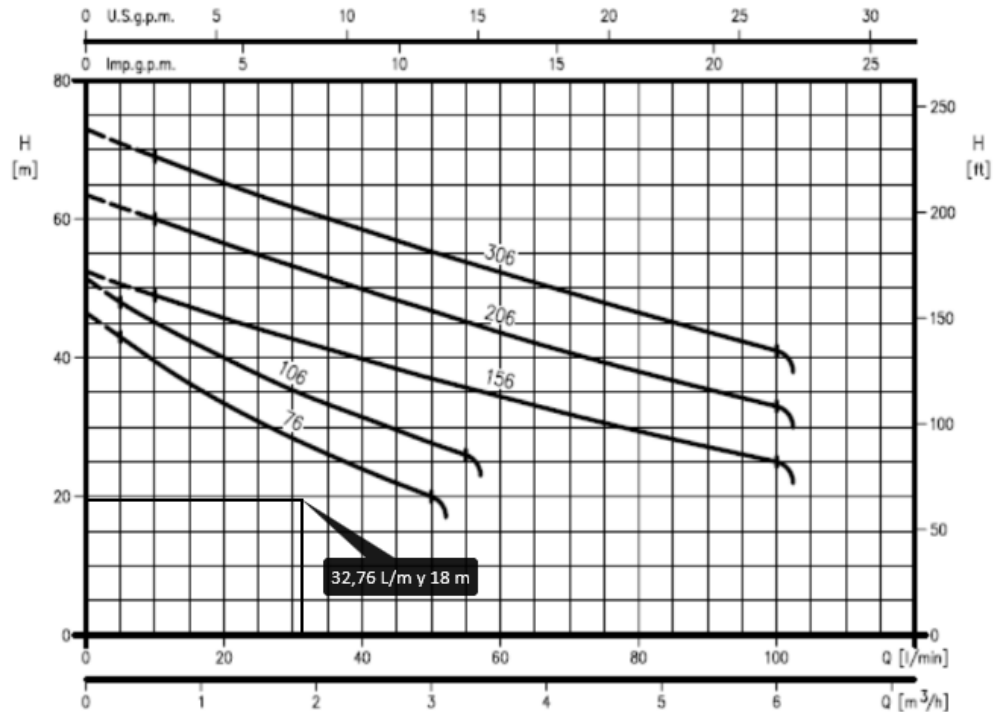
Figura 31. Puntos para la selección de bomba.



Según el h_A la bomba que más se aproxima a la necesidad por su cabeza y caudal es la bomba AGA SELF-PRIMING ELECTRIC PUMPS 76, la cual es de característica autocebante (ver Anexo A) lo que permite suprimir tubería para purgar y se vuelve más ergonómico y práctico el sistema.

En la siguiente figura se presenta una curva hidráulica para un caudal de 32,76 l/m y una cabeza de 18 m.

Figura 32. Curva de bomba seleccionada.



5.1.6 Lista de aditamentos de tramos de tubería y accesorios.

❖ Tramos de tubería. Figura 22 y 23.

Cuadro 18. Aditamento de tubería

Ítem	Diámetro (m)	Longitud(m)	Velocidad(m/s)	Pérdida(m)
1	0,00925	0,36	1,02	↓
2	0,00925	0,62	1,02	1,27
3	0,00925	0,1	2,04	0,53
4	0,00925	0,1	4,07	0,92
5	0,00925	0,11	2,04	↓
6	0,00925	0,14	2,04	
7	0,00925	0,05	8,54	
8	0,00925	0,39	1,03	10,74
9	0,026	0,22	1,03	↓
10	0,026	0,1	1,03	
11	0,026	0,51	1,03	
12	0,026	0,28	1,03	
13	0,026	0,22	1,03	
14	0,026	0,69	1,03	

❖ Aditamentos de accesorios.

Cuadro 19. Aditamiento de accesorios.

Accesorio	Cantidad	L/D	K
Codo 0,00925 m (1/4")	7	50	
Codo 0,0266 m (1")	5	50	
Tee 0,00925 m (1/4")	5	60	
Tee 0,0266 m (1")	1	60	
Reducción	1		0,05
Válvula de bola	4		0,21

5.2 CÁLCULO ESTRUCTURA

Para determinar la estructura que va a soportar el peso de la tubería y los accesorios que trae consigo, es necesario conocer qué viga es la que soporta el mayor peso y analizarla mediante los esfuerzos que se producen en ella.

En el Cuadro 20 se muestran las fuerzas que producen los elementos que están dentro de la recámara de lavado.

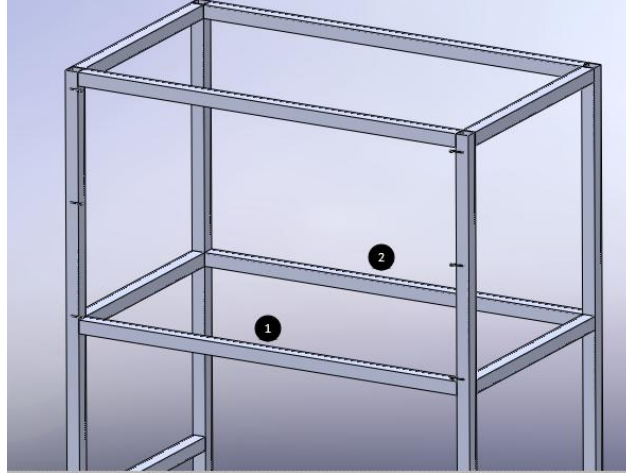
Como se ve en el cuadro, estos elementos ejercen una fuerza de 70 Newton aproximadamente, la cual será distribuida en las vigas trasera y delantera representadas en la Figura 33 como 1 y 2.

Cuadro 20. Peso de los elementos internos de la recámara de lavado.

Elemento	Material	Cantidad	Peso (kg)	Peso total (kg)	Fuerza (N)
Tubería 0,00925 m (1/4"), longitud 3,1 m.	ANSI-B36	1	1,96	1,96	19,22
Codo estándar a 90. 0,00925 m (1/4")	ASTM A197	7	0,08	0,56	5,49
Tee 0,00925 m (1/4")	ASTM A197	5	0,09	0,45	4,41
Lámina filtradora	Acero inox cal. 18	2	0,012	0,024	0,24
Aspersor a 90	ASTM A197	4	0,01	0,04	0,40
Boquilla	Acero inox. 316	2	0,01	0,02	0,20
Pistola aerográfica	varios	2	0,4	0,8	7,84
Tolva	Acero inox cal. 18. 895x1,2x325	2	0,75	1,5	14,71
Perfil estructural	Aluminio 12,7x12,7x1,27	2	0,85	1,7	16,68
					69,20

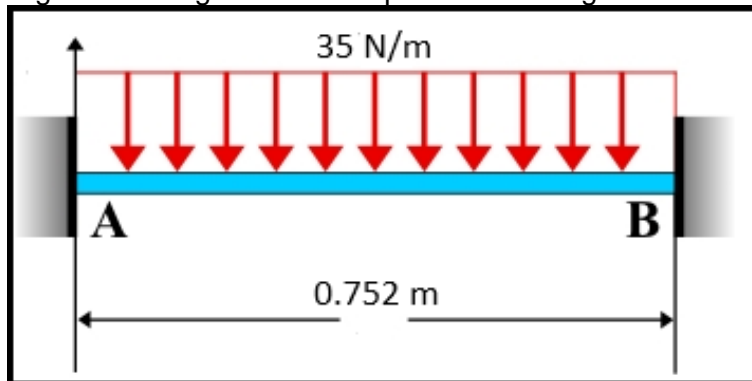
Para hacer el análisis de viga se toma la mitad de la fuerza ya que se distribuyen de igual manera.

Figura 33. Puntos en los cuales se distribuye la carga



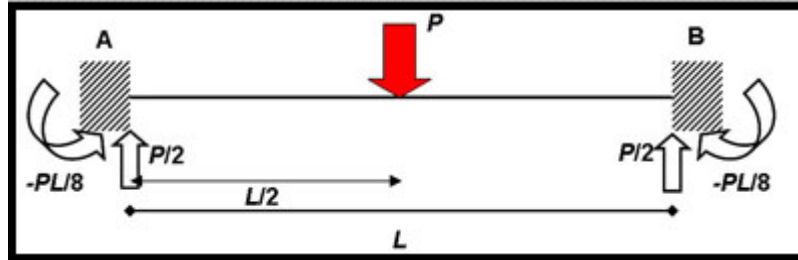
5.2.1 Diagramas de fuerza cortante y momento flector. Se realiza un diagrama de cuerpo libre con su respectiva fuerza distribuida y su empotramiento.

Figura 34. Diagrama de cuerpo libre de la viga.



La carga distribuida de 35 N/m que se observa en la Figura 34 se proyecta a una carga puntual y luego se calculan las reacciones en los puntos A y B. Como ésta resulta a la mitad, se divide en dos para hallar sus reacciones, como se ve en la Figura 35.

Figura 35. Reacciones en los apoyos.



Fuente. http://webdelprofesor.ula.ve/CLASE_VIGAS.html.
Visto el 2 de marzo de 2016.

❖ Valores

$$P = 26,32 \text{ N}$$

$$P/2 = 13,16 \text{ N}$$

$$L = 0,752 \text{ m}$$

$$L/2 = 0,376 \text{ m}$$

$$A_x = 0$$

$$A_y = 13,16 \text{ N}$$

$$M_A = (-26,32\text{N} \times 0,752\text{m})/8$$

$$M_A = -2,47 \text{ Nm}$$

$$B_x = 0$$

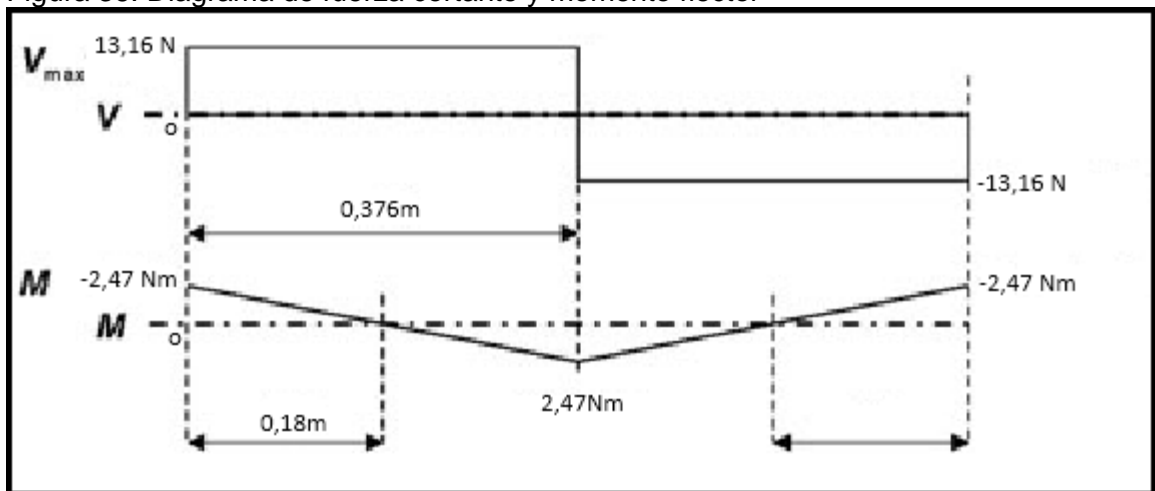
$$B_y = 13,16 \text{ N}$$

$$M_B = (-26,32\text{N} \times 0,752\text{m})/8$$

$$M_B = -2,47 \text{ Nm}$$

❖ Diagrama de fuerza cortante y momento flector.

Figura 36. Diagrama de fuerza cortante y momento flector



Como se ve, el momento flector máximo es de 2.47 Nm y es el que se usa para realizar los cálculos.

Para las ecuaciones de esfuerzo normal admisible se tiene:

Ecuación 11. Esfuerzo admisible.

$$\sigma_{\text{adm}} = \frac{M_{\text{max}} C}{I}$$

Fuente: MOTT, Robert. Diseño de elementos de máquinas.

Donde M_{max} es el momento flector máximo y $\frac{C}{I}$ es el Módulo de Sección de la viga, el cual se puede reemplazar como.

Ecuación 12. Módulo de sección.

$$S = \frac{C}{I}$$

Fuente: MOTT, Robert. Diseño de elementos de máquinas.

Ecuación 13. Esfuerzo admisible con módulo de sección.

$$\sigma_{\text{adm}} = \frac{M_{\text{max}}}{S}$$

Fuente: MOTT, Robert. Diseño de elementos de máquinas.

De tal modo aún no se puede hallar la sección ya que no se tiene los datos del material en que el que se va a hacer, ni el esfuerzo al que estará sometida la viga.

Para ello se recurre a la ecuación de factor de seguridad para hallar el esfuerzo admisible o permisible dependiendo algunos textos.

Ecuación 14. Factor de seguridad.

$$FS = \frac{\sigma_{\text{falla}}}{\sigma_{\text{admisible}}}$$

Fuente: MOTT, Robert. Diseño de elementos de máquinas.

El esfuerzo de fluencia depende del material que se escoja, para el diseño de la estructura.

En este caso se usa un acero ASTM-A500 grado C (ver propiedades en el Anexo J) ya que tiene buenas prestaciones mecánicas y es ideal para el uso de soldadura.

Este presenta un esfuerzo último a la tracción de 350 MPa.

Para despejar el Esfuerzo Admisible, se da un factor de seguridad de 2 según la recomendación del libro de Diseño de Elementos de Máquinas de Robert Mott en la sección de criterios y factores de diseño, el cual dice:

$N = 1.25$ a 2 . “El diseño de estructuras bajo cargas estáticas, para los que haya un alto grado de confianza en todos los datos del diseño”.⁶

Como ya se tiene el factor de seguridad y el esfuerzo último del material se procede a despejar el esfuerzo admisible para hallar el módulo de sección.

$$\sigma_{\text{admisible}} = \frac{\sigma_{\text{fluencia}}}{FS}$$

$$\sigma_{\text{adm}} = \frac{350 \text{ Mpa}}{2} = 175 \text{ Mpa}$$

Después de obtener el σ_{adm} se despeja el módulo de sección de la ecuación 12.

$$S = \frac{M_{\text{max}}}{\sigma_{\text{adm}}} = \frac{2,47 \text{ Nm}}{175 \text{ Mpa}}$$

$$S = 1,41 \times 10^{-8} \text{ m}^3$$

$$S = 1,41 \text{ mm}^3$$

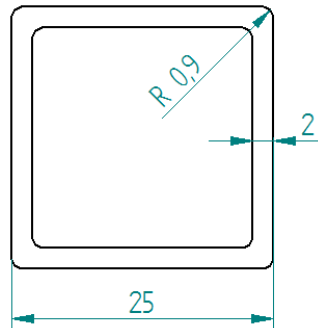
Después de hallar el módulo de sección, se consulta en las tablas de propiedades de perfiles y se observa qué sección y espesor se acomoda más al resultado.

Debido a que el S es pequeño, no hay perfiles para este tipo de módulo de sección.

Por disposición comercial y esbeltez de la estructura, se selecciona un perfil cuadrado de 25 mm. Que se muestra en el Anexo J y en la Figura 37.

⁶ MOTT, Robert. (2006). Diseño de elementos de máquinas, cuarta edición. Pearson, México.

Figura 37. Sección transversal del perfil seleccionado.



Este perfil se usa para toda la estructura que soportara los componentes de la máquina.

5.2.2 Soldadura. La fabricación de la estructura se compone de tubos cuadrados unidos por soldadura como mecanismo de sujeción. Se selecciona el tipo de soldadura y electrodo según el perfil, para este procedimiento se escoge una viga crítica de la estructura y se hace el estudio sobre ella.

Para escoger el tipo de soldadura hay que tener en cuenta cual es el tipo de geometría que se va a soldar y para esto se selecciona un factor geométrico para el análisis de soldadura. Según el libro Diseño de elementos de máquinas de Robert Mott, se selecciona el número 7 (Figura 39), el cual describe la situación presentada (Figura 38).

Figura 38. Unión crítica.

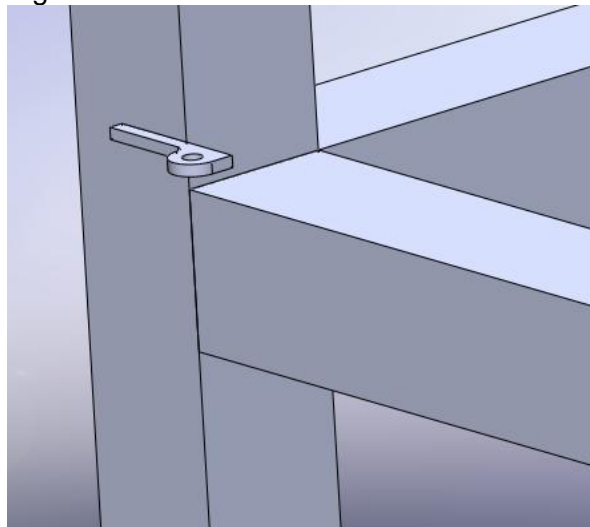
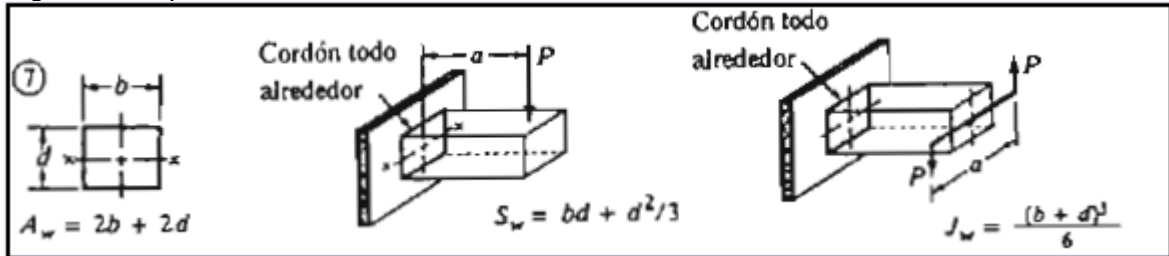


Figura 39. Tipo de soldadura.



Fuente: MOTT, Robert (2006), Diseño de elementos de máquinas, México; PEARSON, Educación, P786.

Se muestran las variables sobre la unión.

- ❖ Momento flector máximo: 2,47 Nm (1,86 Lb.in)
- ❖ Fuerza cortante: 13,16 N (2,96 Lb)
- ❖ a y b: 0,0025 m (0,98 in)

Factores geométricos

$$A_w = 2b + 2d$$

$$A_w = (2)(0,0025 \text{ m}) + (2)(0,0025 \text{ m})$$

$$A_w = 0,009568 \text{ m} \text{ (3,92 in)}$$

$$S_w = b \times d + \frac{d^2}{3}$$

$$S_w = (0,98 \text{ in} \times 0,98 \text{ in} + \frac{0,98 \text{ in}^2}{3})$$

$$S_w = 0,0008258048 \text{ m}^2 \text{ (1,28 in}^2)$$

Tipos de carga a la cual está sometida la unión a soldar.

- ❖ Fuerza cortante vertical directo.

$$F_s = \frac{V}{A_w} = \frac{(2,96 \text{ Lb})}{(3,92 \text{ in})}$$

$$F_s = (0,75 \text{ Lb/in})$$

- ❖ Flexión.

$$F_b = \frac{M}{S_w} = \frac{(21,86 \text{ Lb} \cdot \text{in})}{(1,28 \text{ in}^2)}$$

$$F_b = (17,07 \text{ Lb/in})$$

Fuerza resultante

$$FR = \sqrt{(0,75)^2 + (17,07)^2}$$

$$FR = (17,086 \text{ Lb/in})$$

Longitud de lado

Se especifica una soldadura resistente a la tracción, según la Figura 40 es de 9600 Lb/in.

$$W = \frac{17,086 \text{ Lb/in}}{9600 \frac{\text{Lb}}{\text{in}} \times \text{por pulgada de lado}}$$

$$W = 0,05 \text{ mm } (0,00177 \text{ in})$$

Como se observa en el resultado es muy pequeña la línea de soldadura ya que desde un principio el perfil está sobredimensionado. Pero es un punto de referencia para el operario.

Figura 40. Esfuerzos sobre soldaduras.

TABLA 20-3 Esfuerzos cortantes y fuerzas sobre soldaduras			
Grado ASTM del metal base	Electrodo	Esfuerzo cortante admisible	Fuerza admisible por pulgada de lado
Estructuras de edificios:			
A36, A441	E60	13 600 psi	9600 lb/pulg
A36, A441	E70	15 800 psi	11 200 lb/pulg
Estructuras de puentes:			
A36	E60	12 400 psi	8800 lb/pulg
A441, A242	E70	14 700 psi	10 400 lb/pulg

Fuente: MOTT, Robert (2006), Diseño de elementos de máquinas, México; PEARSON, Educación, P786.

5.3 AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

La automatización de la máquina lavadora automática de pistolas aerográficas se centrará en el control de las válvulas por accionamiento neumático. Ya que, de una u otra forma, el operario tiene que intervenir, como se explicó en el anteproyecto, en la colocación inicial de la pistola y el dispositivo obturador.

Como uno de los principales objetivos del proyecto es el ahorro de solvente en los principales talleres de repintado y ensamblaje, el control de las válvulas se enfoca en la recirculación del solvente y filtrado de éste.

Debido a que lo más recomendable es no tener dispositivos eléctricos para los sistemas de control, sería irresponsable instalar un medidor de nivel eléctrico dentro del tanque. Es por esto que la programación del PLC debe hacerse con contadores para llevar a cabo los ciclos de lavado.

El PLC debe ubicarse de manera estratégica cerca de la bomba ya que no se puede poner muy cerca de los contenedores de Thinner o de cualquier sustancia comburente dentro del taller.

Es importante conocer el volumen de solvente a recircular teniendo en cuenta la capacidad de los contenedores, es por esto que se calcula el tiempo que dura cada ciclo de lavado para luego introducirlo en la programación del PLC.

Cada contenedor tiene una capacidad aproximada de 70 litros como se estipuló en los parámetros de diseño del capítulo 2. Pero la tubería de succión no llega hasta el fondo de cada contenedor dejando un volumen de 3 litros como se observa en el plano número 4 (diámetro del contenedor por la altura del piso al inicio de la tubería) para la decantación de partículas y 1,12 litros de solvente que pasan por tubería antes de la salida a la boquilla principal.

De tal modo queda un volumen disponible de lavado de 72,8 litros el cual se aproxima a 70 litros para dejar 2,8 litros de seguridad, en caso tal de que el fluido no alcance a caer completamente al contenedor de descarga.

5.3.1 Cálculo de ciclos de lavado. El caudal entregado por la bomba es igual a 34,76 L/m.

El tiempo estimado de lavado debe ser menor a un minuto como se planteó en los requerimientos funcionales.

Lo más recomendable es que después de cada tres ciclos de lavado se cambie la configuración de las válvulas indicando que ya está por desocuparse el contenedor de succión.

$$\frac{70 \text{ litros} \times 60 \text{ segundos}}{34,76 \text{ litros}} = 120,82 \text{ segundos}$$

$$\frac{120,82 \text{ segundos}}{3 \text{ ciclos}} = 40,27 \approx 40 \text{ segundos por ciclo}$$

Todos los componentes de la automatización se ubican dentro de un tablero de control Nema 4x el cual está fabricado en un acero inoxidable, protegiendo los elementos internos de la polución que se encuentra en los talleres y sobre todo separándolo del sistema de solvente.

Figura 41. Caja Nema 30x30x15



Fuente.

[Http://www.budind.com/view/NEMA+1+Enclosures/NEMA](http://www.budind.com/view/NEMA+1+Enclosures/NEMA). Visto el 20 de abril de 2016.

A continuación se hace una descripción de los elementos que contiene el subsistema.

5.3.2 Componentes y descripción.

- ❖ Mini PLC Serie AF Ref. 74270 Array: Es un dispositivo el cual guarda las funciones y programas, para la ejecución de las actividades para un óptimo funcionamiento de la máquina. En el cuadro 19 se muestra la descripción del PLC.

Figura 42. PLC Array seleccionado



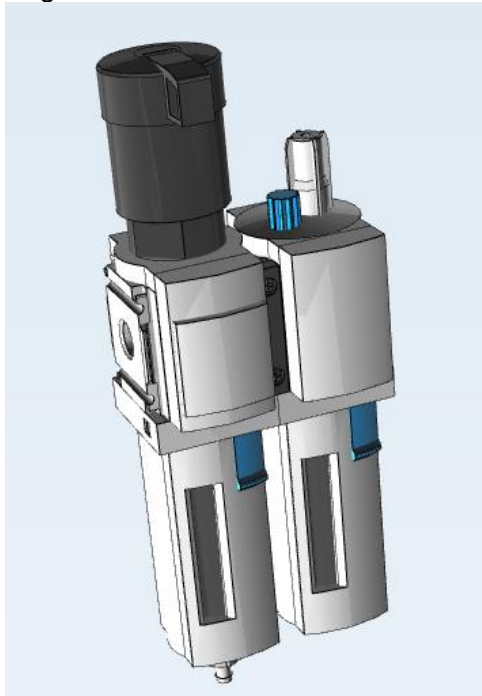
Fuente. <http://www.viaindustrial.com/producto.asp>. Visto el 20 de abril de 2016

Cuadro 21. Descripción de PLC Array 74270

ITEM	DESCRIPCION
Display	LCD 4x10 caracteres
Alimentación	12 - 24 DC
Entradas	12 digitales DC
Número de Salidas	8
Tipo de Salida	Relévo
Capacidad de Salida	Carga Resistiva 10A
Memoria de Programa	64 K
Método de programación	Diagrama de Bloques Funcionales (FBD)
Capacidad de programa	127 Bloques
Contadores	127
Temporizadores	127
Reloj de Tiempo Real (RTC)	127 Switchs

- ❖ Selección de unidad de mantenimiento: La unidad de mantenimiento permite tener de manera adecuada los actuadores y también permite regular la entrada de aire. Según la hoja técnica del actuador dice que tiene que tener un filtrado de 40 µm.

Figura 43. Unidad de mantenimiento


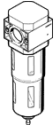


Fuente. www.festo.com/. Visto el 22 de abril de 2016

Figura 44. Selección según la calidad del aire ISO

Calidad del aire comprimido

Este programa sirve para asistirle en la configuración correcta de una unidad de mantenimiento. Introduzca en esta página la calidad del aire comprimido requerida a través de su aplicación, con un código ISO o mediante la selección libre de filtros.

Criterio de selección: aplicación	Criterio de selección: clase ISO	Selección directa de filtros
<p>Se recomiendan filtros en función de su aplicación</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Sistemas neumáticos estándar Funcionamiento de válvulas y cilindros, p.ej., en la industria automovilística, en el embalaje secundario <input type="radio"/> Industrias minera y de la construcción Aplicaciones sin requerimientos especiales de pureza <input type="radio"/> Funcionamiento de herramientas y máquinas neumáticas, servoneumática Herramientas de aire comprimido, motor neumático, posicionamiento con válvulas distribuidoras proporcionales <input type="radio"/> Industrias solar y de la electrónica, fabricación de textiles y papel Aplicaciones con un contenido residual de aceite < 0,5 mg/m³ <input type="radio"/> Pintado, recubrimiento mediante pulverización, colchón de aire Aplicaciones con un contenido residual de aceite < 0,01 mg/m³ <input type="radio"/> Industria alimentaria, óptica Aplicaciones con un contenido residual de aceite < 0,003 mg/m³ Aire comprimido sin lubricar e inodoro 	<p>Se recomienda una combinación de filtros en base a la clase de pureza de aire comprimido requerida según ISO 8573-1:2010</p> <p>Partículas : agua : Aceite</p> <p>7 ▼ : 4 * : 4 ▼</p>  <p>* Como estándar, se asume que el contenido de agua del compresor se corresponde con la clase ISO 4. En caso de requerimientos más estrictos, se necesita un secador por adsorción PDAD o un secador de membrana LDM1</p>	<p>Selección directa de filtros</p> <p>Determinación independiente de una combinación adecuada</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Filtro de 40 µm <input type="checkbox"/> Filtro de 5 µm <input type="checkbox"/> Filtro micrónico de 1 µm <input type="checkbox"/> Filtro submicrónico de 0,01 µm * <input type="checkbox"/> Filtro de carbón activo  <p>* Para aumentar el tiempo operativo de los filtros y prolongar los intervalos entre servicios de mantenimiento, seleccione un filtro micrónico de 1 µm como filtro previo al filtro submicrónico de 0,01 µm.</p>




Fuente. www.festo.com/. Visto el 22 de abril de 2016

Esta selección está basada en la norma ISO 8573-1 del 2010. Para observar las especificaciones ver Anexo H.

Figura 45. Selección de la función deseada

Seleccione las funciones deseadas de su unidad de mantenimiento:

El programa solamente muestra una selección de los posibles componentes de preparación de aire comprimido de Festo.

	<input checked="" type="checkbox"/> Válvula de cierre manual Esta válvula de cierre de accionamiento manual es utilizada para alimentar y descargar aire en instalaciones neumáticas.
	<input type="checkbox"/> Válvula eléctrica de cierre Esta válvula de cierre de accionamiento eléctrico es utilizada para alimentar y descargar aire en instalaciones neumáticas.
	<input type="checkbox"/> Válvula de arranque progresivo Válvula de arranque progresivo para la alimentación y descarga lentas en sistemas neumáticos (solo para la utilización con válvulas de cierre eléctricas).
	<input type="checkbox"/> Módulo de derivación Distribuidor del aire con 4 conexiones, cuyas salidas apuntan hacia arriba y hacia abajo. <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Último módulo de la unidad <input type="radio"/> antes de los filtros micrónicos / submicrónicos

Fuente. www.festo.com/. Visto el 22 de abril de 2016

Esta figura permite ver cómo va a operar la unidad de mantenimiento, que para el caso va a utilizar una válvula de alimentación y descarga manual.

Se observa en la figura 46 las características generales de la unidad y su referencia MSB4-1/4:C4:J1-WP.

Figura 46. Características generales

Características básicas	
Feature	Value
Serie	MSB4
Tamaño	4
Conexión neumática	Rosca interior G1/4
Margen de regulación de la presión	0,5...12 bar
Grado de filtración	40 µm

Fuente. www.festo.com/. Visto el 22 de abril de 2016

- ❖ AC Contactor NC 1-1810 Chint: Este componente permite conectar o desconectar el motor de la bomba según la necesidad. Están disponibles en una selección de las tensiones de bobina más populares, incluyendo 24V, 48V, 110V, 230V y 415V CA o 24 V CC. Equipados con agujeros para tornillo de montaje directo sobre una superficie o placa de montaje.

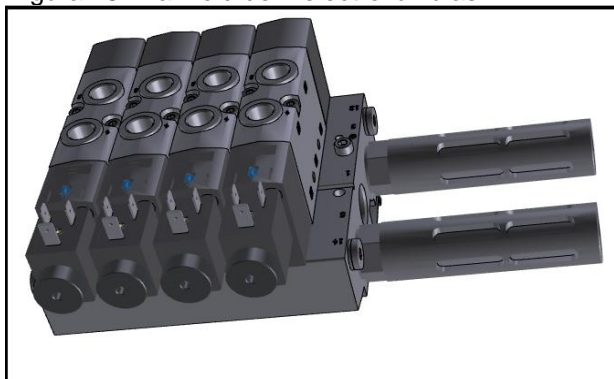
Figura 47. Contactor Chint para la bomba.



Fuente. www.expertelectrical.co.
Visto el 22 de abril de 2016.

- ❖ Manifold de Electroválvula 5/2: Con la válvula 5/2, se controlan los actuadores, que son los que permiten el paso del fluido o no, hacia la bomba para efectuar el lavado.

Figura 48. Manifold de 4 electroválvulas.



Fuente. www.festo.com/. Visto el 22 de abril de 2016

Figura 49. Especificaciones manifold

Configuración básica de la neumática	
Feature	Value
Tamaño	25 Tamaño 25
Accionamiento de la válvula	S Conexión individual, eléctrica
Accionamiento manual auxiliar	D Con pulsador, con enclavamiento sin accesorios
Aire de pilotaje	Interno
Conexión alimentación de presión	G12 G1/2
Posición de la conexión de alimentación de presión	L Izquierda
Tipo de conexión de alimentación de presión	Recto
Tipo de escape	G Agrupado
Conexión de escape	U1 Silenciador con cuerpo metálico
Posición de la conexión de escape	L Izquierda
Tipo de conexión del escape	Recto
Conexión de la válvula	G14 G1/4
Posición de conexión de la válvula	T Superior, salida recta

Fuente: www.festo.com/. Visto el 22 de abril de 2016.

- ❖ Botón pulsador IEC 800-TD008 Allen Bradley: Este permite poner en marcha la función de lavado y se ubica en el tablero de control, con un agujero de montaje de 22.5 mm.

Figura 50. Botón pulsador puesta en marcha



Fuente. <http://www.rockwellautomation.com/>. Visto el 22 de abril de 2016

- ❖ Paro de emergencia 800FD-MT44X02 Allen Bradley: Utilizado para detener el funcionamiento de la máquina en cualquier evento inesperado.

Figura 51. Paro de emergencia.



Fuente. <http://www.rockwellautomation.com/>.
Visto el 22 de abril de 2016

- ❖ Bisagra con interruptor de seguridad: Las bisagras con interruptor múltiple integrado constituyen un dispositivo de seguridad porque, en caso de apertura accidental de las puertas, protecciones de la máquina o puertas de seguridad de las máquinas y equipos de producción, bloquean automáticamente el suministro de energía, protegiendo así a los operarios.⁷

Figura 52. Interruptor de seguridad tipo bisagra.



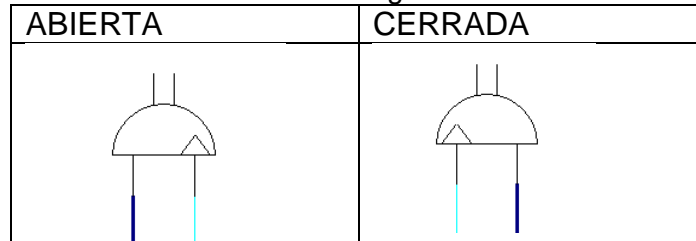
Fuente. <http://www.elesa-ganter.com/es/30/mn2/elesa+ganter/eg> Visto el 22 de abril de 2016

⁷ ELESA+GANTER - Líderes mundiales de elementos standard para maquinaria.1941.[online][citado el 22 de abril de 2016]Disponible en internet < <http://www.elesa-ganter.com/es/elesa+ganter/eg/>>

5.3.3 Programación Ladder para el PLC. Una vez se conocen las funciones que el PLC va a realizar se procede a realizar la lógica cableada para luego introducirlo en el lenguaje de programación Ladder y finalmente en listado de instrucciones donde se digitan manualmente.

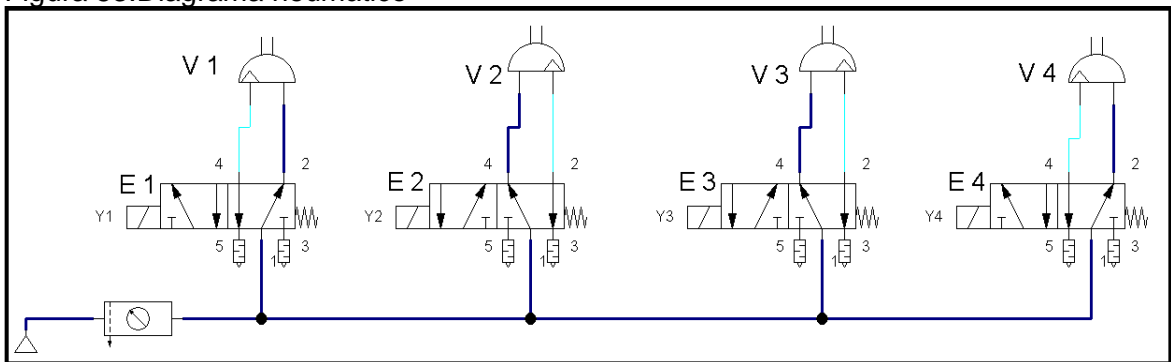
La representación neumática de las válvulas se hace mediante un actuador semi-giratorio el cual indica si está abierta o cerrada.

Cuadro 22. Actuadores Semi-giratorios.



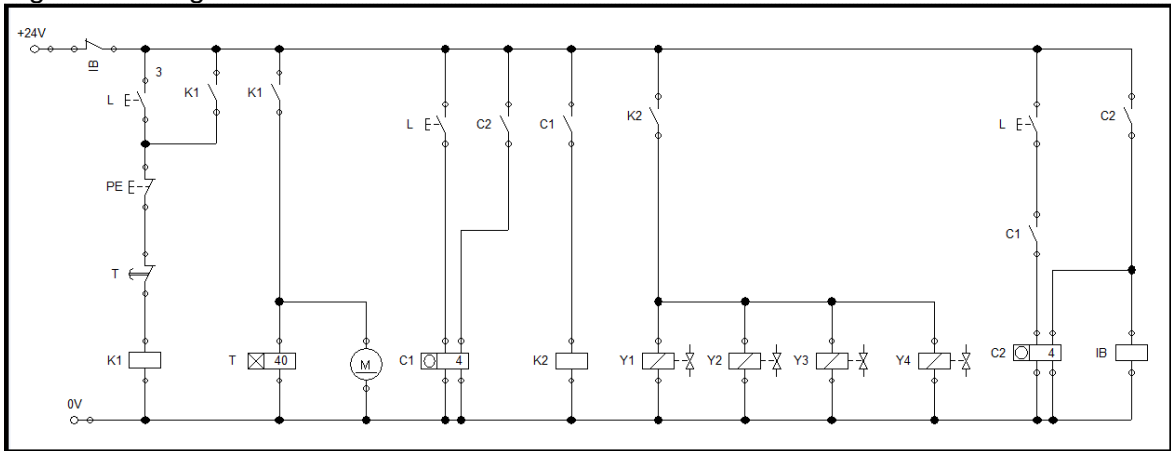
Se muestra el diagrama de conexiones neumático al inicio de la operación.

Figura 53. Diagrama neumático



Y la respectiva lógica cableada del sistema en la figura 54.

Figura 54. Diagrama eléctrico



Donde

- ❖ IB: Bisagra con interruptor de seguridad.
- ❖ L: Lavado (pulsador verde)
- ❖ Pe: Paro de emergencia (pulsador rojo)
- ❖ M: Contactor que energiza o des-energiza la bomba.

5.3.4 Diagramas espacio-fase. Se presentan los diagramas espacio-fase para un periodo de lavado de 7 ciclos en tiempo real. Para ver el comportamiento que tienen los actuadores (V) y las electroválvulas (E). Figuras 55 y 56.

Figura 55. Diagrama de los actuadores neumáticos

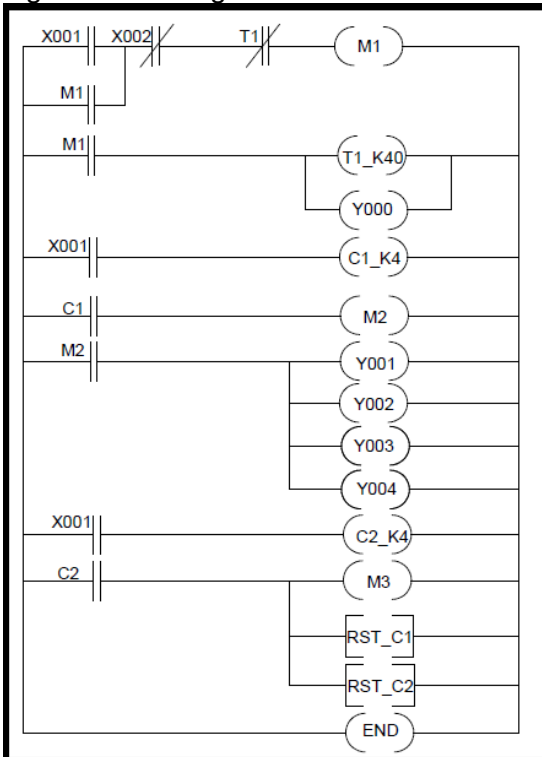
Marca	Valor de la magnitud	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	
V1	Posición	180																													
	120																														
	60																														
V2	Posición	180																													
	120																														
	60																														
V3	Posición	180																													
	120																														
	60																														
V4	Posición	180																													
	120																														
	60																														

Figura 56. Diagrama de las electroválvulas

Marca	Valor de la magnitud	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280			
E1	Posición de conmutación	a																															
		0																															
E2	Posición de conmutación	a																															
		0																															
E3	Posición de conmutación	a																															
		0																															
E4	Posición de conmutación	a																															
		0																															

5.3.5. Programación LADDER Configuración Ladder con el programa Quick 2004 el cual trae el PLC de fábrica.

Figura 57. Configuración LADDER

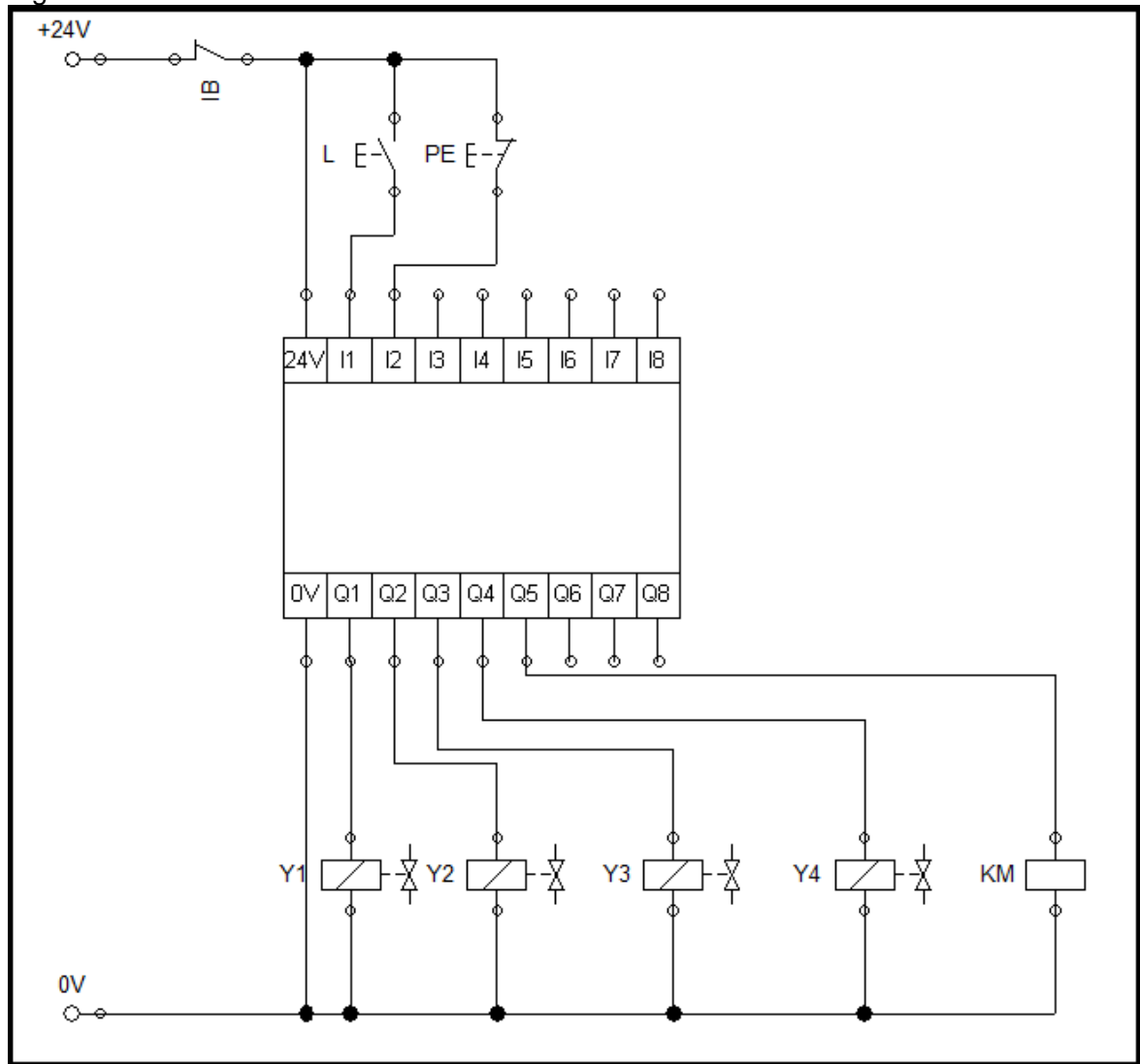


❖ Listado de instrucciones

Figura 58. Listado de instrucciones

LD X001	OUT Y001
OR M1	OUT Y002
ANI X002	OUT Y003
ANI T1	OUT Y004
OUT M1	LD X001
OUT T1_K40	OUT C2_K4
OUT Y000	LD C2
LD X001	OUT M3
OUT C1_K4	RST_C1
LD C1	RST_C2
OUT M2	END
LD M2	

Figura 59. Conexión PLC



Siendo Y1, Y2, Y3, Y4 las electroválvulas y KM el contactor de la bomba.

5.4 SELECCIÓN DE ACCESORIOS

Este ítem muestra la clasificación de accesorios que se instalarán en la máquina debido a las características de funcionamiento que se requieren.

5.4.1 Filtro. Como se puntuó en el capítulo uno, existen dos métodos de recirculación de filtrado de solventes, por destilación y por doble o simple filtrado. El mecanismo incorporado a la máquina es el de filtrado simple.

Se hace un análisis del tipo de filtrado según los siguientes factores:

a) Material a separar

Existen varios tipos de filtración entre los cuales se encuentra

- ❖ Filtración convencional (clarificación > 10µm)
- ❖ Micro filtración (0.1-10µm)
- ❖ Ultrafiltración (macromoléculas 0.001-0.1 µm)
- ❖ Osmosis inversa (iones 0.001-0.0001 µm)

Según esta tabla se muestra qué tipo de filtrado se debe usar para el mecanismo de la máquina.

Figura 60. Clasificación de filtrado

	Microscopio ST		Microscopio electrónico			Microscopio óptico	Visible
	Rango Iónico	Rango Molecular	Rango Molecular	Rango Molecular	Rango Micro Particular	Rango Macro Particular	
Micrómetros (Log)	0.001	0.01	0.1	1.0	10	100	1000
Armstrong (Log)	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷
Peso molecular aprox.	100 200	10,000 10,000	20,000 100,000	500,000			
Tamaño relativo de Partícula	Sales acuosas Iones Metálicos Tintes Azúcar	Endotoxin/Pyrogen Virus Proteínas Gelatina Silica Coloidal Albumina	Pigmentos de pintura Bacteria Polvo de Carbon Células de la sangre Tinte Azul Indigo Latex/Emuls ioniones Asbestos	Cryptosporidium Levadura	Pelo humano Arena		Carbon Activado
Proceso de Separación	Osmosis Inversa	Ultrafiltración	Nanofiltración	Microfiltración	Filtración		

Según la tabla, para los pigmentos de pintura, el proceso de separación se puede realizar por filtración normal o clarificado.

b) Fuerza impulsora:

- ❖ Hidrostática (gravedad)
- ❖ Presión
- ❖ Vacío
- ❖ Centrifugación

Para el caso de la máquina el tipo de fuerza impulsora es hidrostática, es decir por gravedad, ya que el filtro se encuentra en la línea de descarga.

c) Flujo

Puede ser:

- ❖ Constante
- ❖ Variable

En este ítem se toma el flujo variable, ya que es muy difícil predecir el comportamiento del caudal en la descarga.

d) Mecanismo de retención

- ❖ Cribado
- ❖ Adsorción
- ❖ Formación de torta

El cribado es un proceso por el cual las partículas cuyo tamaño es mayor que el diámetro del poro, quedan retenidas por el poro. Es por esto que este mecanismo es el que mejor se acomoda a la situación presentada.

e) Material del cartucho de filtro

Un material común e ideal para solventes es el polipropileno dado que su costo es bajo y cuenta con una alta resistencia química.

El filtro óptimo que da esta selección coincide con el filtro que se usa en el proceso de filtración de solventes descritos en el capítulo número uno.

Acá se muestran las características y referencia del filtro seleccionado.

- ❖ Cartucho de filtro de 75 μm

Figura 61. Especificaciones del cartucho del filtro

2.5" DIAMETRO - ESPECIFICACIONES			
Número de Parte	Descripción	Micron Rating Nominal	Initial ΔP (psi) at Flow Rate (gpm)
SDC-25-0501	2.5" X 4 7/8"	1	0.3 psi at 2 gpm
SDC-25-0505	2.5" X 4 7/8"	5	0.3 psi at 2 gpm
SDC-25-1001	2.5" X 9 7/8"	1	0.6 psi at 5 gpm
SDC-25-1005	2.5" X 9 7/8"	5	0.4 psi at 5 gpm
SDC-25-1010	2.5" X 9 7/8"	10	0.2 psi at 5 gpm
SDC-25-1020	2.5" X 9 7/8"	20	0.2 psi at 5 gpm
SDC-25-1050	2.5" X 9 7/8"	50	0.2 psi at 5 gpm
SDC-25-2001	2.5" X 20"	1	0.6 psi at 10 gpm
SDC-25-2005	2.5" X 20"	5	0.4 psi at 10 gpm
SDC-25-2010	2.5" X 20"	10	0.3 psi at 10 gpm
SDC-25-2020	2.5" X 20"	20	0.3 psi at 10 gpm
SDC-25-2050	2.5" X 20"	50	0.3 psi at 10 gpm
SDC-25-3001	2.5" X 30"	1	0.4 psi at 15 gpm
SDC-25-3005	2.5" x 30"	5	0.3 psi at 15 gpm
SDC-25-3010	2.5" x 30"	10	0.3 psi at 15 gpm
SDC-25-3025	2.5" x 30"	25	0.3 psi at 15 gpm
SDC-25-3075	2.5" X 30"	75	0.3 psi at 15 gpm
SDC-25-4001	2.5" X 40"	1	0.3 psi at 20 gpm
SDC-25-4005	2.5" X 40"	5	0.3 psi at 20 gpm
SDC-25-4025	2.5" X 40"	25	0.2 psi at 20 gpm
SDC-25-4075	2.5" X 40"	75	0.2 psi at 20 gpm

Carcasa para filtro.

Figura 62. Especificaciones carcasa del filtro

SERIE HF45 - ESPECIFICACIONES	
Número de Parte	Descripción
HF45-10BLBK34	NSF 10" Blue 4.5" Body, 3/4" Black Cap
HF45-10BLBK34PR	NSF 10" Blue 4.5" Body, 3/4" Black Cap w/PR
HF45-20BLBK34	20" Blue 4.5" Body, 3/4" Black Cap
HF45-20BLBK34PR	20" Blue 4.5" Body, 3/4" Black Cap w/PR
HF45-10BLBK10	NSF 10" Blue 4.5" Body, 1" Black Cap
HF45-10BLBK10PR	NSF 10" Blue 4.5" Body, 1" Black Cap w/PR
HF45-20BLBK10	20" Blue 4.5" Body, 1" Black Cap
HF45-20BLBK10PR	20" Blue 4.5" Body, 1" Black Cap w/PR
HF45-20CLBK10	20" Clear 4.5" Body, 1" Black Cap
HF45-20CLBK10PR	20" Clear 4.5" Body, 1" Black Cap w/PR
HF45-10BLBK15	10" Blue 4.5" Body, 1.5" Black Cap
HF45-10BLBK15PR	10" Blue 4.5" Body, 1.5" Black Cap w/PR
HF45-20BLBK15	20" Blue 4.5" Body, 1.5" Black Cap
HF45-20BLBK15PR	20" Blue 4.5" Body, 1.5" Black Cap w/PR
HF45-20CLBK15	20" Clear 4.5" Body, 1.5" Black Cap
HF45-20CLBK15PR	20" Clear 4.5" Body, 1.5" Black Cap w/PR
HF45-ORING	Hydronix O-ring For HF45 Housing

Las demás características de medida y aplicación se encuentran en el Anexo C.

5.4.2 Boquillas y aspersores. Acá se seleccionan las boquillas más adecuadas que se requieren para el diseño de la máquina. El diámetro de salida se especifica en el Anexo B.

❖ Boquillas

Cono lleno normal tipo F-B1 el cual permite un chorro directo, se encuentra en materiales como latón, acero 303, acero inoxidable AISI 316. Conexión a 0,0092 m (1/4") de diámetro de tubería. Acero inoxidable es el material más apropiado.

Figura 63. Boquilla



Como se observa, esta es la boquilla óptima para la salida del solvente. El diámetro de la parte superior es de 5 mm (menor a los 7 mm) coincidiendo con el agujero de entrada de la taza de pintura de la pistola, de esta forma se asegura que el chorro entre en dirección correcta.

❖ Aspersor

Cono vacío gran Ángulo A3 serie AF este permite tener una cabeza intercambiable y pulverización a 90° en relación al eje de entrada del líquido. Material acero inoxidable.

Figura 64. Aspersor a 90°



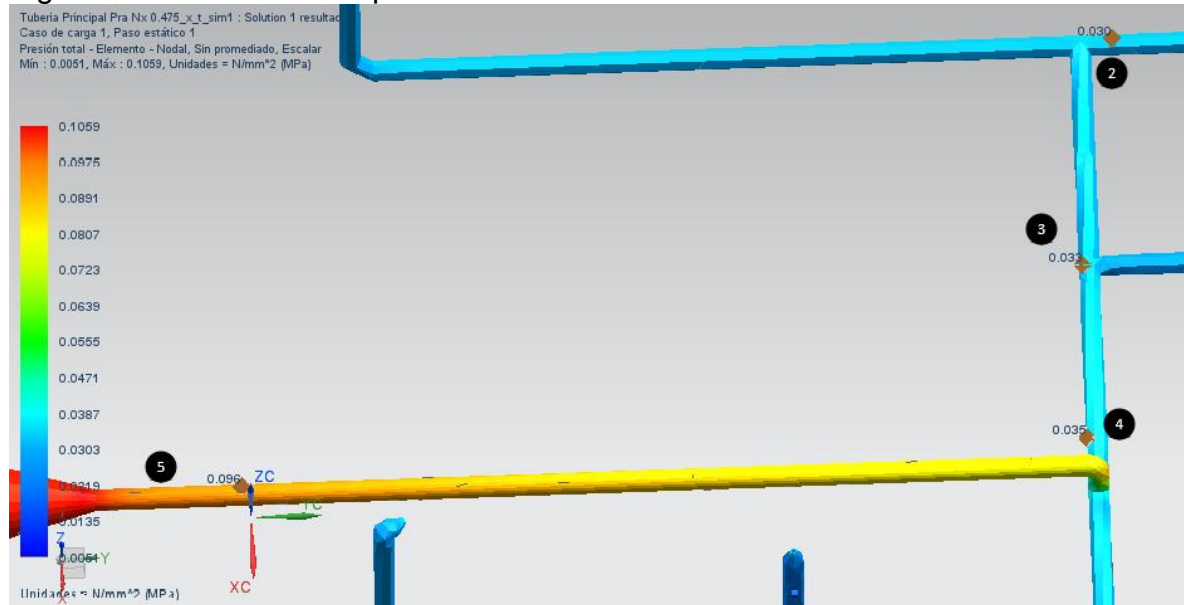
Las especificaciones de medida e información adicional se encuentran en el Anexo B.

6. ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS

En este capítulo se demostrarán mediante simulación, los cálculos analíticos por el Software Siemens NX 9.0 que se realizaron en la sección anterior. Se muestran distintos puntos donde se analizaron la presión y la velocidad. Además de esto se muestra el esfuerzo y la deformación de la estructura sometida a las cargas ya descritas.

6.1 ANÁLISIS DE PRESIÓN.

Figura 65. Simulación de presión en el fluido.



Como se ve en la figura 65 los puntos corresponden a los descritos en el capítulo anterior. Remitirse a la figura 30 y a los cálculos analíticos de presión del capítulo 5, para comparar.

Puntos

- ❖ 2= 0,030 Mpa
- ❖ 3= 0,032 Mpa
- ❖ 4= 0,035 Mpa
- ❖ 5= 0,096 Mpa

El análisis se hace en la tubería de 0,0092 m ($\frac{1}{4}$ ") de diámetro donde realizaron los cálculos más sobresalientes para el diseño hidráulico.

Se ve que entre más se acerca la partícula de fluido a la tubería de 0,0092 m ($\frac{1}{4}$ ") de diámetro este va perdiendo presión para ganar velocidad.

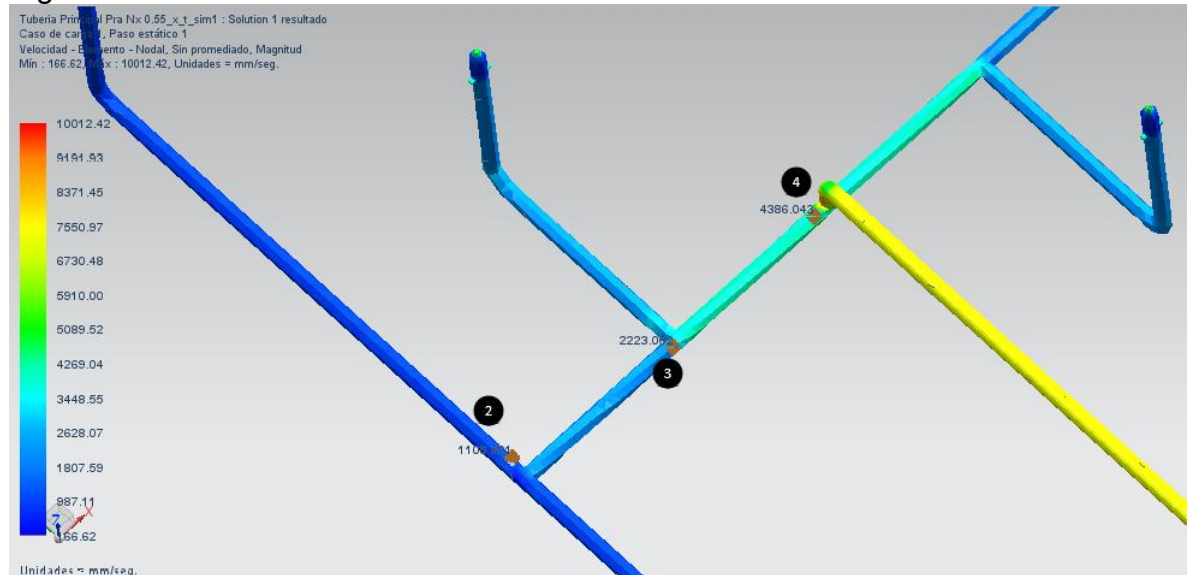
Las medidas están dadas en $\text{N/mm}^2 = \text{MPa}$.

6.2 ANÁLISIS DE VELOCIDAD.

Se muestran en la Figura 66 los puntos de velocidad calculados de manera analítica. Estos son aproximadamente iguales. De esta manera se comparan con los de presión.

Para este caso las velocidades están dadas en mm/s . Comparar con el Cuadro 13.

Figura 66. Simulación de velocidad en el fluido.



En la Figura 66 se muestra una velocidad máxima de 9,1 m/s y una mínima de aproximadamente 1 m/s.

Puntos

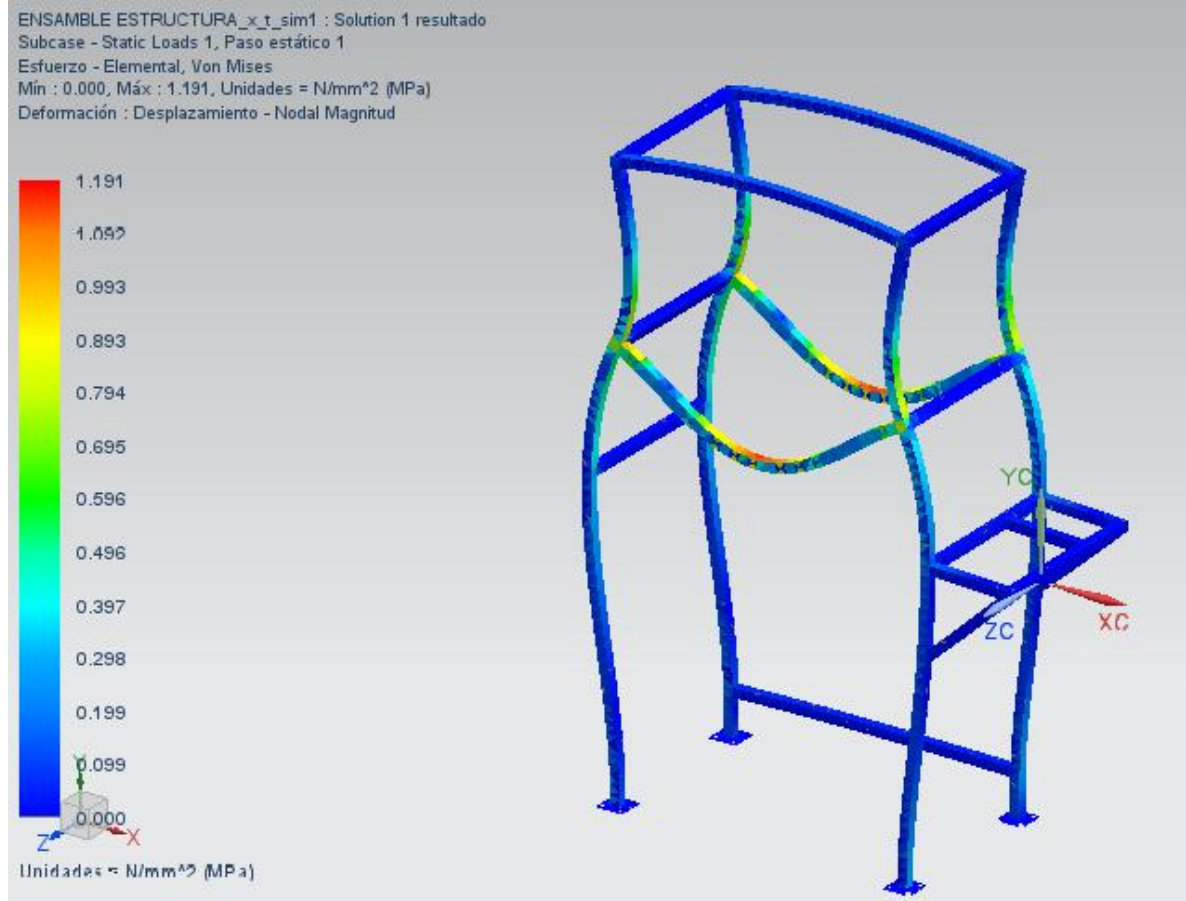
- ❖ 2= 1,1 m/s
- ❖ 3= 2,2 m/s
- ❖ 4= 4,3 m/s

6.3 ANÁLISIS ESTRUCTURAL.

Se puede observar en las figuras 65 y 66 que los esfuerzos y desplazamientos son mínimos ya que el perfil de la viga se encuentra sobredimensionada debido a las razones explicadas en el capítulo anterior.

Se muestran los desplazamientos y esfuerzos producidos por las cargas de los accesorios dentro de la recámara de lavado.

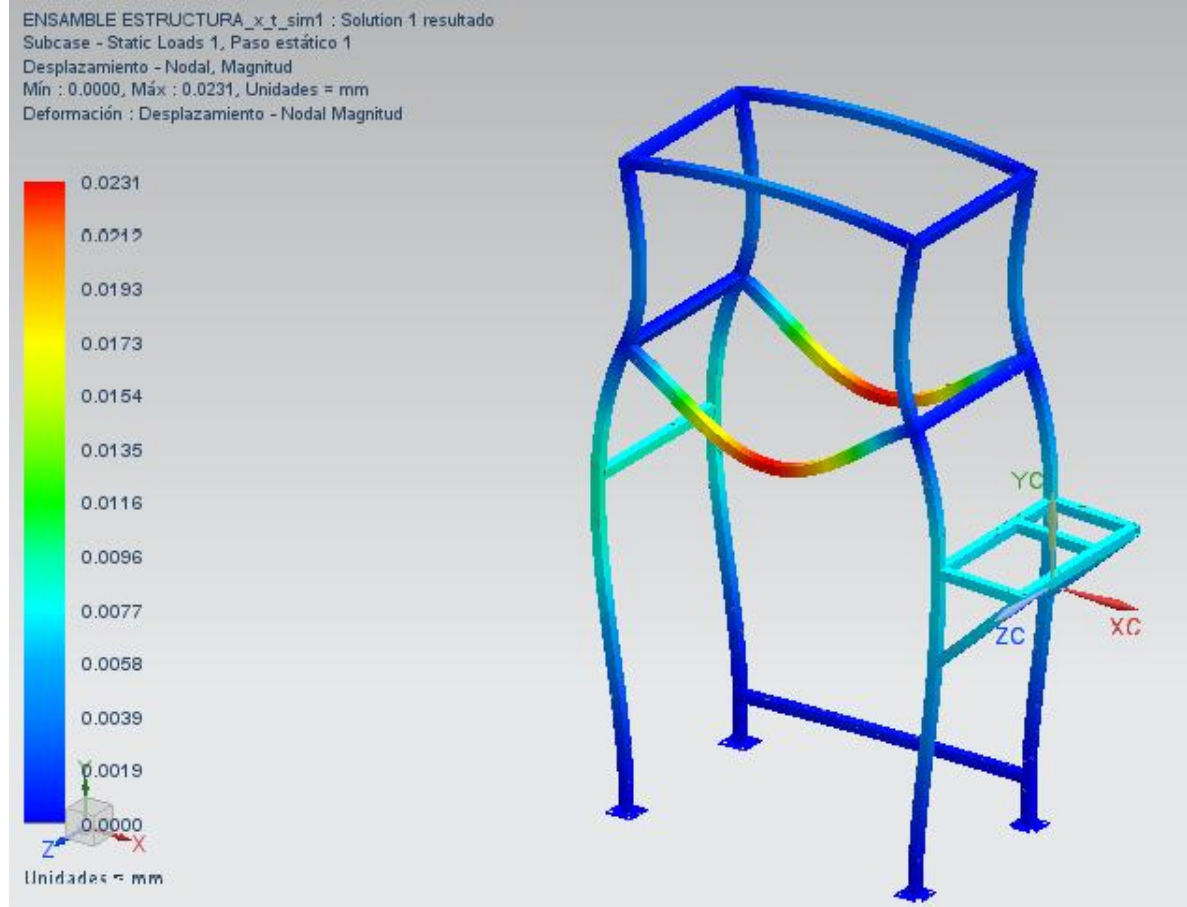
Figura 67. Simulación de esfuerzos en la estructura.



Como se observa en la Figura 67 los esfuerzos son relativamente pequeños debido a que los elementos que soporta no generan mucho peso. Entre los resultados se encuentran un esfuerzo máximo de 1.19 Mpa contra un mínimo de 0,09 Mpa. 0,026 m (1”).

En la gráfica, los desplazamientos se indican en mm.

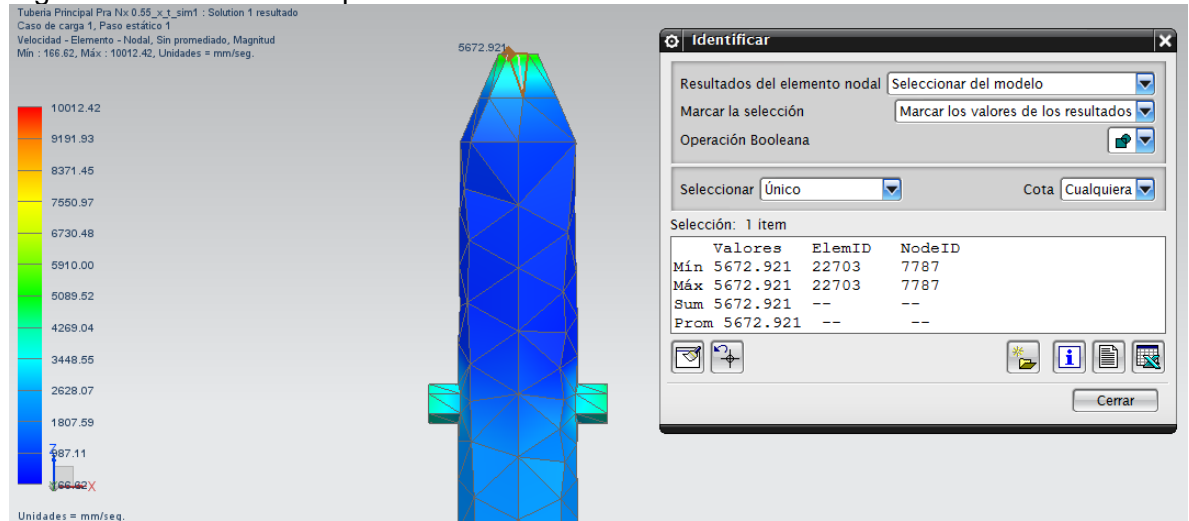
Figura 68. Simulación de desplazamientos en la estructura.



Se observa en la Figura 68 que el máximo desplazamiento es de 0,02 mm y un mínimo de 0,0019 mm, esto obedece a que tiene una rigidez y esbeltez adecuada.

6.4 ANALISIS DE BOQUILLA.

Figura 69. Análisis de boquilla



Como se observa en la figura la velocidad de salida corresponde aproximadamente a la calculada analíticamente, que se puede observar en el Cuadro 13.

La partícula de fluido va aumentando su velocidad a medida que su sección va disminuyendo. Esto permite tener la velocidad de salida que se necesita.

7. EVALUACIÓN FINANCIERA

En este capítulo se puede evidenciar en términos de inversión y rentabilidad, qué tan conveniente es la ejecución del proyecto, teniendo en cuenta algunos factores que involucran la realización del mismo.

También se hace un análisis de mercado general a nivel nacional, donde se observa el comportamiento en los últimos años del sector automotriz para la cual va dirigido el producto, además de esto se hace una identificación del objetivo, donde se ve la ubicación y qué tipo de empresas estarían más interesadas en la compra de la máquina.

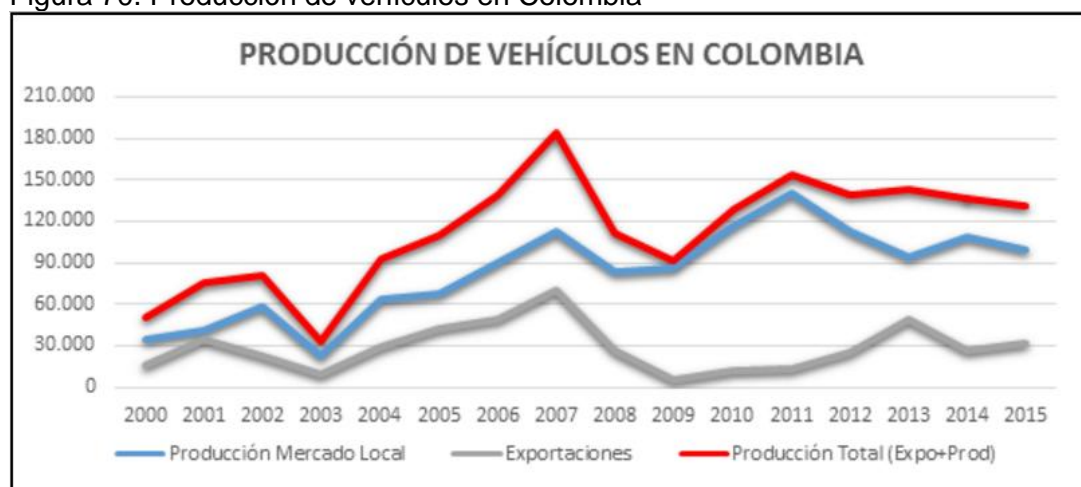
En este capítulo se evidencia también, el problema que sufren los trabajadores que manejan este tipo de solventes de manera directa y los problemas económicos y ambientales que esto conlleva a futuro.

7.1 ANÁLISIS DE MERCADO

En los últimos años, la industria automotriz se ha mostrado fortalecida debido a los diferentes intercambios comerciales y tratados de libre comercio que se han venido desarrollando en el país, además con el crecimiento de nuevos sistemas de transporte no solo en la capital sino en todo el territorio colombiano.

A continuación se muestra una gráfica donde se muestra la producción de vehículos en Colombia en los últimos 15 años.

Figura 70. Producción de vehículos en Colombia



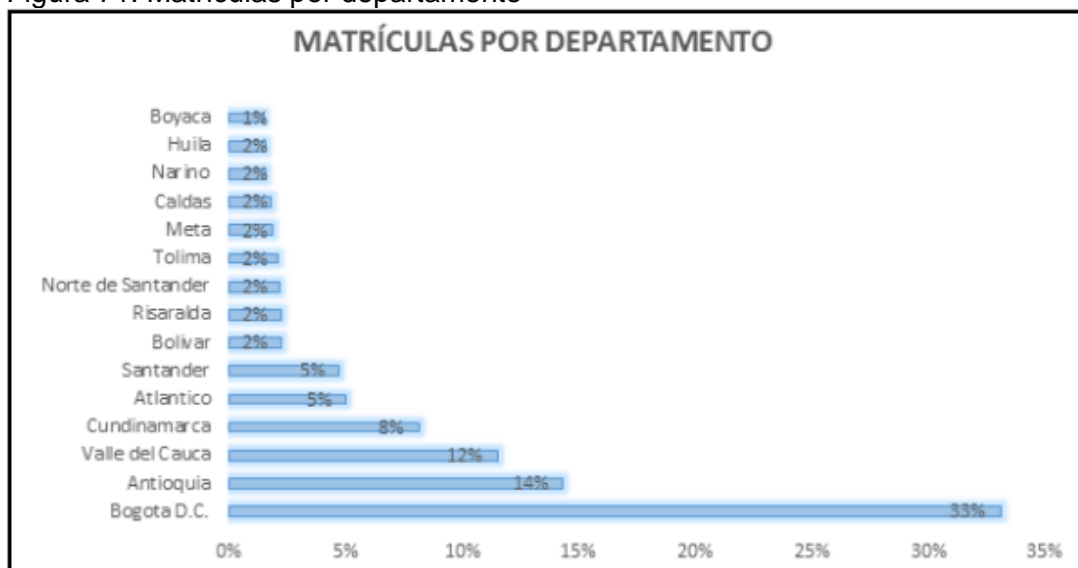
Fuente: <http://www.andi.com.co/cinau>. Visto el 20 de mayo de 21016.

“Algunas cifras del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo MCIT (2010), el sector automotor representan el 6,2% del PIB, lo cual ha permitido tener una

dinámica de crecimiento importante y ha posicionado al país como el quinto productor de automóviles en Latinoamérica”.⁸

Por otro lado se muestra el porcentaje de matrículas que hay en los diferentes departamentos en Colombia como referencia, para visualizar el panorama nacional donde la máquina tendría mayores compradores.

Figura 71. Matrículas por departamento



Fuente. <http://www.andi.com.co/cinau>. Visto el 23 de mayo de 2016.

“Del total matriculado en 2015, el 33% corresponde a matrículas realizadas en Bogotá (93.762 unidades), mientras que el 14% corresponden a vehículos matriculados en Antioquia (40.556 unidades) y el 12% al Valle del Cauca (32.611 unidades), entre los tres departamentos suman el 59% del mercado de vehículos en Colombia”.⁹

7.1.1 Identificación del objetivo. Como se observa el sector privilegiado es la ciudad de Bogotá seguido por los departamentos de Antioquia y Valle del Cauca.

Como es sabido en las ciudades existen muchos talleres los cuales no tienen las calificaciones apropiadas y certificaciones pero aun así siguen operando. Estos son

⁸ SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO, Estudios de mercado- Estudio del sector automotor. [online] julio de 2012. [citado el 1 de junio de 2016]. Disponible en internet: < <http://www.sic.gov.co/Estudiosobreelsectorautomotor.> >

⁹ ASOCIACIÓN NACIONAL DE EMPRESARIOS DE COLOMBIA, Cámara de la industria automotriz- matrículas por departamento [online] marzo de 2016. [citado el 1 de junio de 2016]. Disponible en internet: < <http://www.andi.com.co/cinau/Paginas/> >

llamados “talleres de barrio” donde se hacen reparaciones de latonería y pintura.

Es por esto que se hace una clasificación de talleres avalados por Cesvi Colombia que es la entidad encargada de investigar y experimentar en el campo de la reparación automotriz en Colombia.

En los informes se evalúan varios ítems como lo es la estructura física del taller, la gestión administrativa con la que se manejan y los contratos con aseguradoras.

a) Estructura física

- ❖ Equipos
- ❖ Herramienta
- ❖ Materiales
- ❖ Seguridad
- ❖ Procesos
- ❖ Estructura de personal

b) La gestión administrativa

- ❖ Recepción.
- ❖ Valoración de daños.
- ❖ Planificación del taller.
- ❖ Desarrollo de la orden de recepción.
- ❖ Control de calidad.
- ❖ Entrega.
- ❖ Contacto post venta.
- ❖ Satisfacción de clientes.

Según esta información se hace un sondeo de los talleres que tienen las mejores calificaciones y mejor calificados en la ciudad de Bogotá.

Entre los cuales encuentran.

Cuadro 23. Talleres calificados en Bogotá

Taller	Sucursal
Alfamotor ltds	Bogotá
Auto unión	Bogotá
Autoblitz	Bogotá
Autogalias	Bogotá
Autogermana Autopista	Bogotá
Autogrande S.A.	Bogotá
Autonal	Bogotá
Automotores San Jorge	Bogotá

Cuadro 24. (Continuación)

Taller	Sucursal
Autostok	Bogotá
Bavarian Auto Parts SAS	Bogotá
Car Hyundai 49	Bogotá
Carco S.A.	Bogotá
Casa Toro	Bogotá
Centro Diesel	Bogotá
Colitalia autos S.A.	Bogotá
Colwagen Cra 5a	Bogotá
Daimler Colombia	Bogotá
Demcautos	Bogotá
Distoyota Morato	Bogotá
Industrias Mussgo	Bogotá
Internacional de Vehículos Toberin	Bogotá
Jorge Cortes	Bogotá
Los Coches de la Sabana Cra 49	Bogotá
Los coches Megataller	Bogotá
Marcali internacional	Bogotá
Markia S.A.	Bogotá
Parra Arango Cll 134	Bogotá
Promecanica	Bogotá
Sanautos Bulevar	Bogotá
Sanautos Paloquemao	Bogotá
SAR Automotriz	Bogotá
Shako Motors	Bogotá
Sincromotors	Bogotá
Talleres autorizados Cll 49	Bogotá
Talleres autorizados Cll 14	Bogotá
Vascar	Bogotá

Fuente. Liberty seguros S.A, modificado por el autor. Visto el 24 de mayo de 2016

De esta manera se observan los clientes potenciales, para el estudio inicial en la ciudad de Bogotá.

7.1.2 Seguridad en los talleres. Un beneficio primordial del proyecto es la seguridad de los operarios que manejan solventes en los talleres, a continuación se muestran unos datos estadísticos entregados por el Concejo Colombiano de Seguridad a través de CISPROQUIM, para evidenciar la falta de mecanismos que se requieren para mitigar los problemas y accidentes en las diferentes industrias y mostrar la

relevancia del proyecto traducido en la compra de la máquina lavadora automática de pistolas de pintura.

En la siguiente figura se muestran las partes del cuerpo que tienen mayor riesgo para los trabajadores al manipular estos solventes.

Figura 72. Intoxicación laboral por químicos



Fuente. <http://ccs.org.co/cispro.php>. Visto el 25 de mayo de 2016

Cualquier mecanismo para mitigar los accidentes laborales, de cualquier manera, es un reflejo de la economía de la empresa, ya que se reducirían gastos en incapacidades médicas y hablando de una mayor gravedad la indemnización de un operario. Sujeto a esto también se evitarían demandas y problemas judiciales que de una u otra manera son gastos de dinero innecesarios.

7.2 ANÁLISIS DE LA INVERSIÓN

Para el desarrollo económico del proyecto se tienen en cuenta el valor inicial de la inversión acompañado de la ingeniería como tal, materiales y mano de obra.

7.2.1 Costos de ingeniería del proyecto. En este ítem se relacionan los gastos acarreados por el autor del proyecto acompañado de las horas trabajadas, investigaciones, experimentos, equipos y asesorías. También se muestran los gastos fungibles y adicionales todo con un margen del 4%.

Cuadro 25. Costos de ingeniería del proyecto

Ítems	Cantidad	Costo x Unidad	Costo Total
Talento humano		Pesos/hora	
Investigador	700	\$ 8.000	\$ 5.600.000
Asesor	80	\$ 16.000	\$ 1.280.000
Total talento humano			\$ 6.880.000
Gastos maquinaria y equipo		Pesos/hora	
Computadora	700	\$ 500	\$ 350.000
Total maquinaria y equipo			\$ 350.000
Fungibles	Unidad	Pesos	
Papel	450	\$ 100	\$ 45.000
Tinta	1	\$ 55.000	\$ 55.000
Total fungibles			\$ 100.000
Gastos de manutención	Unidad	Pesos	
Trasporte	400	\$ 1.450	\$ 580.000
Comida	200	\$ 7.000	\$ 1.400.000
Total gastos de manutención			\$ 1.980.000
Total antes de gastos adicionales			\$ 9.310.000
Gastos adicionales 4%			\$ 372.400
Costo ingeniería del proyecto			\$ 9.682.400

7.2.2 Costos de materiales y mano de obra. En el siguiente cuadro se muestran los materiales y equipos usados en la elaboración de la máquina con sus respectivas cantidades, separadas por los subsistemas. También se muestra la mano de obra que se requiere. Con unos gastos adicionales del 4%.

Cuadro 26. Costos de materiales y mano de obra.

Ítem	Cantidad	Costo x Unidad	Costo Total
Estructura y accesorios			
Perfil cuadrado 1"x 2 espesor (m)	14	\$ 13.800	\$ 193.200
Lámina acero inox cal-18	5	\$ 58.200	\$ 291.000
Tornillo autorroscante	114	\$ 200	\$ 22.800
Perfil cuadrado 1/2"x 1,27 espesor(m)	5	\$ 11.200	\$ 56.000
Lámina acero inox cal-11	1	\$ 24.000	\$ 24.000
Abrazadera galvanizada	8	\$ 1.800	\$ 14.400
Total estructura y accesorios			\$ 601.400
Sistema de tubería			

Cuadro 27. (Continuación)

Ítem	Cantidad	Costo x Unidad	Costo Total
Tubería acero 1" (m)	3	\$ 28.300	\$ 84.900
Reducción 1-1/4"	1	\$ 6.100	\$ 6.100
Reducción 1-1/2"	1	\$ 5.200	\$ 5.200
Codo 90° de 1/4"	7	\$ 1.200	\$ 8.400
Codo 90° de 1"	7	\$ 1.600	\$ 11.200
Tee 1/4	5	\$ 1.500	\$ 7.500
Tee 1"	1	\$ 2.200	\$ 2.200
Aspersor a 90° para 1/4	4	\$ 15.400	\$ 61.600
Boquilla para 1/4	2	\$ 13.200	\$ 26.400
Total sistema de tubería			\$ 306.300
Equipos			
Bomba "Aga 076 m"	1	\$ 855.000	\$ 855.000
Carcasa filtro	1	\$ 118.000	\$ 118.000
Cartucho filtro x 3	1	\$ 523.000	\$ 523.000
Válvula de bola	4	\$ 225.000	\$ 900.000
Actuador neumático	4	\$ 326.930	\$ 1.307.720
Tambor de 80 lts	2	\$ 250.000	\$ 500.000
Total equipos			\$ 4.203.720
Automatización y control			
Mini PLC serie AF	1	\$ 315.000	\$ 315.000
Caja Nema	1	\$ 65.000	\$ 65.000
Electroválvula 5/2	4	\$ 50.000	\$ 200.000
Pulsador	2	\$ 5.200	\$ 10.400
AC Contactor Chint	1	\$ 28.000	\$ 28.000
Interfaz de programación (cable)	1	\$ 51.000	\$ 51.000
Interruptor de bisagra	1	\$ 230.000	\$ 230.000
Cable(m)	10	\$ 500	\$ 5.000
Manguera neumática g 1/4 (m)	5	\$ 3.000	\$ 15.000
Manifold	1	\$ 32.000	\$ 32.000
Unidad de Mantenimiento	1	\$ 66.200	\$ 66.200
Total automatización y control			\$ 1.017.600
Otros gastos			

Cuadro 28. (Continuación)

Ítem	Cantidad	Costo x Unidad	Costo Total
Corte de tubo	1	\$ 25.000	\$ 25.000
Transporte	15	\$ 10.000	\$ 150.000
Total otros gastos			\$ 235.000
Mano de obra			\$ 800.000
Total antes de gastos adicionales			\$ 7.164.020
Gastos adicionales 4%			\$ 286.561
Costo total de materiales y mano de obra			\$ 7.450.581

Los costos de los materiales y equipos fueron cotizados por diferentes distribuidores autorizados al igual que la mano de obra que comprende la soldadura, corte de tubo y ensamble final, al igual que el transporte que se requiere para los diferentes materiales.

7.2.3 Costo final de la máquina. Se suman los costos de materiales y mano de obra para dar el total de la máquina lavadora automática de pistolas de pintura.

Cuadro 29. Costo final del proyecto

TIPO DE COSTO	VALOR
Ingeniería del proyecto	\$9.682.400
Materiales y mano de obra	\$7.450.581
TOTAL	\$17.132.981

La máquina tiene un costo total de \$17.132.981 de pesos colombianos.

7.3 FLUJO DE CAJA

Se realiza un flujo de caja para un periodo de 5 años teniendo en cuenta una demanda de 65 máquinas repartidas de la siguiente manera.

Cuadro 30. Demanda de máquinas por año

AÑO	MAQUINAS	INGRESOS
1	9	\$ 80.466.300
2	11	\$ 98.347.700
3	13	\$ 116.229.100
4	15	\$ 134.110.500
5	17	\$ 151.991.900

Como se ve en el cuadro para el primer año el objetivo es la venta de 9 máquinas, aumentando su demanda cada año en dos.

Con ayuda de estrategias de mercadeo y sondeos a nivel nacional, basados en el análisis de mercado al comienzo del capítulo, se logrará vender las 65 máquinas durante los 5 años.

También se tiene en cuenta el sueldo de un empleado el cual se encarga de las ventas, postventa y atención al cliente, el cual se refleja en el costo de venta y será de \$ 721.350, un salario mínimo legal vigente año 2016 (incluyendo subsidio de transporte). Este se mantendrá como un costo fijo ya que al aumento de este a lo largo de los años es impredecible.

El precio establecido para cada máquina es de \$ 8.940.700 para tener una utilidad del 20%.

Cuadro 31. Flujo de caja

FLUJO DE CAJA						
Año	0	1	2	3	4	5
Unidades vendidas	0	9	11	13	15	17
Ingresos						
Ventas	\$ 0	\$ 80.466.300	\$ 98.347.700	\$ 116.229.100	\$ 134.110.500	\$ 151.991.900
Egresos						
Costo de ingeniería	\$ 9.682.400	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Costo de fabricación	\$ 0	\$ 7.450.581	\$ 7.450.581	\$ 7.450.581	\$ 7.450.581	\$ 7.450.581
Costo de venta	\$ 0	\$ 8.656.200	\$ 8.656.200	\$ 8.656.200	\$ 8.656.200	\$ 8.656.200
Utilidad bruta	\$ 9.682.400	\$ 16.106.781	\$ 16.106.781	\$ 16.106.781	\$ 16.106.781	\$ 16.106.781
Impuestos 5%	\$ 0	\$ 805.339	\$ 805.339	\$ 805.339	\$ 805.339	\$ 805.339
Utilidad Neta	-\$ 9.682.400	\$ 63.554.180	\$ 81.435.580	\$ 99.316.980	\$ 117.198.380	\$ 135.079.780

Luego de esto se muestra la tabla de resultados del flujo efectivo neto.

Cuadro 32. Flujo neto

Flujo de efectivo neto	
Año	Valor
1	\$ 63.554.180
2	\$ 81.435.580
3	\$ 99.316.980
4	\$ 117.198.380
5	\$ 135.079.780

Luego de esto se halla el VPN y la TIR. Teniendo en cuenta una tasa anual de interés del 11% y como inversión inicial el costo total de fabricación e ingeniería del proyecto que sería igual a \$17.132.981, para una vida útil del proyecto de 5 años.

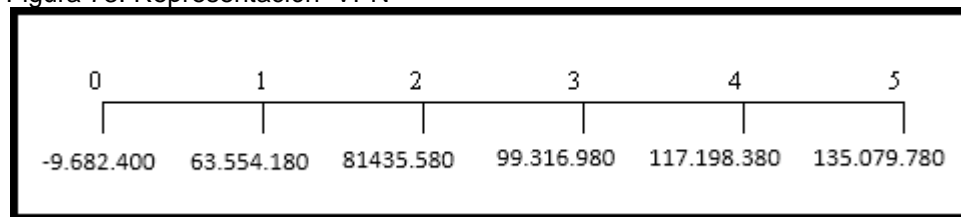
❖ VPN (valor presente neto)

Ecuación 15. Valor presente neto

$$VPN = -S_0 + \sum_{t=1}^n \frac{S_t}{(1+i)^t}$$

Fuente. <http://periodo-de-recuperación-de-la-inversión-van>. Visto el 1 de junio de 2016

Figura 73. Representación VPN



Por medio de la función de Excel se calcula el VPN total para los 5 años el cual da como resultado una suma de \$ 336.203.178 lo cual indica una buena rentabilidad del proyecto.

❖ TIR

Se calcula la tasa interna de retorno para el primer año, esto refleja una proyección de lo que será durante los próximos años.

Ecuación 16. Tasa interna de retorno

$$TIR = \sum_{T=0}^n \frac{Fn}{(1+i)^n} = 0$$

Fuente. <http://www.cyta.com.ar/ta0504/v5n4a4.htm>. Visto el 1 de junio de 2016

Para este caso se divide la ganancia del primer año en 9 (que es el número de unidades vendidas), \$7.061.575 y por medio de la función en Excel se halla la TIR.

El resultado es de 72%, si bien no es muy alta se considera que no hay ningún aumento durante la venta de las 9 unidades en un año. Sin embargo es una muy buena utilidad para el primer año de ventas lo cual indica que el proyecto es viable.

7.3.1 Beneficio en el taller. Como ya se hizo una evaluación de flujos efectivos para el beneficio de quien vende la máquina, es necesario mostrar el beneficio a quien la posee, en este caso los talleres de repintado y latonería.

Para este proceso se hace una demostración experimental (a manera de ejemplo) de un taller de la lista de estudio de mercado al principio del capítulo. Se escoge el taller SAR Automotriz por accesibilidad del autor del proyecto. Esto es solo para demostrar cuánto se puede ahorrar un taller convencional con la maquina lavadora automática de pistolas de pintura.

Este taller cuenta con el contrato de 4 aseguradoras, (MAPFRE, Liberty, Equirent y Allianz) lo cual quiere decir, que el volumen de carros que manejan en la línea de repintado y reparación es alta.

Cuenta con un total de 4 operarios en la parte de pintura encargados de diferentes tareas, como la aplicación de fondos, pintado general y retoques pequeños.

En un día se efectuaron 15 limpiezas de pistolas aerográficas tipo gravedad, en cada lavada se requirió de 0,6 ml de solvente (9 litros al día). Contando con que en el mercado el promedio de litro de Thinner tiene un costo de \$ 7.500 pesos colombianos. Se trabaja 5 días completos y uno medio tiempo. Se tiene el siguiente análisis.

❖ Costo sin la máquina.

Cuadro 33. Costo sin máquina

Tiempo	Costo
1 Día	\$ 67.500
1 Semana	\$ 371.250
1 Mes	\$ 1.485.000
1 Año	\$ 17.820.00

❖ Costo con la máquina.

Tomando el recambio máximo de solvente sugerido por la empresa “BECCA” con el mecanismo de recirculación de solvente por filtrado, que es con el que cuenta la máquina, sería el de cambio de solvente cada mes y con gasto de 70 litros por mes.

Cuadro 34. Costo con la máquina.

Tiempo	Costo
1 Mes	\$ 577.500
1 Año	\$ 6.930.000

❖ Beneficio al año.

$$R = \frac{\$ 17.820.000}{\$ 6.930.000} = 2,57$$

Para este ejemplo se observa un beneficio bastante considerable. De tal modo no es posible averiguar en cuánto se recupera la inversión de la máquina para el taller ya que la información requerida de flujos de caja empresarial no permite ser consultada.

8. EVALUACIÓN IMPACTO AMBIENTAL

En todas las actividades que el ser humano desarrolla, se encuentra un efecto positivo o negativo en su entorno y en el ambiente que lo rodea.

De tal modo es necesario evaluar qué tanto es el daño que se le hace al ambiente y de un modo estratégico crear un plan para mitigar los daños y aminorar los efectos que este produce.

También es necesario resaltar en este capítulo lo relacionado con la disposición final del solvente cuando este ya es retirado de la máquina y la normativa regula este tipo de procedimientos.

8.1. DESCRIPCIÓN DEL ASPECTO AMBIENTAL EN EL PROYECTO

Se hace una descripción con detalle sobre el entorno donde la máquina va a ubicarse y cumplir su respectiva función de lavado.

Un importante efecto que genera la máquina es la reducción de VOCs al ambiente, y además de esto crea una disposición y almacenamiento adecuada del solvente ya degradado, pero aun así se deben tener en cuenta los riesgos en los que la máquina esté involucrada.

8.1.1 Características generales del medio. Las empresas que van a tener el servicio de lavado de pistolas de pintura son aquellas que trabajan en la industria automotriz y se dedican a la labor del repintado, alistamiento y revestimiento de vehículos automotores de distintas gamas. Es un ambiente donde la contaminación por solventes es alta ya que no solo se usa para lavar las pistolas sino que también se usa como diluyente de pintura, como se mencionó en el capítulo uno.

8.1.2 Entorno geográfico. La máquina estará ubicada en talleres donde los operarios cuentan con cabinas de pintado, almacenamiento de pinturas o simplemente donde hagan la labor de pintado automotriz.

8.2 IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES

Durante esta parte se evalúan de manera estratégica, cómo se pueden desequilibrar los niveles ambientales naturales por la operación de la máquina efectuando limpiezas a las pistolas aerográficas y durante su fabricación como tal.

8.2.1 Componente atmosférico. El entorno el cual operará la máquina se puede ver afectado por pequeñas emisiones de VOCs (disolventes orgánicos volátiles a la atmósfera) al ambiente cuando se abre la recámara de lavado después de haber

ejecutado un ciclo de lavado. También por el ruido que genera la bomba y los componentes neumáticos.

8.2.2 Componente suelo. El suelo se puede ver afectado por partículas de pintura que caen producto de la limpieza de las pistolas, además de esto puede haber pequeños derramamientos de Thinner.

8.3 MATRIZ DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

Una vez identificados los componentes que se pueden ver afectados por la operación de la máquina, se realiza una evaluación para medir el desequilibrio ambiental que la actividad produce.

Cuadro 35. Valor para el impacto ambiental

Nivel de impacto	Valor
Alto	5
Medio	3
Bajo	1
No Aplica	N/A
Positivo	+
Negativo	-

Se observa en el Cuadro 28 el nivel de impacto con su respectivo valor.

Una vez realizada la evaluación, se analizan los resultados y se proponen las respectivas medidas preventivas para mitigar los impactos al ambiente generados por el proyecto.

Según la matriz del impacto ambiental (Cuadro 33), para el caso de la fabricación de la máquina, si se estableciera el mayor impacto igual a (15) y se comparara con el real (7), estaría en un 47 % respecto al máximo. De una u otra forma esto no conlleva a grandes consecuencias ya que esta actividad no se hace con frecuencia y no representa mayor daño al ambiente y a la sociedad.

En el caso de la operación aplicaría un valor máximo de 25 lo cual representa un porcentaje de 52 % respecto al que se da en la evaluación. Pero esto tampoco representa un riesgo grande, sin embargo se dan unas medidas para la disminución de estos porcentajes.

Cuadro 36. Matriz de impacto ambiental.

	IMPACTO DEL PROYECTO	FASE DEL PROYECTO		TOTAL
		FABRICACIÓN	OPERACIÓN	
ATMOSFÉRICO	Aumento de niveles de ruido	3	1	4
	Gases liberados a la atmósfera por procesos de soldadura	3	N/A	3
	Olores de solvente durante el proceso	N/A	3	3
SUELO	RESOL y REPEL generados	1	3	4
	Desperdicio de solvente	N/A	3	3
	Desechos de pintura	N/A	3	3
SOCIO ECONÓMICO	Generación de empleo	+	+	
	Aumento de la productividad	N/A	+	
TOTAL		7	13	20

En cuanto al análisis total el máximo nivel de afectación estaría en los 40 puntos lo cual representa la mitad del impacto.

8.4 MEDIDAS DE PREVENCIÓN

- ❖ Capacitación del personal en el buen uso del filtro y manejo de este tipo de máquinas: Concientizar del riesgo que los solventes generan en el cuerpo humano.
- ❖ Capacitar a los operarios para el conocimiento de los elementos de protección de salud ocupacional tanto en el proceso de fabricación, como en la operación de la máquina.

8.5 NORMATIVA AMBIENTAL

El taller, cuando efectúa las reparaciones, toma de manera directa o indirecta recursos del medio ambiente para transformarlos y utilizarlos, de tal manera que cumplan sus necesidades.

De esta forma la aplicación de la normativa ambiental los cubre totalmente, ya que tienen la capacidad de interactuar con el ambiente y causar daños en su entorno.

Figura 74. Necesidades y entregas ambientales



Fuente. <http://www.mapfre.com/fundacion/html/revistas/seguridad>.
Visto el 5 de junio de 2016.

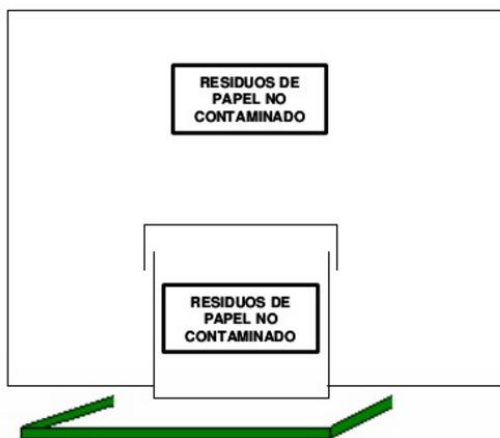
Sin embargo, hay una que es obligatoria y con la cual los talleres tienen derecho a operar, se llama Licencia Ambiental, esta establece medidas de prevención y protección ambiental en función del tipo y capacidad del taller reparador. Estas medidas tienen que tener en cuenta antes de iniciar cualquier operación.

8.5.1 Generación y gestión de residuos. En la reparación de latonería y pintura de vehículos se genera gran cantidad de residuos peligrosos y no peligrosos, como se producen en gran cantidad, hay que gestionarlos de la manera correcta.

- ❖ La clasificación de residuos peligrosos y no peligrosos, en la sección de pintura en los talleres.

a) Residuos no peligrosos.

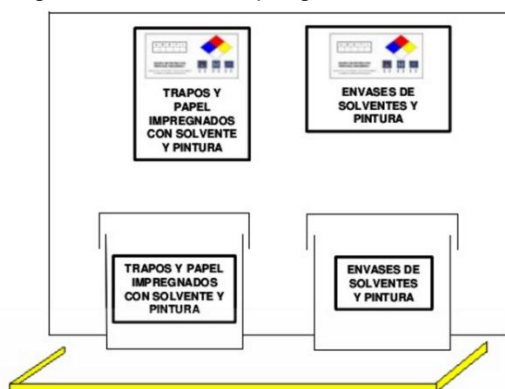
Figura 75. Residuos no peligrosos



Fuente.
<http://es.slideshare.net/fchavarria1967/plan-manejo-de-residuos-taller-automotriz>. Visto el 1 de junio de 2016.

b) Residuos peligrosos.

Figura 76. Residuos peligrosos



Fuente.

<http://es.slideshare.net/fchavarria1967/plan-manejo-de-residuos-taller-automotriz>. Visto el 1 de junio de 2016.

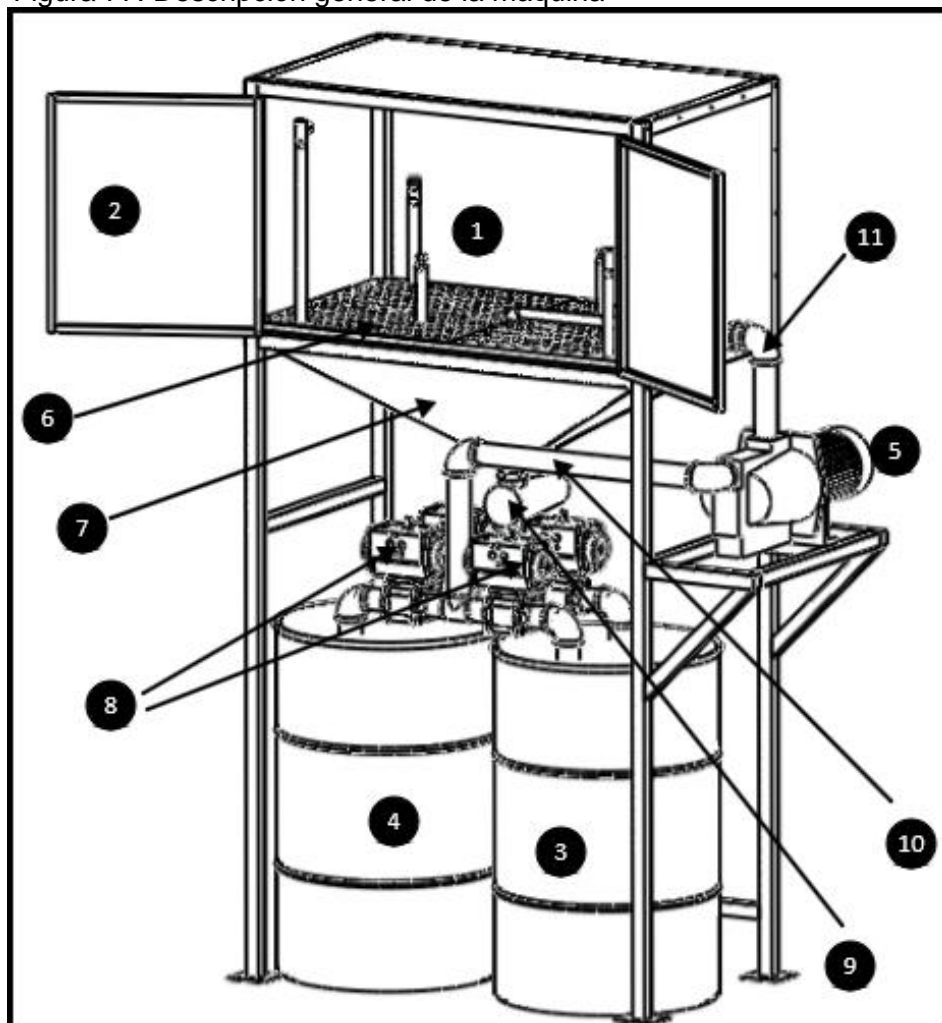
9. MANUALES

Los manuales de la máquina son:

- ❖ Manual de montaje: Se describen las partes a ensamblar y la forma adecuada de llevar a cabo el montaje.
- ❖ Manual de operación: Se especifican los pasos y las recomendaciones que debe tener en cuenta el operario a la hora de poner en marcha la máquina.
- ❖ Manual de mantenimiento: Describe las actividades rutinarias de limpieza y revisión que se deben tener en cuenta para que la máquina esté en buenas condiciones al momento de su operación.

9.1 MANUAL DE MONTAJE

Figura 77. Descripción general de la máquina



Descripción de la máquina.

Cuadro 37. Descripción general de la máquina

Ítem	Descripción
1	Recámara de lavado
2	Puerta de la recámara
3	Contenedor de solvente 1
4	Contenedor de solvente 2
5	Bomba
6	Lamina de seguridad
7	Tolva
8	Válvulas neumáticas
9	Filtro
10	Tubería de succión
11	Tubería de descarga

Paso a paso.

El objetivo de este manual es definir los pasos para la fabricación e instalación de la máquina lavadora en los talleres de mecánica.

❖ Montaje de estructura.

Inicialmente se sueldan todas las piezas de la estructura, la descripción detallada se encuentra en el plano número 2 donde están los detalles y posiciones de los distintos elementos que la componen.

❖ Montaje de puertas con sus pivotes.

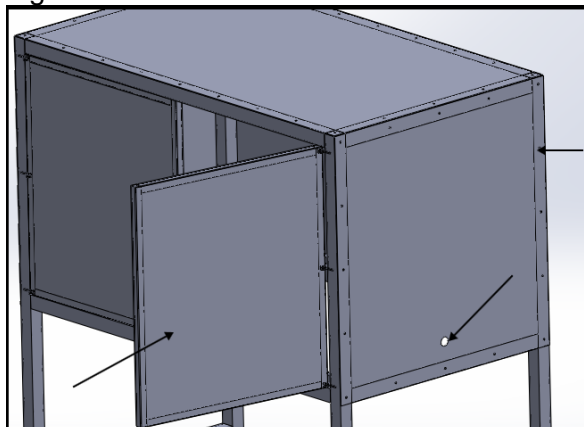
Luego de tener la estructura se ensamblan las dos puertas a las distancias mostradas en el plano de fabricación 2. Se verifica que abran y cierren correctamente.

❖ Montaje de láminas.

Se procede a instalar las láminas de la recámara de lavado con tornillos 0,0092 m (1/4") para lámina auto-roscante y se suelda la lámina para el marco de las puertas, como se observa en la Figura 78.

Para la lámina lateral derecha se perfora un agujero pasante de 16 mm como lo indica el plano número 2.

Figura 78. Posición láminas



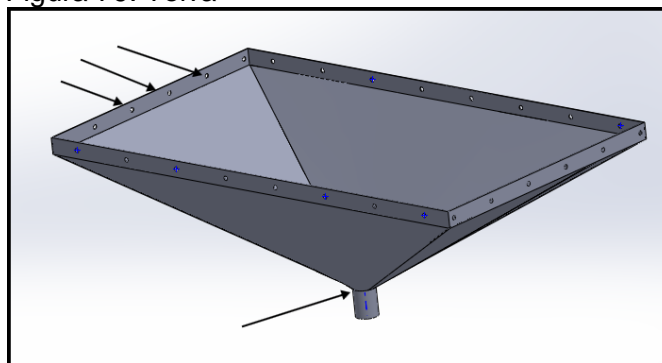
❖ Fabricación tolva.

Se usan dos láminas de acero inoxidable calibre 18 de dimensiones 895x325x1.21. Véase el plano número 4 para el desarrollo de la tolva con sus verdaderas magnitudes.

Una vez se tiene el desarrollo de la tolva, se hacen perforaciones a 94 mm y 80 mm de distancia para tornillería auto-roscante la cual va sujeta al perfil cuadrado de la estructura.

Luego de esto se aplica soldadura con electrodo E308L-16 especial para lámina en acero inoxidable con el objetivo de montar la tubería de descarga.

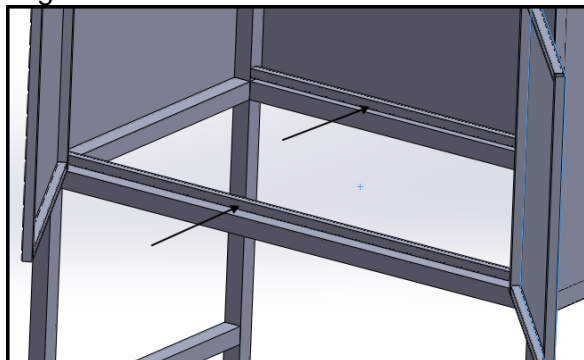
Figura 79. Tolva



❖ Montaje de parales laterales.

Se sueldan perfiles cuadrados de aluminio de 0,0127 m (1/2") para dar altura y sostener los componentes internos de la recámara de lavado (anexo E).

Figura 80. Parales en aluminio



❖ Montaje de bomba AGA Self Priming – 76 y tubería 0,0092 m ($\frac{1}{4}$ ")

Se roscan dos tornillos 0,009398 m ($\frac{3}{8}$ ") con sus respectivas tuercas y arandelas a la bancada de la estructura especial para la bomba.

Luego de estar ya sujeta la bomba a la bancada de la estructura se procede a armar la tubería de 0,0092 m ($\frac{1}{4}$ ") para conectarla a la reducción.

Se tiene que tener en cuenta los ángulos de los aspersores los cuales se indican en el plano número 5.

Montaje de tubería sobrante con sus accesorios: Succión y descarga. Se hace la unión de los tubos de 0,026 m (1") con sus codos y tees.

❖ Montaje final.

Finalmente se instalan los bidones con sus respectivas conexiones, se conectan las electroválvulas y el filtro para solvente, montaje eléctrico del PLC y sus demás componentes de automatización.

Es importante seguir los pasos descritos, ya que cualquier irregularidad puede afectar el rendimiento de la máquina.

Como recomendación adicional, revisar los elementos de sujeción como son los tornillos y soldadura, antes de poner en marcha la máquina.

9.2 MANUAL DE OPERACIÓN

9.2.1 Recomendaciones de seguridad.

❖ No encender fuego en las cercanías a la máquina ni fumar cerca de ella.

Figura 81. Aviso de precaución de fuego



- ❖ Controlar y revisar constantemente las tuberías de succión y descarga de solvente, que estén correctamente introducidas y fijadas dentro de los contenedores correspondientes.

Figura 82. Aviso conexión al contenedor



- ❖ Identificar que los tubos no estén en mal estado, que no tengan ningún deterioro para evitar cualquier tipo de fuga

Figura 83. Aviso tubo defectuoso



- ❖ Controlar el nivel de solvente presente en los contenedores de tal manera que la bomba no aspire en seco y generar daños en esta.

9.2.1.1 Vestuario y equipo de protección individual (EPI).

- ❖ El operador debe usar guantes de goma anti disolvente/anti-ácido con el fin de asegurarse de que las manos no entren en contacto con los productos utilizados para el lavado.

Figura 84. Uso de guantes



- ❖ El operador debe llevar siempre gafas de protección para asegurarse de que cualquier pulverización del producto no entra en contacto con los ojos.

Figura 85. Uso de gafas

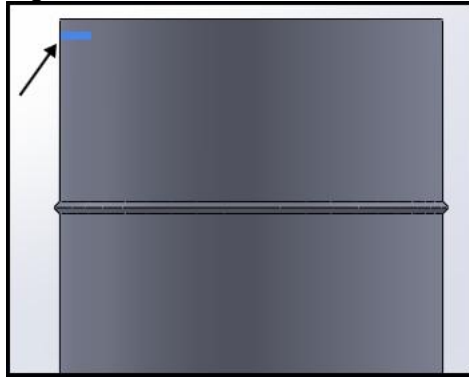


9.2.1.2 Número de operarios. Sólo se necesita un operario para manejar la máquina. La presencia de otros miembros del personal sólo es posible durante las fases de instalación, mantenimiento y desmantelamiento.

9.2.3 Puesta en marcha.

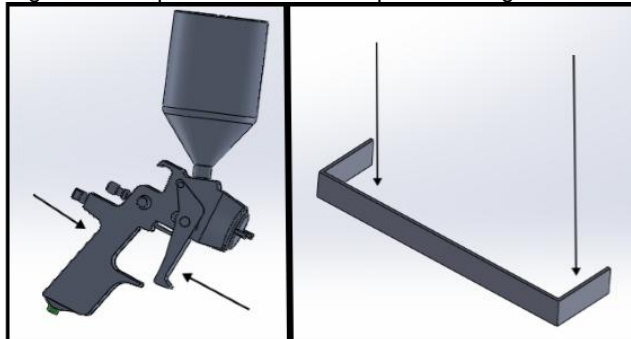
- ❖ Para la primera puesta en marcha es importante que el solvente se vierta en el contenedor derecho, hasta la marca indicada.

Figura 86. Nivel del Thinner



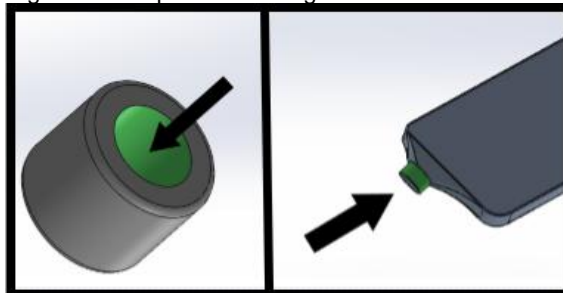
- ❖ Después de llenar el bidón o contenedor. Cerrar muy bien las tapas y preparar la pistola aerográfica con sus elementos de seguridad para el lavado.
- a) Primero se pone el gancho de obturación que es un dispositivo que incluye la máquina para mantener los ductos de pintura abiertos. Apretar el gatillo y luego instalarlo.

Figura 87. Disposición inicial de la pistola aerográfica



- b) Después del paso “a”, poner el tapón de seguridad en la entrada de aire, con el objetivo de evitar que entre solvente en los conductos de aire de la pistola.

Figura 88. Dispositivo de seguridad



La máquina lavadora trae entre sus accesorios adicionales dos tapones 0,0092 m (1/4") y 0,009398 m (3/8") ya que esas son las roscas estandarizadas para la entrada de aire.

Figura 89. Rosca estandarizada

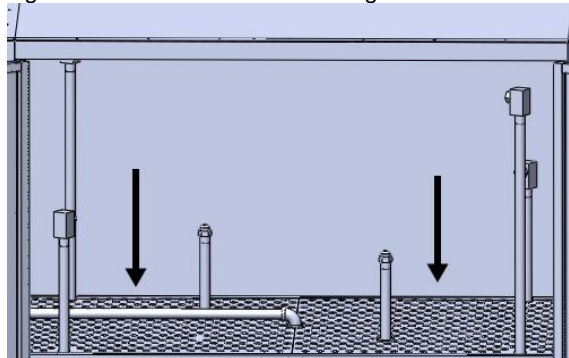


❖ Colocación de la pistola aerográfica dentro de la recámara de lavado.

Una vez se hayan cumplidos los pasos anteriores se verifica la posición de las láminas de seguridad para evitar que se pase cualquier tipo de objeto no deseado al interior de las tuberías.

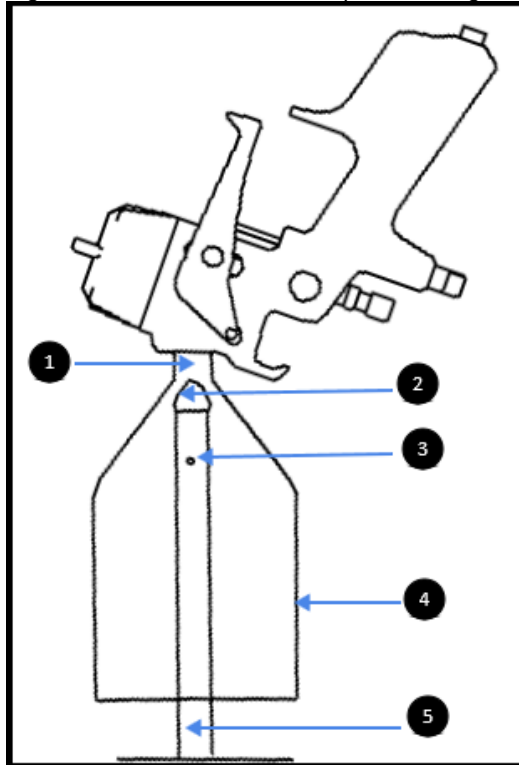
En la siguiente figura se muestra el posicionamiento correcto de las dos láminas de seguridad.

Figura 90. Posición láminas de seguridad



Luego de verificar esto, se dispone a poner la pistola en posición de lavado.

Figura 91. Posición inicial de la pistola aerográfica



Cuadro 38. Descripción figura 91.

Ítem	Descripción
1	Entrada de pintura de la pistola
2	Salida de solvente por la boquilla
3	Agujero pasante para el lavado de la taza de pintura
4	Taza de pintura
5	Tubería de 0,0092 m (1/4") de diámetro

- ❖ Una vez completados los pasos, se procede a cerrar la recámara de lavado y se oprime el botón verde de puesta en marcha.

ESPERAR LOS 40 SEGUNDOS QUE DURA EL CICLO DE LAVADO.

- ❖ Finalmente se retira la pistola aerográfica ya limpia y se retiran los dispositivos de seguridad. Como medida opcional se puede secar con un trapo especial para sustancias químicas.

9.2.2 Cambio de solvente. Como el mecanismo está basado en la recirculación de solvente por filtrado, las empresas encargadas de la fabricación de este tipo de máquinas recomiendan cambiar el solvente o el agente limpiador cada mes.

Un indicador claro de esto es que el solvente empieza a tener una viscosidad muy alta y se forma un fluido de aspecto pegajoso.

De todos modos este es solo un punto de referencia para el recambio total del solvente, ya que este varía con la frecuencia que se le dé a la máquina.¹⁰

9.2.3 Cambio de filtro. Al igual que el solvente, el cartucho de filtro debe sustituirse de acuerdo al uso que se le dé a la máquina.

La recomendación que da las empresas fabricantes del filtro es la de cambiar el cartucho entre 6 y 10 meses.¹¹

9.3 MANUAL DE MANTENIMIENTO.

El propósito principal de este manual es llevar a cabo las actividades en conjunto que se presentan con el ánimo de mantener niveles altos de disponibilidad y confianza de la máquina lavadora, de tal modo que se garantice una respuesta rápida a los problemas presentados.

En esta sección se planean, programan y desarrollan actividades de mantenimiento para la máquina en el desarrollo de su operación.

Se muestra en el Cuadro 36 una serie de actividades las cuales pueden reprogramarse dependiendo el uso que se le dé a la máquina.

IMPORTANTE

Lo primordial para cualquier actividad de limpieza y mantenimiento es desconectar la máquina de la alimentación de aire y eléctrica, ya que esto puede tener un alto riesgo de accidente.

¹⁰ BECCA, Innovation for Waste Minimization. Reciclaje y reducción de residuos. [online] enero de 2010. [citado el 28 de junio de 2016]. Disponible en internet: <<http://www.beccainc.com/products/solvent/recycling-system/with-distillation-recycling-system>>

¹¹ HYDRONIX, Hydronix Technology. Filtros de sedimento y grifos certificados por la NSF. [online] enero de 2014. [citado el 2 de julio de 2016]. Disponible en internet: <http://www.hydrnixwater.com/catalog/HDX_catalog_2014.pdf >

Cuadro 39. Rutinas de mantenimiento

RUTINAS DE MANTENIMIENTO			
Diario	Mensual	Trimestral	Anual
Verificar que no existan fugas de aire en el sistema neumático	Limpiar la máquina por fuera y por dentro	Revisión de las válvulas neumáticas	Revisión de conexión de alimentación de la bomba
Verificar que las tuberías estén en perfectas condiciones	Revisar los componentes eléctricos		
Verificar que se encuentre con la alimentación neumática y eléctrica	Verificar las conexiones al PLC		
Revisar el estado de las boquillas	Revisión de electroválvulas y Manifold		

Como se puede observar en el cuadro las actividades presentadas se exponen de manera general.

El operario que vaya a manejar la máquina debe conocer los manuales de mantenimiento de los componentes seleccionados y que traen su propio catálogo, como lo es el caso de la bomba y las válvulas neumáticas, como recomendación adicional.

❖ Válvulas neumáticas.

Es recomendable también hacer mantenimiento bimensual para los actuadores de las válvulas neumáticas.

En el mantenimiento de los sistemas neumáticos, la seguridad es primordial, es decir, al inspeccionar el sistema no deben realizarse maniobras que atenten contra la seguridad de la persona.

El aire del circuito puede contener contaminantes procedentes de los trabajos de fabricación e instalación de los equipos. Estos contaminantes pueden consistir en partículas de materiales indeseados las cuales se clasifican en tres.¹²

¹² CREUS, Antonio. Neumática e hidráulica. Segunda edición. México. Alfa omega, 351p ISBN:978-959-682-807-9.

- a) Suciedad externa provocando fallos en la operación.
- b) Suciedad blanda.
- c) Líquidos o gases que con la humedad del aire provocan corrosión.

A continuación se muestra un cuadro para las rutinas de las válvulas.

Cuadro 40. Mantenimiento de válvulas neumáticas

Descripción	Actividad	Periodicidad
Sellado de la válvula	Verificación	Trimestral
Mecanismos internos	Lubricación	Trimestral
Elementos de sujeción	Ajuste	Trimestral

Fuente. CREUS, Antonio. Neumática e hidráulica. Visto el 3 de julio de 2016.

- ❖ Limpieza de boquillas y aspersores.
 - a) Cada pieza y componente dentro de la máquina es des-ajustable, las tuberías y boquillas se pueden desmontar de manera fácil y segura.
 - b) Se recomienda hacer el desmontaje de las boquillas para evitar cualquier tipo de taponamiento. Se hace una serie de pasos para la correcta limpieza.
 - c) Desmontar la boquilla con la llave precisa para tal tuerca.
 - d) No introducir, ni limpiar con objetos corto punzantes, debido a que estos pueden dañar la funcionalidad de la boquilla.

10. CONCLUSIONES

- ❖ Se puede concluir que a lo largo del proyecto y de las investigaciones realizadas, los mecanismos de recirculación de solvente son una alternativa viable hoy en día en los talleres de reparación automotriz, ya que disminuyen el impacto ambiental que producen estas sustancias y ayudan a un ahorro considerable en las empresas que las usan.
- ❖ Para la fundamentación inicial del proyecto, hubo que realizar un experimento en el cual se pudiera hallar el caudal requerido para lavar una pistola aerográfica, ya que es la única manera posible de obtener este dato y obtener las demás variables a lo largo del diseño hidráulico.
- ❖ El filtrado es una parte primordial de la máquina lavadora automática de pistolas de pintura, ya que permite prolongar la vida útil del solvente de manera significativa y ayuda a las empresas a tener una mejor disposición de los residuos peligrosos en su taller y el cumplimiento con la normativa vigente en Colombia.
- ❖ Se concluye también, que el análisis obtenido mediante el software de simulación por elementos finitos es soportado mediante los cálculos analíticos que se realizaron en el capítulo cinco, donde se desarrolló el estudio de las variables de velocidad, presión y estructura.

11. RECOMENDACIONES

- ❖ Se recomienda a futuro un nuevo estudio sobre el tipo de filtrado para solvente, para rediseñar de cierta manera el sistema de recirculación. Con la ayuda tecnológica y la normativa ambiental, este proyecto es un campo abierto a la investigación.
- ❖ Una opción de maximizar el proyecto en toda su forma es dirigirse directamente al Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, para dar a conocer la propuesta que plantea el proyecto y de alguna manera incentivar un proyecto de ley donde el uso de este tipo de máquinas sea obligatorio en los talleres de reparación.

BIBLIOGRAFÍA

ANTONIO CREUS SOLE, (1997) Instrumentación Industrial, sexta edición, México DF Alfaomega.

BEER, FERDINAND P., JOHNSTON, E. RUSSELL Y DEWOLF, JR. JOHN T. Mecánica de materiales. México, D.F: Mc. Graw Hill, 2004. 9701039505.

BARRERO RIPOLL, A., PÉREZ-SABORID SÁNCHEZ-PASTOR, M. Fundamentos y aplicaciones de la mecánica de fluidos. Ed. McGraw Hill (2005)

AUTOS Y MOTOS. Historia de la pintura automotriz. [En línea] 13 del 09 de 2013 <<http://www.onlywit.com/posts/Cars-and-Motorbike/220/Historia-de-la-pintura-automotriz.html?hl=es>>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Sexta actualización. Bogotá: El instituto, 1998.

_____. Referencias bibliográficas, contenido, forma y estructura. NTC 5613. Bogotá: El instituto 2008.

_____. Referencias documentales para fuentes de información electrónica. NTC 4490. Bogotá: El instituto 2008.

POLLUTION PREVENTION. Limpieza de pistolas de pintura. [En línea]. <https://www.dtsc.ca.gov/PollutionPrevention/ABP/upload/TD_FS_-Limpieza_de_Pistolas.pdf>

ROBERT L. MOTT, P.E. Diseño de elementos de máquinas. México: Pearson Education, 2006. 0130618853.

ROBERT L. MOTT, P.E. Mecánica de fluidos. México: Pearson Education, 2006. 0130618853.

ANEXOS

ANEXO A

BOMBA AGA SELF PRIMING – 76

ANEXO B
BOQUILLAS DE ASPERSIÓN

ANEXO C
CARCASA DE FILTRO Y CARTUCHO

ANEXO D
MANIFOLD DE VÁLVULAS

ANEXO E
PERFIL ESTRUCTURAL DE ALUMINIO

ANEXO F
HOJA DE SEGURIDAD DEL THINNER

ANEXO G
DIAMETROS DE TUBERÍA Y ACCESORIOS

ANEXO H
UNIDAD DE MANTENIMIENTO


ANEXO I

VÁLVULA DE BOLA CON ACTUADOR NEUMÁTICO

ANEXO J
PERFIL ESTRUCTURAL DE ACERO

ANEXO K
RECIRCULACIÓN DE SOLVENTE

ANEXO L
DIAGRAMA DE MOODY


 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código: 4102299
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Noviembre - 2016

AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL LUMIERES

Yo **Diego Felipe Rodríguez García** en calidad de titular de la obra **Diseño de una máquina lavadora automática de pistolas de pintura**, elaborada en el año 2015, autorizo al **Sistema de Bibliotecas de la Fundación Universidad de América** para que incluya una copia, indexe y divulgue en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres, la obra mencionada con el fin de facilitar los procesos de visibilidad e impacto de la misma, conforme a los derechos patrimoniales que me corresponde y que incluyen: la reproducción, comunicación pública, distribución al público, transformación, en conformidad con la normatividad vigente sobre derechos de autor y derechos conexos (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, entre otras).

Al respecto como Autor manifiesto conocer que:

- La autorización es de carácter no exclusiva y limitada, esto implica que la licencia tiene una vigencia, que no es perpetua y que el autor puede publicar o difundir su obra en cualquier otro medio, así como llevar a cabo cualquier tipo de acción sobre el documento.
- La autorización tendrá una vigencia de cinco años a partir del momento de la inclusión de la obra en el repositorio, prorrogable indefinidamente por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales del autor y podrá darse por terminada una vez el autor lo manifieste por escrito a la institución, con la salvedad de que la obra es difundida globalmente y cosechada por diferentes buscadores y/o repositorios en Internet, lo que no garantiza que la obra pueda ser retirada de manera inmediata de otros sistemas de información en los que se haya indexado, diferentes al Repositorio Digital Institucional – Lumieres de la Fundación Universidad de América.
- La autorización de publicación comprende el formato original de la obra y todos los demás que se requiera, para su publicación en el repositorio. Igualmente, la autorización permite a la institución el cambio de soporte de la obra con fines de preservación (impreso, electrónico, digital, Internet, intranet, o cualquier otro formato conocido o por conocer).
- La autorización es gratuita y se renuncia a recibir cualquier remuneración por los usos de la obra, de acuerdo con la licencia establecida en esta autorización.
- Al firmar esta autorización, se manifiesta que la obra es original y no existe en ella ninguna violación a los derechos de autor de terceros. En caso de que el trabajo haya sido financiado por terceros, el o los autores asumen la responsabilidad del cumplimiento de los acuerdos establecidos sobre los derechos patrimoniales de la obra.
- Frente a cualquier reclamación por terceros, el o los autores serán los responsables. En ningún caso la responsabilidad será asumida por la Fundación Universidad de América.

	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código: 4102299
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Noviembre - 2016

- Con la autorización, la Universidad puede difundir la obra en índices, buscadores y otros sistemas de información que favorezcan su visibilidad.

Conforme a las condiciones anteriormente expuestas, como autor establezco las siguientes condiciones de uso de mi obra de acuerdo con la **Licencia Creative Commons** que se señala a continuación:



Atribución- no comercial- sin derivar: permite distribuir, sin fines comerciales, sin obras derivadas, con reconocimiento del autor.



Atribución – no comercial: permite distribuir, crear obras derivadas, sin fines comerciales con reconocimiento del autor.

X



Atribución – no comercial – compartir igual: permite distribuir, modificar, crear obras derivadas, sin fines económicos, siempre y cuando las obras derivadas estén licenciadas de la misma forma.

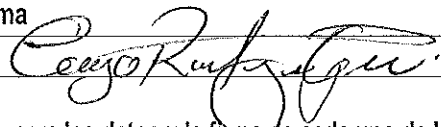
Licencias completas: http://co.creativecommons.org/?page_id=13

Siempre y cuando se haga alusión de alguna parte o nota del trabajo, se debe tener en cuenta la correspondiente citación bibliográfica para darle crédito al trabajo y a su autor.

Para constancia se firma el presente documento en Bogotá, a los 4 días del mes de noviembre del año 2016.

EL AUTOR:

Autor 1

Nombres	Apellidos
Diego Felipe	Rodríguez García
Documento de Identificación No.	Firma
1049633735	

Nota: Incluya un apartado (copie y pegue el cuadro anterior), para los datos y la firma de cada uno de los autores de la obra.