

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

“Diseño de un sistema de aplicación de pintura sin ser  
mezclado con aire”

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero Mecánico**

Presentado por:

Alvaro Fabian Tutiven Bonilla

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

## **DEDICATORIA**

Este trabajo se lo dedico a mi papá, mamá y hermana, también a mi familia y a las personas que estuvieron pendientes de mi trabajo y de la culminación de mis estudios en esta noble institución. También dedico este trabajo a los profesores que creyeron en mí y me guiaron hasta culminar mi carrera.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco infinitamente a mis padres Hugo Tutiven y Katty Bonilla, y a mi hermana que me brindaron su apoyo siempre, en especial en mi etapa como estudiante universitario y que a pesar de las adversidades su mano siempre estuvo extendida. Agradezco a la institución y a sus profesores por darme oportunidad de adquirir conocimientos, a mis amigos de la facultad que también fueron un apoyo y parte del disfrute de mis días en la universidad.

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Alvaro Fabian Tutiven Bonilla* y doy mi consentimiento para que la ESPOLE realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Alvaro Fabian Tutiven Bonilla

# EVALUADORES

.....  
**PhD. Emerita Delgado**

PROFESOR DE LA MATERIA

.....  
**Ing. Ernesto Martínez**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

En la industria de la manufactura se realiza la aplicación de pintura en superficies metálicas que requieren de un recubrimiento en especial en base a la necesidad de cada proyecto, la mayoría de estos proyectos demandan una culminación en el menor tiempo posible. El presente proyecto diseñó un sistema de aplicación de pintura airless que beneficie a la pequeña industria de la manufactura ya que el alquiler o contratación de un equipo similar es costosa. Se realizó la selección de la bomba hidráulica para el sistema y los elementos adicionales del sistema, además se realizó el diseño de un armazón móvil de acero. Se ejecutó la simulación CFD mediante el software Ansys 2021 del paso de una pintura epóxica de elevada densidad y viscosidad a través de la pistola de pulverización y la formación del abanico desde la boquilla hasta la superficie metálica. Se obtuvo que el armazón deberá ser una tubería de acero de 1 pulgada, la pintura epóxica mantiene la presión elevada hasta antes de la salida de la boquilla, su velocidad aumenta a más de 100 m/s a la salida de la boquilla y en la formación del abanico se apreció que la pintura llega hasta la superficie y que a la mitad de su recorrido se crea un pequeño vórtice debido a la elevada velocidad de salida de la boquilla. El costo del proyecto es de \$ 2957, es inferior a los equipos ofertados en el mercado y se puede trabajar con pintura epóxica.

**Palabras Clave:** Airless, epóxica, pulverización, boquilla.

## **ABSTRACT**

*In the manufacturing industry, paint is applied to metallic surfaces that require a special coating based on the need for each project, those projects require a completion in the shortest possible time. This project designed an airless paint application system that would benefit the small manufacturing industry as it is expensive to rent or hire similar equipment. The hydraulic pump for the system and the additional elements of the system were selected, and a moving steel frame was designed. The CFD simulation was performed using Ansys 2021 software of the passage of an epoxy paint of high density and viscosity through the spray gun and the formation of the fan from the nozzle to the metal surface. It was found that the frame should be a 1-inch steel pipe, the epoxy paint keeps the pressure high until before the nozzle outlet, its speed increases to more than 100 m/s at the nozzle outlet, and in the formation of the fan it was seen that the paint reaches the surface and that halfway through its path it is creates a small vortex due to the high exit speed of the nozzle. The cost of the project is \$ 2957, it is lower than the equipment offered on the market and can work with epoxy paint.*

*Keywords: Airless, epoxy, spray, nozzle*

# INDICE GENERAL

|  |      |
|--|------|
| RESUMEN.....   | I    |
| <i>ABSTRACT</i> .....  | II   |
| INDICE GENERAL .....   | III  |
| ABREVIATURAS.....  | VI   |
| SIMBOLOGÍA.....  | VII  |
| INDICE DE FIGURAS .....  | VIII |
| INDICE DE TABLAS.....  | X    |
| CAPÍTULO 1.....  | 1    |
| 1. Introducción.....   | 1    |
| 1.1 Descripción del problema .....                                 | 2    |
| 1.2 Justificación del problema .....                               | 2    |
| 1.3 Objetivos .....  | 3    |
| 1.3.1 Objetivo General.....  | 3    |
| 1.3.2 Objetivos Específicos.....                                   | 3    |
| 1.4 Marco teórico.....   | 3    |
| 1.4.1 Preparación de la superficie .....                           | 3    |
| 1.4.2 Normas de preparación de superficie .....                    | 5    |
| 1.4.3 Pintura Industrial .....                                     | 6    |
| 1.4.4 Métodos de aplicación de pintura .....                       | 7    |
| 1.4.5 Espesor de capa seca .....                                   | 10   |
| 1.4.6 Cálculo de espesor de capa seca.....                         | 11   |
| 1.4.7 Sistema airless.....   | 11   |
| 1.4.8 Bombas de desplazamiento positivo.....                       | 11   |
| 1.4.9 Clasificación de las bombas de desplazamiento positivo ..... | 12   |
| 1.4.10 Bomba émbolo pistón .....                                   | 13   |
| CAPÍTULO 2.....  | 14   |

|                 |  |    |
|-----------------|--|----|
| 2.              | Metodología.....                                 | 14 |
| 2.1             | Requerimientos y especificaciones .....          | 14 |
| 2.2             | Alternativas de diseño .....                     | 16 |
| 2.2.1           | Alternativa A.....                               | 17 |
| 2.2.2           | Alternativa B.....                               | 17 |
| 2.2.3           | Alternativa C .....                              | 17 |
| 2.3             | Matriz de decisión.....                          | 18 |
| 2.4             | Selección de componentes .....                   | 18 |
| 2.4.1           | Selección de la boquilla y porta boquillas ..... | 18 |
| 2.4.2           | Selección de la pistola airless.....             | 20 |
| 2.4.3           | Manguera de alta presión para el sistema .....   | 21 |
| 2.4.4           | Selección de la bomba.....                       | 21 |
| 2.4.5           | Selección de la alimentación de potencia .....   | 23 |
| 2.5             | Diseño del equipo.....                           | 23 |
| 2.5.1           | Placa de acero .....                             | 24 |
| 2.5.2           | Tubo de acero del armazón .....                  | 26 |
| 2.6             | Simulación .....                                 | 27 |
| 2.6.1           | Volumen de control de la pistola airless.....    | 28 |
| 2.6.2           | Parámetros de mallado.....                       | 29 |
| 2.6.3           | Material .....                                   | 31 |
| 2.6.4           | Condiciones de borde .....                       | 32 |
| 2.6.5           | Superficie de control del abanico .....          | 33 |
| 2.6.6           | Parámetros de mallado del abanico.....           | 34 |
| 2.6.7           | Material .....                                   | 34 |
| 2.6.8           | Condiciones de borde .....                       | 34 |
| CAPÍTULO 3..... |  | 35 |
| 3.              | Resultados Y ANÁLISIS .....                      | 35 |

|                 |  |    |
|-----------------|--|----|
| 3.1             | Resultado de la estructura rodante ..... | 35 |
| 3.2             | Resultado de la simulación.....          | 35 |
| 3.2.1           | Presión del Fluido .....                 | 36 |
| 3.2.2           | Velocidad del fluido.....                | 36 |
| 3.2.3           | Presión del abanico de pintura.....      | 37 |
| 3.2.4           | Velocidad del abanico de pintura .....   | 38 |
| 3.3             | Análisis de costos.....                  | 39 |
| CAPÍTULO 4..... |  | 40 |
| 4.              | Conclusiones Y Recomendaciones.....      | 40 |
| 4.1             | Conclusiones.....                        | 40 |
| 4.2             | Recomendaciones.....                     | 41 |
| BIBLIOGRAFÍA    |  |    |
| APÉNDICES       |  |    |

## **ABREVIATURAS**

|      |  |
|------|--|
| ASTM | American Society for Testing and Materials     |
| SSPC | Steel Structures Painting Council              |
| SIS  | Standards Institution Stockholm                |
| ISO  | International Organization for Standardization |

## SIMBOLOGÍA

|     |                                   |
|-----|-----------------------------------|
| Kg  | Kilogramo                         |
| MPa | Mega Pascales                     |
| mm  | Milímetro                         |
| KU  | Unidades Krebs                    |
| in  | Pulgadas                          |
| Psi | Libra fuerza por pulgada cuadrada |
| Lpm | Litros por minuto                 |
| gpm | Galones por minuto                |

## INDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1.1 Aplicación de pintura con brocha.....                             | 7  |
| Figura 1.2 Aplicación de pintura con rodillo .....                           | 8  |
| Figura 1.3 Aplicación de pintura con pistola con mezcla de aire .....        | 9  |
| Figura 1.4 Aplicación de pintura por aspersion airless .....                 | 9  |
| Figura 1.5 Equipo airless de gran potencia y capacidad .....                 | 11 |
| Figura 1.6 Clasificación de las bombas de desplazamiento positivo .....      | 12 |
| Figura 1.7 Esquema básico de una bomba de émbolo pistón .....                | 13 |
| Figura 2.1. Boquilla verde de Graco[9].....                                  | 19 |
| Figura 2.2. Pistola airless seleccionada [10].....                           | 21 |
| Figura 2.3. Bomba ARO Serie NM2328A11 [12].....                              | 22 |
| Figura 2.4 Curva característica de la bomba de pistón neumática [12] .....   | 22 |
| Figura 2.5 Motor neumático ARO serie 66915 [13].....                         | 23 |
| Figura 2.6 Estructura y montaje de la bomba airless.....                     | 24 |
| Figura 2.7. Diagrama de fuerza y momento flector de la placa .....           | 25 |
| Figura 2.8. Volumen de control de la pistola [Elaboración propia].....       | 29 |
| Figura 2.9. Método de mallado seleccionado .....                             | 29 |
| Figura 2.10. Detalles del mallado del volumen de control .....               | 30 |
| Figura 2.11. Mallado del volumen de control .....                            | 31 |
| Figura 2.12. Entrada y salida del fluido .....                               | 31 |
| Figura 2.13. Propiedades de la pintura epóxica densidad y viscosidad .....   | 32 |
| Figura 2.14 Geometría del abanico de pintura .....                           | 33 |
| Figura 2.15 Tamaño de elementos del mallado del abanico .....                | 34 |
| Figura 3.1 Estructura con la bomba y simulación de un balde de pintura. .... | 35 |
| Figura 3.2. Presión del fluido a la salida de la boquilla .....              | 36 |
| Figura 3.3. Velocidad del fluido a la salida de la boquilla .....            | 37 |
| Figura 3.4 Presión de la pintura en el abanico .....                         | 37 |

Figura 3.5 Perfil de velocidad de la pintura en el abanico .....38

Figura 3.6 Velocidad vs Posición a través del abanico.....38

## INDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1.1 Estándares de distintos métodos de preparación superficial .....   | 4  |
| Tabla 1.2. Clasificación de las superficies antes de la preparación superficial [1].....                           | 5  |
| Tabla 1.3. Acabado superficial: comparación de normas internacionales utilizadas en Latino América[2].....         | 5  |
| Tabla 1.4. Componentes de la pintura [3].....  | 6  |
| Tabla 1.5. Rendimiento de los diferentes métodos de aplicación de pintura[4] .....                                 | 10 |
| Tabla 1.6. Sistema de pintura para acero al carbono de baja aleación para categoría de corrosividad C5-I [5] ..... | 10 |
| Tabla 2.1. Ponderación de criterios. Elaboración propia .....  | 15 |
| Tabla 2.2 Alternativas diseño y sus variables [Elaboración propia] .....   | 16 |
| Tabla 2.3. Evaluación de alternativas. Elaboración propia .....  | 18 |
| Tabla 2.4 Códigos para boquillas RAC X LP [10] .....   | 19 |
| Tabla 2.5 Boquilla RAC X azul I[10].....   | 20 |
| Tabla 2.6 Propiedades del tubo de acero .....  | 27 |
| Tabla 2.7. Condición de borde.....   | 33 |
| Tabla 3.1 Precios de los equipos y accesorios.....   | 39 |

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

En la industria y diferentes talleres mecánicos que se enfocan en la manufactura, se realizan procesos de tratamiento, recubrimiento, limpieza y acabado superficial en metales. Una de las operaciones que se realiza es el proceso de pintura, donde previamente se realiza un tratamiento a la superficie y se la prepara para pintarla, muchas veces con el objetivo de que sea una capa protectora para el material.

Existen varios métodos de aplicación de pintura, entre los cuales se puede mencionar pintura con brocha, con rodillo, con compresión de aire y el sistema airless (sin aire). Existen normas internacionales que exigen cumplir con ciertos factores en diferente tipo de situaciones, por ejemplo, uno de los factores importantes es el espesor de la capa de pintura. Para el que realiza el proceso de aplicación de pintura es necesario ahorrar dinero y terminar sus trabajos a tiempo. La pintura con brocha permite tener espesores de capa considerables y en algunas ocasiones basta con cubrir la superficie con una mano de brocha (pintar solo una vez), otra ventaja es que sus pérdidas son del 15% y se aprovecha al máximo la pintura, la desventaja es que el proceso es muy lento y no es recomendable cuando se tiene un área superficial grande. La pintura con rodillo puede alcanzar un espesor de capa similar, su aplicación es más rápida, pero se pierde pintura durante el proceso llegando hasta el 20%. La aplicación de mezcla con aire comprimido desperdicia pintura alcanzando solo aprovechar un máximo de 50% de la pintura, el espesor de capa que se puede lograr es mucho menor a los anteriores y es necesario aplicar más de una capa de pintura en la superficie, el tiempo de aplicación por cada capa es mucho menor.

El sistema airless se utiliza para realizar la aplicación de pintura, este sistema no utiliza una mezcla de pintura y aire comprimido, básicamente se aumenta la presión de la pintura que mediante una pistola es pulverizada. El desperdicio de pintura es menor comparado con el proceso de mezcla de aire comprimido, alcanzando hasta un máximo de 30% de pérdidas, el espesor de capa es mucho mayor y se puede regular, por lo cual en muchas ocasiones solo se necesita una sola capa de pintura, su aplicación es más rápida comparada con la de mezcla de aire comprimido.

## **1.1 Descripción del problema**

Industrias pequeñas utilizan el proceso de aplicación de pintura como parte fundamental de la mayoría de los trabajos que realizan. En los talleres, la aplicación de pintura con los métodos comunes genera un mayor gasto debido a que se necesita más pintura y el tiempo de aplicación es mayor comparado con el sistema airless. Los equipos airless ofertados en el mercado local tienen un costo elevado y el alquiler de estos también, ya que es necesario contratar una persona que conozca la operación del equipo, contratar una empresa que realice la aplicación de pintura también es costoso. El mantenimiento de un equipo airless es complicado y en ocasiones es necesario contactar con el fabricante cuando existe un problema, el equipo por compresión de aire genera un desperdicio de material por lo que demanda la aplicación de más de una capa de pintura, la aplicación de pintura con brocha tiene un mayor rendimiento, pero es un proceso muy lento; muchos talleres de la industria manufacturera se ven en la necesidad de contratar empresas que cuentan con equipos de bombeo de pintura que tienen un mayor rendimiento y rapidez en la aplicación, esto genera costos elevados para las industrias pequeñas y la adquisición en el mercado de un equipo similar es muy costosa.

## **1.2 Justificación del problema**

La necesidad de cumplir con el tiempo de entrega de una obra o proyecto muchas veces demanda que talleres pequeños contraten un servicio de pintura costoso por lo que sus utilidades se ven disminuidas, esto disminuye la rentabilidad de la empresa y aumenta los costos de producción. El desperdicio de pintura al ser pulverizada con un equipo a compresión de aire genera contaminación al medio ambiente con estos productos químicos industriales; cuándo se crea una nube de mezcla pintura y aire comprimido al realizar la aplicación de pintura, solo una parte de esta mezcla se adhiere a la superficie metálica y la otra queda en el ambiente.

No existen problemas de tipo social en este proyecto

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar un sistema de aplicación de pintura por medio del uso de programas de simulación, dirigido a pequeñas industrias de manufactura

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Diseñar los elementos que forman parte del sistema.
- Seleccionar los equipos idóneos para el sistema.
- Seleccionar los materiales que se puedan adquirir en el mercado local.
- Determinar la factibilidad de construcción y mantenimiento para el mercado local.

## **1.4 Marco teórico**

### **1.4.1 Preparación de la superficie**

Cuando se requiere aplicar pintura en una superficie metálica, es necesario regirse a las normas nacionales o internacionales que indican el proceso correcto que se tiene que cumplir. Previo a la aplicación de pintura se prepara la superficie, es decir se limpia con el objetivo de quitar impurezas y restos de óxidos que pueda tener la superficie metálica con la que se va a trabajar. El granallado, arenado o chorreado abrasivo es el proceso que se utiliza para limpiar una superficie metálica, existen varios tipos de granallado y cada uno tiene sus normas con guías visuales que permiten la evaluación de la superficie luego de ser limpiada.

El abrasivo o granalla es el material que se utiliza en el granallado, se eligen por propiedades como tamaño, forma, densidad y dureza; entre los abrasivos más utilizados se tiene la arena sílice, granalla de acero angular y esférica.

**Tabla 1.1 Estándares de distintos métodos de preparación superficial**

| <b>Estándar</b> | <b>Nombre</b>                            | <b>Descripción</b>  |
|-----------------|--|---|
| SSP-VIS 1       | Dry abrasive blast cleaning              | Estándar visual para granallado seco.   |
| SSP-VIS 2       | Degree of rusting painted steel surfaces | Estándar de evaluación de superficies que han sido pintadas.                                |
| SSP-VIS 3       | Power and hand tool cleaning             | Estándar visual para superficies limpiadas con herramientas .                               |
| SSP-VIS 4       | Waterjetting                             | Estándar visual para superficies limpiadas con agua a alta presión.                         |
| SSP-VIS 5       | Wet abrasive blast cleaning              | Estándar para superficies limpiadas con granallado húmedo (combinación de agua y abrasivo). |

La norma americana SSPC (Steel Structures Painting Council), también clasifica el estado de la superficie metálica o grado de herrumbre antes de la preparación de la superficie. Si la superficie ha sido pintada se debe seguir lo que indica la norma SSP-VIS 2, si la superficie no ha sido pintada, entonces se clasifica según la Tabla 1.2.

**Tabla 1.2. Clasificación de las superficies antes de la preparación superficial [1]**

| <b>Grado de herrumbre</b> | <b>Descripción</b>   |
|---------------------------|--|
| A                         | Superficie de acero con la capa de laminación intacta en toda la superficie y prácticamente sin corrosión.   |
| B                         | Superficie de acero con principio de corrosión y en la cual la capa de laminación comienza a despegarse  |
| C                         | Superficie de acero en donde la capa de laminación ha sido eliminada por la corrosión o la capa de laminación puede ser eliminada por raspado, pero en la cual no se han formado en gran escala cavidades visibles |
| D                         | Superficie de acero en donde la capa de laminación ha sido eliminada por la corrosión y se han formado en gran escala cavidades visibles   |

#### **1.4.2 Normas de preparación de superficie**

En la industria generalmente se utiliza el granallado seco, en Latino América se emplean las normas SSPC y SIS como guía para la preparación de superficie, también existe una norma americana y en la Tabla 1.3 se presenta la equivalencia de cada una de ellas en los grados de preparación de superficie que comúnmente se obtienen por proyección de abrasivo (granallado seco). Para más información sobre los grados de preparación de superficie se adjunta tabla en apéndice A.

**Tabla 1.3. Acabado superficial: comparación de normas internacionales utilizadas en Latino América[2]**

| <b>GRADO</b>      |                  |                        |
|-------------------|------------------|------------------------|
| <b>Norma SSPC</b> | <b>Norma SIS</b> | <b>Norma Americana</b> |
| SP 5              | SA 3             | Metal blanco           |
| SP 10             | SA 2 1/2         | Semi blanco            |
| SP 6              | SA 2             | Comercial              |
| SP 7              | SA 1             | Granallado ligero      |

### 1.4.3 Pintura Industrial

El siguiente paso luego de la preparación superficial en superficies metálicas es la aplicación de pintura, para eso se debe conocer qué tipo de pintura se va a utilizar para darle un acabado y una utilidad a la capa de pintura sobre la superficie metálica. En la actualidad, existen varios tipos de pintura industrial y cada tipo tienen una característica especial que es necesaria muchas veces en diferentes estructuras metálicas. La selección de la pintura depende de las condiciones a las que estará expuesta la superficie, la pintura se compone de solvente, resina y pigmento. El solvente permite aplicar la pintura, se evapora y no forma parte de la capa protectora. La resina define el tipo de pintura y su característica. El pigmento son las partículas insolubles que aportan propiedades y color a la pintura.

**Tabla 1.4. Componentes de la pintura [3]**

|                |          |   |
|----------------|----------|---|
| <b>PINTURA</b> | PIGMENTO | COLORANTES<br>REFORZANTES<br>QUÍMICOS   |
|                | VEHÍCULO | NO VOLÁTIL (FORMADOR DE<br>PELÍCULA O RESINA)<br>VOLÁTIL (SOLVENTE)   |
|                | ADITIVO  | PLASTIFICANTES<br>SECANTES<br>HUMECTANTES<br>ABRILLANTADORES<br>ANTIOXIDANTES<br>DISPERSANTES<br>ANTIESTÁTICOS<br>ETC |

### 1.4.3.1 Tipos de resinas industriales

**Alquídica:** Su composición principal es la resina alquídica, se obtienen mediante un proceso químico y son resistentes a la humedad y al contacto con el agua.

**Epóxica:** Recubrimiento utilizado con frecuencia en la industria ya que tiene una variedad de propiedades que dependen del agente curante o solvente. Entre sus propiedades importante destacan la resistencia al agua, temperatura, ácidos, abrasión, etc.

**Cauchos:** Esmaltes de uso industrial amplio por su excelente resistencia química y baja permeabilidad al agua

**Poliuretano:** Pinturas mejorada con aditivos especiales con los que se obtienen características como alto brillo, resistencia a la abrasión, corrosión y productos químicos.[3]

### 1.4.4 Métodos de aplicación de pintura

#### 1.4.4.1 Aplicación con brocha

Este método es el más conocido y utilizado por las personas en general. En talleres pequeños son una opción de aplicación de pintura, cuando se fabrican estructuras pequeñas basta con una pintura con brocha si la necesidad de la estructura no es inmediata. Consiste en una unión de cerdas o fibra sintética unidos por una hoja de metal y sujetos a un mango de agarre. Este método es muy lento y su rendimiento en m<sup>2</sup> al día es el menor de todos.



Figura 1.1 Aplicación de pintura con brocha

#### **1.4.4.2 Aplicación con rodillo**

Este método es poco utilizado en la industria, es utilizado con frecuencia para pintar paredes de casas. Consiste en una piel de nylon o lana natural que cubre un cilindro generalmente de plástico, puede girar sobre un mango adaptado a la parte posterior de una de las caras del cilindro. Es un método 2 veces más rápido que la brocha, su limpieza es más difícil que limpiar una brocha, su rendimiento en m<sup>2</sup> por día es el mayor que la pintura con brocha.



**Figura 1.2 Aplicación de pintura con rodillo**

#### **1.4.4.3 Aplicación con pistola con mezcla de aire**

Este sistema utiliza un compresor de aire, se coloca una cierta cantidad de pintura en un depósito en el que llega aire presurizado, el depósito está conectado a una pistola atomizadora que libera la mezcla de aire y pintura cuando el operador acciona la pistola. Este sistema es mucho más rápido que los anteriores, su limpieza es más complicada, consume energía eléctrica y la ventaja es la rapidez de aplicación por capa, siendo el segundo método que más m<sup>2</sup> cubre por día.



**Figura 1.3 Aplicación de pintura con pistola con mezcla de aire**

#### **1.4.4.4 Aplicación con pistola airless**

Este sistema utiliza una bomba que toma la pintura desde un depósito y la presuriza dentro del sistema, luego pasa por una manguera hasta llegar a una pistola de aspersión que libera la pintura a una alta presión. Su limpieza y mantenimiento es más difícil que los métodos anteriores, es el mejor método en rendimiento de  $m^2$  por día, las pérdidas son mayores a los dos primeros métodos y menor al tercer método mencionado



**Figura 1.4 Aplicación de pintura por aspersión airless**

**Tabla 1.5. Rendimiento de los diferentes métodos de aplicación de pintura[4]**

| METODO             | RENDIMIENTO $m^2/día$ |
|--------------------|-----------------------|
| Brocha             | 90                    |
| Rodillo            | 184 – 370             |
| Aspersión con aire | 370 – 740             |
| Aspersión sin aire | 740 - 1100            |

#### 1.4.5 Espesor de capa seca

Existen normas que se debe cumplir durante un proyecto, hay asociaciones que muestran el rango que debe tener el espesor de capa de pintura para ciertas aplicaciones mecánicas. No es lo mismo tratar de pintar un tanque elevado que una estructura metálica o que un tanque de depósito de agua contra incendios; las normas establecen las distintas características que debe tener la pintura. La norma ISO 12944-5 nos indica qué pintura se debe utilizar en distintas superficies de acero, donde además muestra el número de capas a aplicar y su espesor, estimando un rango de durabilidad para las distintas combinaciones. Si se necesita más información sobre el tipo de pintura a aplicar en diferente categoría de corrosividad, consultar en [5].

**Tabla 1.6. Sistema de pintura para acero al carbono de baja aleación para categoría de corrosividad C5-I [5]**

| Sustrato: Acero al carbono de baja aleación  |                           |                                  |             |                         |                          |                    |                         |                      |       |      |
|--|---------------------------|----------------------------------|-------------|-------------------------|--------------------------|--------------------|-------------------------|----------------------|-------|------|
| Preparación de la superficie: Para Sa 2½, sólo de grados de oxidación A, B o C (Véase la Norma ISO 8501-1) |                           |                                  |             |                         |                          |                    |                         |                      |       |      |
| No. Sistema  | Capa(s) de imprimación    |                                  |             |                         | Capa(s) siguiente(s)     | Sistema de pintura |                         | Durabilidad esperada |       |      |
|  | Ligante                   | Tipo de imprimación <sup>a</sup> | Nº de capas | ENPS <sup>b</sup><br>µm | Ligante                  | Nº de capas        | ENPS <sup>b</sup><br>µm | Baja                 | Media | Alta |
| <b>C5-I</b>  |                           |                                  |             |                         |                          |                    |                         |                      |       |      |
| A5I.01   | EP, PUR                   | Misc.                            | 1-2         | 120                     | AY, CR, PVC <sup>c</sup> | 3-4                | 200                     |                      |       |      |
| A5I.02   | EP, PUR                   | Misc.                            | 1           | 80                      | EP, PUR                  | 3-4                | 320                     |                      |       |      |
| A5I.03   | EP, PUR                   | Misc.                            | 1           | 150                     | EP, PUR                  | 2                  | 300                     |                      |       |      |
| A5I.04   | EP, PUR, ESI <sup>d</sup> | Zn (R)                           | 1           | 60 <sup>e</sup>         | EP, PUR                  | 3-4                | 240                     |                      |       |      |
| A5I.05   | EP, PUR, ESI <sup>d</sup> | Zn (R)                           | 1           | 60 <sup>e</sup>         | EP, PUR                  | 3-5                | 320                     |                      |       |      |
| A5I.06   | EP, PUR, ESI <sup>d</sup> | Zn (R)                           | 1           | 60 <sup>e</sup>         | AY, CR, PVC <sup>c</sup> | 4-5                | 320                     |                      |       |      |

#### **1.4.6 Cálculo de espesor de capa seca**

Para cumplir con las normas que se hayan utilizado en algún proyecto, es necesario hacer un ensayo en la capa de pintura aplicada. El ser humano no puede observar el espesor de capa de la pintura, cuando el pintor aplica una capa de pintura no puede inferir si la capa que va a secar llegará al espesor adecuado. Para poder cumplir con el espesor que indique una norma, se hace la evaluación del espesor de capa húmeda con un instrumento de medición y se compara con el valor calculado de espesor de capa seca. [6]

#### **1.4.7 Sistema airless**

Este sistema es utilizado para facilitar la tarea de pintura en grandes áreas superficiales, ahorrando tiempo y dinero, dejando un acabado muy bueno en las superficies. El sistema cuenta con una bomba que succiona pintura a través de una manguera y la presuriza en su cámara, luego sale de la misma a una alta presión por una manguera hasta una pistola de aspersion. La bomba que comúnmente se utiliza en estos equipos son las de émbolo-pistón.



**Figura 1.5 Equipo airless de gran potencia y capacidad**

#### **1.4.8 Bombas de desplazamiento positivo**

Las bombas de desplazamiento positivo tienen una parte móvil que impulsa al fluido en cantidades pequeñas a través de la carcasa la bomba, generalmente cuentan con una válvula de entrada y de salida. Una

pequeña parte del fluido a la entrada es atrapada e impulsada hacia la salida, la holgura que existe entre el elemento rotario y la carcasa permite que la presión del fluido aumente hasta llegada a la válvula de descarga. Permite obtener altas presiones en fluidos con viscosidad elevada.[7]

#### 1.4.9 Clasificación de las bombas de desplazamiento positivo

Se dividen en dos grandes grupos: bombas reciprocantes y bombas rotatorias. Las bombas reciprocantes son de pistón o de diafragma, la primera funciona de tal manera que el pistón crea un vacío en el cilindro haciendo que el fluido ingrese, luego presiona el fluido dentro del cilindro que sale por una válvula a cierta presión. Las bombas rotatorias tienen una coraza fija, donde pueden ir elementos rotatorios como: doble engrane, aspas, doble tornillos, etc. El espacio donde queda atrapado el fluido es pequeño, el caudal que impulsa a través de cada pequeña cámara es pequeño.[8]



Figura 1.6 Clasificación de las bombas de desplazamiento positivo

### 1.4.10 Bomba émbolo pistón

El movimiento rotario de un motor se transforma en un movimiento axial del pistón con un sistema básico biela, manivela, corredera. En el primer tiempo (Subida) el pistón crea un vacío en la cámara o émbolo haciendo que la válvula de admisión sea abierta para permitir el paso del fluido, en el tiempo dos (bajada) el pistón presiona el fluido en la cámara, haciendo que la válvula de admisión sea cerrada y la válvula de expulsión se abra cuando el fluido dentro de la cámara alcance cierta presión.

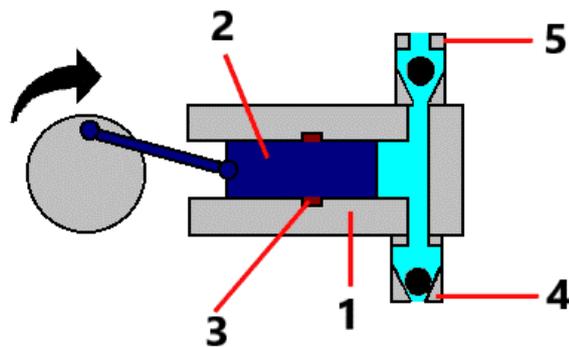


Figura 1.7 Esquema básico de una bomba de émbolo pistón

Partes:

1. Émbolo o camisa
2. Pistón
3. Sello
4. Válvula de admisión
5. Válvula de descarga

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

En esta sesión se detalla la metodología que se implementa para la selección de equipos, componentes y diseño de elementos y piezas para el sistema de pintura airless.

Es necesario recordar que el sistema está en el mercado y existen empresas dedicadas al desarrollo de estos sistemas de pinturas, así como los elementos que complementan todo el sistema. El proyecto se enfoca en seleccionar elementos que son redundantes en diseñar o que necesitan de un estudio focalizado y profundo, pero que son de fácil adquisición; su uso es tan importante como el sistema de presurización de pintura por lo que la selección correcta de los mismos amerita de un análisis previo.

### 2.1 Requerimientos y especificaciones

Como se menciona en el capítulo 1, los talleres mecánicos se ven en la necesidad de hacer uso de un equipo airless, el tiempo de entrega de una obra es un factor importante para tomar en cuenta en el cumplimiento de contratos y entrega de obras. Los talleres requieren disminuir los costos y disminuir el tiempo de realización de una obra o proyecto.

Factores para tomar en cuenta:

- **Facilidad de fabricación:** Es necesario conocer los elementos que son parte de todo el sistema y así saber la disponibilidad de estos en la ciudad de Guayaquil.
- **Costo:** Conocer los precios de los equipos y elementos que se van a seleccionar, comparar el costo del sistema con los disponibles en el mercado.
- **Rapidez de aplicación de pintura:** Este factor también depende de la habilidad del operador, pero se requiere que el uso del sistema airless reduzca el tiempo de una obra comparado con el tiempo que se toma utilizando un equipo con compresión de aire.

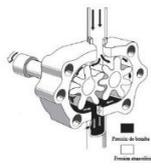
- **Cubrimiento superficial [m<sup>2</sup>] por hora de trabajo:** No se puede establecer un valor fijo, pero se pretende que este valor esté dentro del rango mostrado en la Tabla 1.5.
- **Espesor de capa:** Cada proyecto requiere un distinto valor de espesor de capa de pintura, el mismo podrá regularse con la presión de la bomba y es ideal que se llegue al espesor esperado con una sola pasada.
- **Movilidad y uso del sistema:** Es necesario que el sistema sea fácil de trasladar de un lado a otro y que cualquier operador del taller entienda como usar el sistema diseñado.
- **Pintura industrial:** Alquídicas, Epóxica y Poliuretano.
- **Caudal y presión de la pintura:** Estos parámetros están restringidos por los elementos adicionales al sistema que serán seleccionados, el caudal lo define el tipo de boquilla utilizada y la presión máxima la establece la presión admitida por la pistola airless.
- **Mantenimiento y limpieza:** Es necesario que el sistema airless sea fácil de limpiar luego de ser utilizado, su mantenimiento debe ser de fácil ejecución.

**Tabla 2.1. Ponderación de criterios. Elaboración propia**

| Criterios                   | Costo | Mantenimiento | Movilidad y uso del sistema | Limpieza | Facilidad de fabricación |
|-----------------------------|-------|---------------|-----------------------------|----------|--------------------------|
| Costo                       |       | 0,5           | 1                           | 0,5      | 0,5                      |
| Mantenimiento               | 0,5   |               | 1                           | 0,5      | 1                        |
| Movilidad y uso del sistema | 1     | 1             |                             | 0        | 0,5                      |
| Limpieza                    | 0,5   | 0,5           | 0                           |          | 0                        |
| Facilidad de fabricación    | 0,5   | 1             | 0,5                         | 0        |                          |
| Total                       | 2,5   | 3             | 2,5                         | 1        | 2                        |
| Ponderación                 | 0,23  | 0,27          | 0,23                        | 0,09     | 0,18                     |

## 2.2 Alternativas de diseño

**Tabla 2.2 Alternativas diseño y sus variables**  
[Elaboración propia]

|                  | ALTERNATIVAS  |   |   |
|------------------|---|---|---|
| ARIABLES         | A   | B   | C   |
| ALIMENTACIÓN     | Compresor de aire   | Compresor de aire   | Eléctrica   |
| MOTOR            | No hay  | Motor neumático   | Motor eléctrico   |
|                  |   |     |    |
| BOMBA HIDRAULICA | Bomba neumática de diafragma  | Bomba neumática de piston   | Bomba doble engrane   |
|                  |  |  |  |
| MOVILIDAD        | Carrito con ruedas  | Carrito con ruedas  | Carrito con ruedas  |
|                  |  |   |  |
| PISTOLA          | Airless Graco   | Airless Graco   | Airless Wagner  |
|                  |  |   |  |

### **2.2.1 Alternativa A**

El sistema se forma con una bomba neumática de diafragma que se alimenta de un compresor de aire para poder aumentar la presión de otro fluido sin mezclarse. El sistema tiene una línea de succión que tiene incorporado un filtro, para el fluido se tiene una manguera de alta presión, una pistola airless de alta presión y la selección de la boquilla para el caudal con que el que se quiere trabajar, la desventaja es que las bombas de diafragma no trabajan a una alta presión y si logran hacerlo su caudal es mínimo y el precio elevado.

### **2.2.2 Alternativa B**

El principal elemento del sistema es una bomba neumática de pistón que alcanza altas presiones y el caudal necesario que necesita la boquilla. El sistema cuenta con compresor de aire que alimenta a un motor neumático, este a su vez se conecta y genera el movimiento cíclico a la bomba de émbolo. También cuenta con un filtro antes de la entrada a la bomba, manguera de alta presión a la salida y una pistola airless de alta presión. El valor de la bomba neumática relativamente elevado, pero se altas presiones a la salida de la bomba.

### **2.2.3 Alternativa C**

El sistema tiene una bomba de doble engrane que permite tener altas presiones de salida y un caudal necesario para el requerimiento de la boquilla. Se alimenta de un motor eléctrico que puede ser acoplado directamente a la bomba. Al igual que las otras alternativas tiene un filtro antes de la entrada de la bomba y usa una manguera de alta presión, además de una pistola airless de alta presión.

## 2.3 Matriz de decisión

La valoración que tendrá cada uno de los criterios será 5 para un valor alto o aceptable, 3 para un valor medio o regular y 1 para un valor bajo o poco aceptable.

**Tabla 2.3. Evaluación de alternativas. Elaboración propia**

| Criterios                   | Ponderación | ALTERNATIVAS |      |      |
|-----------------------------|-------------|--------------|------|------|
|                             |             | A            | B    | C    |
| Costo                       | 0,23        | 3            | 3    | 5    |
| Mantenimiento               | 0,27        | 1            | 3    | 3    |
| Movilidad y uso del sistema | 0,23        | 1            | 5    | 5    |
| Limpieza                    | 0,09        | 3            | 3    | 1    |
| Facilidad de fabricación    | 0,18        | 3            | 5    | 3    |
| Total                       | 1,00        | 2            | 3,82 | 3,74 |

## 2.4 Selección de componentes

Para la selección de los componentes del equipo se tomará en cuenta los tipos de pintura que se utilizan en el sector industrial, siendo el factor más importante de la selección. Existen marcas que han desarrollado el sistema de pintura airlees y lo ha potenciado para ubicarse entre las mejores, sus sistemas, equipos y accesorios generan confianza por su durabilidad y resistencia entre las personas que hacen uso de la aspersion sin aire.

### 2.4.1 Selección de la boquilla y porta boquillas

Se encuentra una amplia gama de boquillas y porta boquillas para diferentes tipos de uso, sus boquillas están codificadas en base a la proyección de pintura que tienen sobre una pared al ser usadas a una distancia nominal de 30 cm y en base a su diámetro.



**Figura 2.1. Boquilla verde de Graco[9]**

La figura 2.1 muestra que la boquilla tiene tres números, el primero indica el ancho de abanico de pintura sobre la pared que se obtiene al pulverizar, solo bastará con multiplicar este número por cinco, por ejemplo, si el primer número es 6 su abanico de pintura será aproximadamente 30 cm, además indica el ángulo de abanico que se forma al multiplicar el primer número por 10, para una numeración 6 el ángulo será 60°. Los otros dos números indican el diámetro del orificio de la boquilla en pulgadas, es decir si los dos siguientes números son 19 entonces el diámetro del orificio es 19 milésimas de pulgada. El fabricante de las boquillas enfatiza que el caudal depende del diámetro de la boquilla, de la presión y viscosidad de la pintura, el caudal teórico máximo se muestra en la Tabla 2.4.

**Tabla 2.4 Códigos para boquillas RAC X LP [10]**

|                   |                 | TAMAÑO DEL ORIFICIO |     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------------|-----------------|---------------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                   |                 | IN                  | MM  | 0,013 | 0,015 | 0,017 | 0,019 | 0,021 | 0,023 | 0,025 | 0,027 | 0,029 | 0,031 |
| ANCHO DEL ABANICO | 6-8 (152-203)   |                     | 313 | 315   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                   | 8-10 (203-254)  |                     |     | 415   | 417   | 419   | 421   | 423   | 425   |       |       |       |       |
|                   | 10-12 (254-305) |                     |     |       | 515   | 517   | 519   | 521   | 523   | 525   | 527   |       |       |
|                   | 12-14 (305-356) |                     |     |       |       | 617   | 619   | 621   | 623   | 625   | 627   | 629   | 631   |
|                   | 14-16 (356-406) |                     |     |       |       |       |       |       | 723   | 725   |       | 729   | 731   |

**Tabla 2.5 Boquilla RAC X azul [10]**

**RAC X SWITCHTIPS (LTXXXX)**



| IN              | MM        | .007 | .009 | .011 | .013 | .015 | .017 | .019 | .021 | .023 | .025 | .027 | .029 | .031 | .033 | .035 | .037 | .039 | .041 | .043 | .045 | .051  | .055  | .061  | .065  | .071  |  |
|-----------------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| 2-4             | (51-102)  |      | 109  | 111  |      | 115  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       |  |
| 4-6             | (102-152) | 207  | 209  | 211  | 213  | 215  | 217  | 219  | 221  |      | 225  | 227  |      | 231  |      | 235  |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       |  |
| 6-8             | (152-203) |      | 309  | 311  | 313  | 315  | 317  | 319  | 321  | 323  | 325  | 327  | 329  | 331  |      | 335  |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       |  |
| 8-10            | (203-254) |      | 409  | 411  | 413  | 415  | 417  | 419  | 421  | 423  | 425  | 427  | 429  | 431  | 433  | 435  |      | 439  | 441  | 443  | 445  | 451   | 455   |       |       |       |  |
| 10-12           | (254-305) |      | 509  | 511  | 513  | 515  | 517  | 519  | 521  | 523  | 525  | 527  | 529  | 531  | 533  | 535  | 537  | 539  | 541  | 543  | 545  | 551   | 555   | 561   |       |       |  |
| 12-14           | (305-356) |      |      | 611  | 613  | 615  | 617  | 619  | 621  | 623  | 625  | 627  | 629  | 631  | 633  | 635  | 637  | 639  | 641  | 643  | 645  | 651   | 655   | 661   | 665   | 671   |  |
| 14-16           | (356-406) |      |      |      |      |      |      |      | 721  | 723  |      |      | 729  |      |      | 735  |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       |  |
| 16-18           | (406-XXX) |      |      |      |      |      |      |      | 821  |      |      |      |      | 831  | 833  | 835  |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       |  |
| Flow Rate (gpm) |           | .05  | .09  | .12  | .18  | .24  | .31  | .38  | .47  | .57  | .67  | .77  | .90  | 1.03 | 1.17 | 1.31 | 1.47 | 1.63 | 1.8  | 1.98 | 2.17 | 2.79  | 3.25  | 4.0   | 4.53  | 5.41  |  |
| Flow Rate (lpm) |           | .20  | .33  | .49  | .69  | .91  | 1.17 | 1.47 | 1.79 | 2.15 | 2.54 | 2.96 | 3.42 | 3.90 | 4.42 | 4.98 | 5.56 | 6.18 | 6.83 | 7.51 | 8.23 | 10.57 | 12.29 | 15.12 | 17.17 | 20.48 |  |

Esta empresa clasifica sus boquillas según el producto que se vaya a utilizar en la pulverización y codifica por colores a cada una de estas, verde (boquilla de baja presión hasta un 50%), azul (boquilla airless profesional), café (boquilla de uso intensivo) y amarillo (boquilla trazadora o de señalización). La mayoría de las pinturas utilizadas en el sector industrial indican que la pintura epóxica debe utilizar tamaños de boquillas de 0.021 o 0.023 in [11], la ventaja de la boquilla LP permite aumentar el tamaño de la boquilla y obtener un buen acabado con una menor presión a la salida de la bomba. Finalmente se decide que para el trabajo en talleres pequeños y medianos se utilice boquillas LP de uso general con la siguiente codificación **RAC X LP 619** o **RAC X LP 725**, para trabajos de fluidos menos densos y para epóxica respectivamente. Para estas boquillas se utiliza la porta **boquillas RAC X** de color azul.

#### 2.4.2 Selección de la pistola airless

En la sección de apéndice B se muestra la tabla de referencias del fabricante que muestra cada una de sus pistolas airless con sus características y la porta boquillas que pueden utilizar. Todas las pistolas trabajan a altas presiones, solo una de las pistolas no admite boquillas RAC X, entre todas las opciones que nos ofrece el fabricante se seleccionó la más económica y que cumple con los requerimientos de una pintura de alta densidad como es la pintura epóxica, pistola seleccionada **Silver Plus 246240**. El sistema debe utilizar una válvula de alivio a la salida de la bomba

que permite que el fluido retorne al depósito cuando no se esté accionando la pistola airless.



**Pistola Silver Plus™**

**Figura 2.2. Pistola airless seleccionada [10]**

#### **2.4.3 Manguera de alta presión para el sistema**

Se escoge una manguera de alta presión desarrollada y fabricada por la misma empresa que fabrica la pistola airless. Estas mangueras tienen la ventaja de ser ligeras y facilitan al operador la maniobrabilidad, entre las mangueras disponibles en el catálogo se seleccionó una que ayude a alcanzar grandes distancias, permitiendo pintar superficies hasta una altura de 7 metros manteniendo la pintura en el piso y sin riesgo de ser derramada. **Manguera Blue Max II** diámetro de 3/8" de diámetro para fluidos de alta densidad y 1/4" para fluidos de densidad baja (% de sólidos menor a 40%), longitud de la manguera seleccionada es fue de 7.5 metros[10].

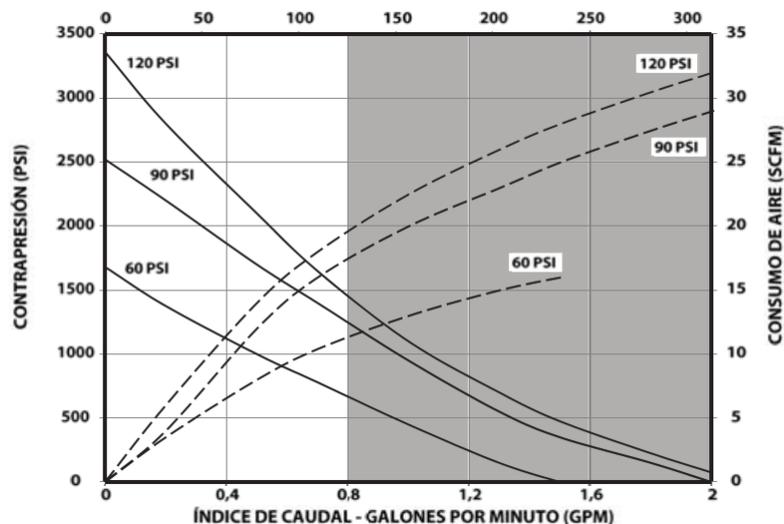
#### **2.4.4 Selección de la bomba**

Los requerimientos de la bomba vienen dados por los accesorios seleccionados anteriormente. La presión necesaria a la salida de la bomba se establece por la presión máxima admitida por la pistola airless y la presión de trabajo del fluido, la pistola admite una máxima presión de 5000 psi y las pinturas epóxicas que tiene una mayor densidad requieren de una presión entre 2000 a 2800 psi [11], es necesario conocer que a mayor

presión del fluido el espesor de la capa de pintura será menor y existirá mayor pérdida, el rango de bomba a seleccionar está establecido. El caudal requerido a la salida de la bomba debe ser mayor al caudal teórico de la boquilla verde RAC X LP 725 que se puede observar en la figura 2.3, el caudal mínimo requerido a la salida de la bomba es entonces 2.60 Lpm o 0.7 gpm. Como se observa en el grafico 1 la bomba ARO serie NM2328A11S11 proporciona 0.7 gpm a aproximadamente 1500 psi o incluso más, la boquilla de baja presión garantiza que la pintura pueda trabajar sin problemas.



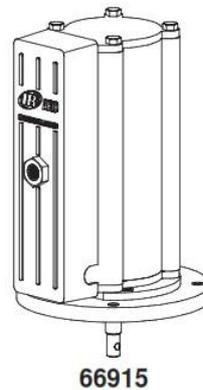
**Figura 2.3. Bomba ARO Serie NM2328A11 [12]**



**Figura 2.4 Curva característica de la bomba de pistón neumática [12]**

#### 2.4.5 Selección de la alimentación de potencia

La bomba seleccionada anteriormente trae un motor neumático en la parte superior que trabaja en el rango de 60 a 150 psi. Además, trae un regulador de presión para poder variar la presión y el caudal de entrada de aire, esto permite controlar la presión de salida de la pintura y el caudal. En un taller mecánico es necesario tener compresores de aire, por lo que la alimentación de aire a compresión no hará falta y las CFM requeridas se ajustan a la capacidad de los compresores que se encuentran con frecuencia en un taller.



**Figura 2.5 Motor neumático ARO serie 66915 [13]**

#### 2.5 Diseño del equipo

El equipo tiene un cuerpo similar a los equipos convencionales que se encuentran en el mercado, la diferencia está en la capacidad que tiene para trabajar a presiones medias y a un caudal moderado para poder cubrir mayor área superficial en menor tiempo, la forma del equipo se puede apreciar en la siguiente figura 2.6, las medidas de este se encuentran en apéndice D.



**Figura 2.6 Estructura y montaje de la bomba airless**

### **2.5.1 Placa de acero**

La placa de acero que se necesita debe soportar la carga de la bomba y el propio peso de la plancha. La geometría de la placa es de 30x28.1 centímetros como se indica en el plano realizado, con un peso total de aproximadamente 4 Kg y corresponde a una carga lineal de 144 N/m, la bomba con sus accesorios tiene un peso de 6 kg. Se simula una placa de un solo empotramiento que soporta todo el peso mencionado, su geometría va acorde al plano que se presenta en apéndice D, se calcula el momento máximo en el empotramiento y el espesor de placa necesario [14].

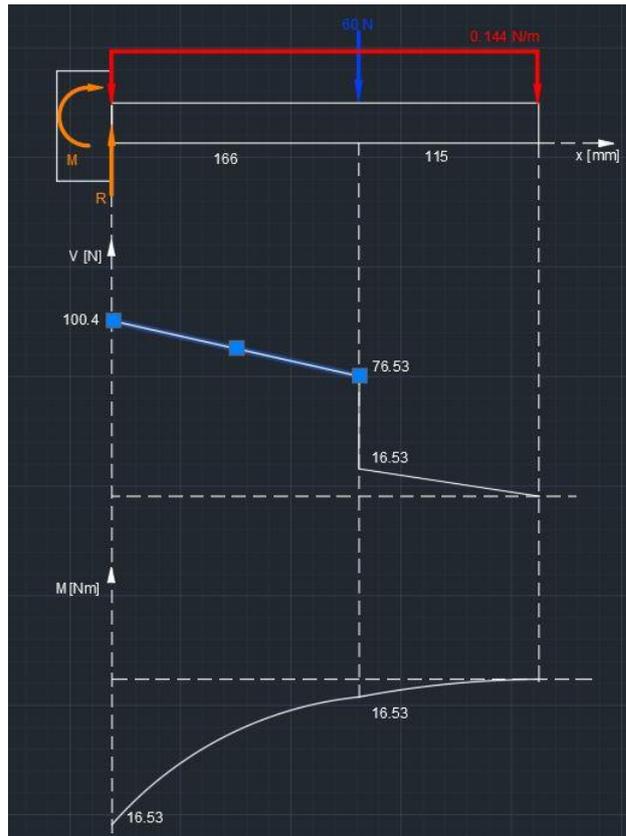


Figura 2.7. Diagrama de fuerza y momento flector de la placa

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad (2.1)$$

$$I = \frac{1}{12} bh^3 \quad (2.2)$$

$$c = \frac{e}{2} \quad (2.3)$$

$$h = e \quad (2.4)$$

Donde

$\sigma$  = Esfuerzo permisible

$M$  = Momento

$c$  = Distancia a la fibra mas alejada

$I$  = Inercia de la seccion transversal de la plancha

$b$  = Base de la seccion transversal

$h$  = Altura de la seccion transversal

$e = \text{espesor de la placa}$

Utilizando factor de seguridad igual a 2, el valor del esfuerzo permisible del acero disminuye a la mitad, la base de la sección transversal es igual al diámetro de una tubería de 1 pulgada. Esfuerzo permisible del acero es igual a 250 MPa.

$$\sigma = \frac{M \left(\frac{e}{2}\right)}{\frac{1}{12} b e^3}$$
$$\sigma = \frac{12M}{(25.4 \times 10^{-3}) (2) e^2}$$
$$e = \sqrt{\frac{12M}{(25.4 \times 10^{-3}) (\sigma)}}$$
$$e = \sqrt{\frac{6 \times (15.63)}{(25.4 \times 10^{-3}) (125 \times 10^6)}}$$
$$e = 0.0054 \approx 6 \text{ mm}$$

Se puede utilizar una placa de acero de 6 mm para el montaje de la bomba de pistón.

## 2.5.2 Tubo de acero del armazón

Se calcula como una columna con carga excéntrica, con el peso total de la bomba y la placa de acero. Su momento se calcula con el brazo de palanca, las distancias se pueden observar en apéndice D.

$$\sigma = \frac{Mc}{I} + \frac{P}{A} \quad (2.5)$$

Donde:

$P = \text{Carga total}$

$A = \text{Area transversal del tubo}$

Los valores de área e inercia de la tubería de 1 pulgada se obtuvieron del catálogo de compra [15], se pueden observar en Tabla 2.6.

**Tabla 2.6 Propiedades del tubo de acero**

| (D) Diámetro | Espesor | Peso | Área            | I               | W               | I               |
|--------------|---------|------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Pulgadas     | mm      | Kg/m | cm <sup>2</sup> | cm <sup>4</sup> | cm <sup>3</sup> | cm <sup>3</sup> |
| 7/8"         | 1.50    | 0.77 | 0.98            | 0.53            | 0.47            | 0.73            |
| 1"           | 1.50    | 0.88 | 1.13            | 0.81            | 0.64            | 0.85            |
| 1 1/4"       | 1.50    | 1.12 | 1.43            | 1.63            | 1.03            | 1.07            |
| 1 1/2"       | 1.50    | 1.35 | 1.72            | 2.89            | 1.52            | 1.30            |
| 1 3/4"       | 1.50    | 1.59 | 2.02            | 4.67            | 2.10            | 1.52            |
| 2"           | 1.50    | 1.82 | 2.32            | 7.06            | 2.78            | 1.74            |
| 2 1/2"       | 1.50    | 2.29 | 2.92            | 14.05           | 4.42            | 2.19            |
| 3"           | 1.50    | 2.76 | 3.52            | 24.56           | 6.45            | 2.64            |
| 1"           | 2.00    | 1.15 | 1.47            | 1.01            | 0.80            | 0.83            |

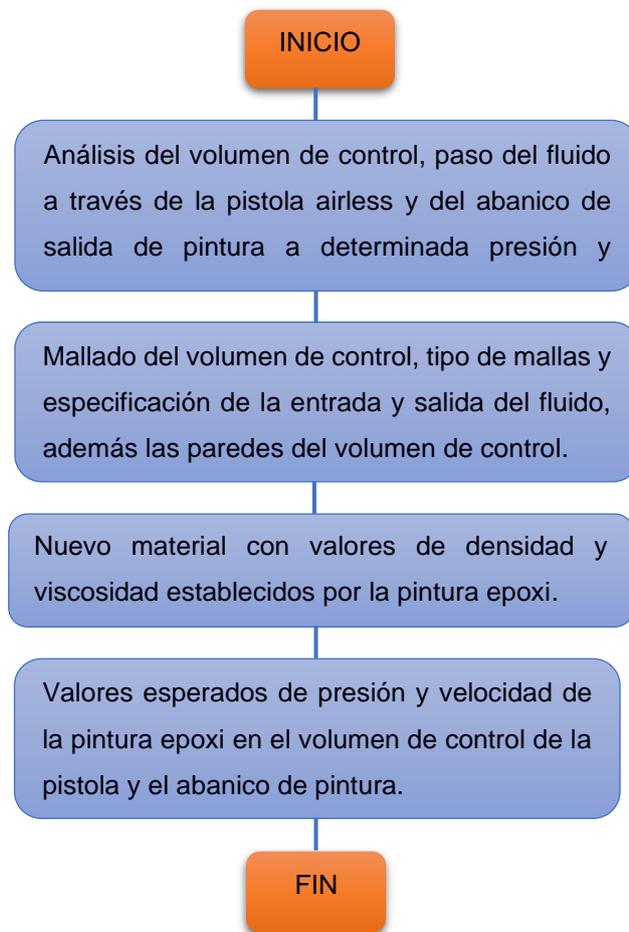
$$\sigma = \frac{(22.5) \left( \frac{25.4 \times 10^{-3}}{2} \right)}{2 \times 1.01 \times 10^{-8}} + \frac{100.4}{1.47 \times 10^{-4}}$$

$$\sigma = 29 \text{ MPa}$$

El esfuerzo soportado por el tubo de acero ASTM A36 de 1 pulgada y 2 mm de espesor es aproximadamente 4 veces menor que el esfuerzo permisible del acero con factor de seguridad 2.

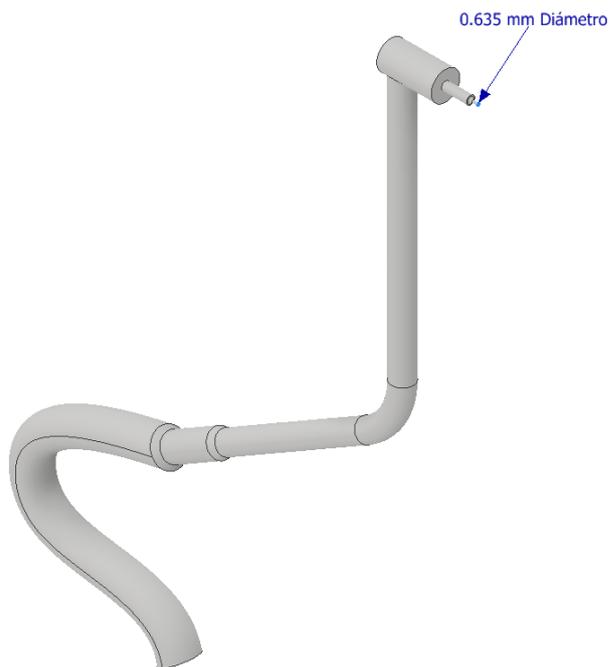
## 2.6 Simulación

El siguiente flujograma representa la secuencia para el análisis del paso del fluido (pintura epóxica) a través de la parte final de la manguera y la pistola airless, además del abanico de pintura que se forma a la salida de la boquilla. La simulación se realiza en el *software ANSYS 2021 R2* versión para estudiantes, que permite el análisis del paso de la pintura mediante CFD (dinámica de fluidos computacional), con el objetivo de conocer si las condiciones de salida de la bomba son suficientes para poder crear un abanico que llegue a la superficie que se va a pintar.



### 2.6.1 Volumen de control de la pistola airless

Para la simulación se creó una estructura en el *software Inventor 2019* basada en el paso de la pintura desde una parte final de la manguera (seleccionada en la sección 2.4.3), el accesorio que conecta la manguera con la pistola, la pistola airless y la boquilla. Se exportó como archivo .igs para poder utilizar en el *space claim* del *software Ansys 2021*.



**Figura 2.8. Volumen de control de la pistola  
[Elaboración propia]**

Los diámetros en el volumen de control se tomaron del diámetro interior de la manguera, paso del fluido por la pistola y diámetro del orificio de la boquilla[10], además del diámetro estándar para accesorios de 1/4 NPT.

### 2.6.2 Parámetros de mallado

Se busca que la calidad de la malla sea optima, la calidad skewness debe estar entre 0.22 y 0.25, adicional se selecciona un método de mallado tetraédrico que garantiza una mejor simulación.

| Details of "Patch Conforming" ▾ ⚙ □ × |                    |
|---------------------------------------|--------------------|
| [-] <b>Scope</b>                      |                    |
| Scoping Method                        | Geometry Selection |
| Geometry                              | 1 Body             |
| [-] <b>Definition</b>                 |                    |
| Suppressed                            | No                 |
| Method                                | Tetrahedrons       |
| Algorithm                             | Patch Conforming   |
| Element Order                         | Use Global Setting |

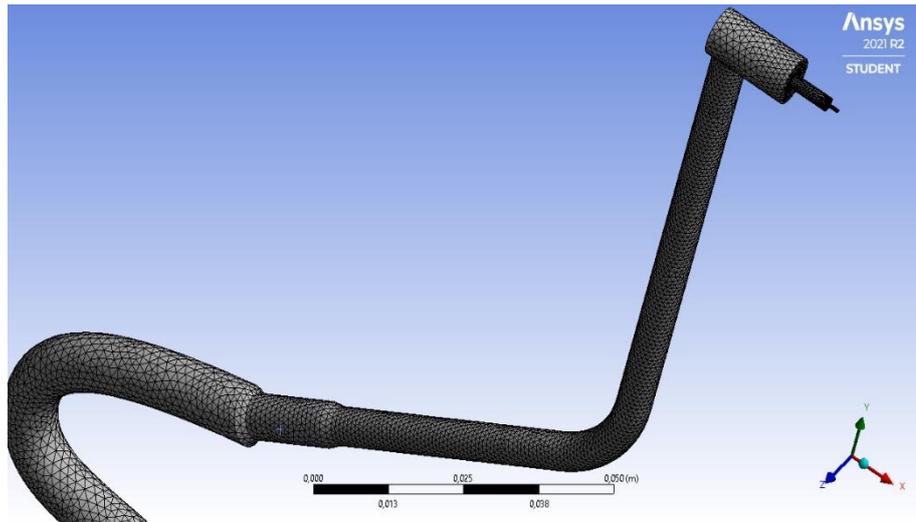
**Figura 2.9. Método de mallado seleccionado**

La calidad de malla skewness obtenida fue de 0.24365 en promedio, el número de nodos y elementos se detalla en la figura 2.9.

| Details of "Mesh"                           |                         |
|---|-------------------------|
| <b>Display</b>                              |                         |
| Display Style                               | Use Geometry Setting    |
| <b>Defaults</b>                             |                         |
| Physics Preference                          | CFD                     |
| Solver Preference                           | CFX                     |
| Element Order                               | Linear                  |
| <input type="checkbox"/> Element Size       | Default (1,1226e-002... |
| <b>Sizing</b>                               |                         |
| <b>Quality</b>                              |                         |
| Check Mesh Quality                          | Yes, Errors             |
| <input type="checkbox"/> Target Skewness    | Default (0.900000)      |
| Smoothing                                   | Medium                  |
| Mesh Metric                                 | Skewness                |
| <input type="checkbox"/> Min                | 1,9527e-003             |
| <input type="checkbox"/> Max                | 0,7574                  |
| <input type="checkbox"/> Average            | 0,24365                 |
| <input type="checkbox"/> Standard Deviation | 0,10724                 |
| <b>Inflation</b>                            |                         |
| <b>Advanced</b>                             |                         |
| <b>Statistics</b>                           |                         |
| <input type="checkbox"/> Nodes              | 15670                   |
| <input type="checkbox"/> Elements           | 72231                   |

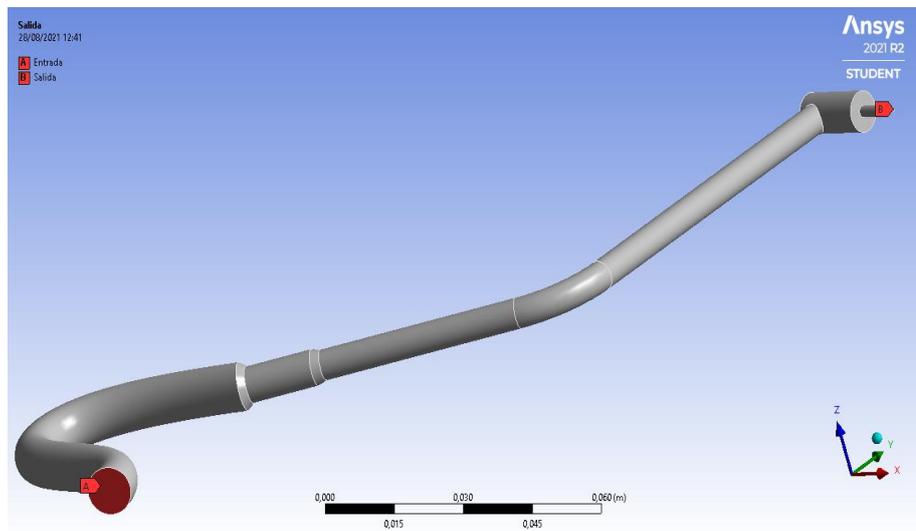
**Figura 2.10. Detalles del mallado del volumen de control**

Mallado final del volumen de control que se obtuvo mediante el método seleccionado y la calidad esperada se puede observar en la figura 2.10.



**Figura 2.11. Mallado del volumen de control**

Se fija la entrada y salida del fluido para poder colocar las condiciones de borde en el setup del software Ansys.

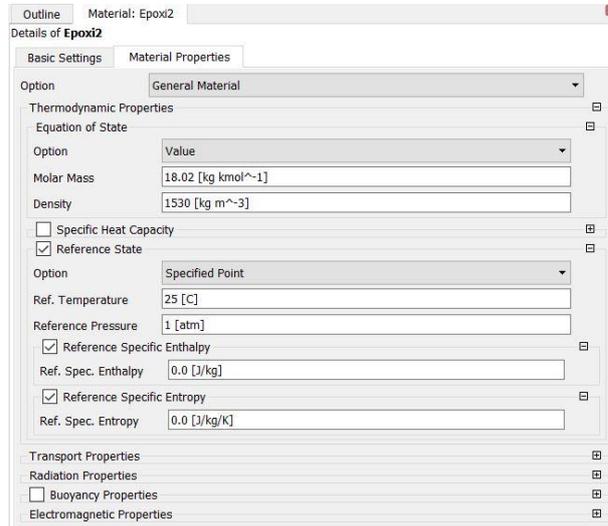


**Figura 2.12. Entrada y salida del fluido**

### 2.6.3 Material

Se inicia el setup y se crea un nuevo material con los valores de densidad y viscosidad de la pintura epóxica coaltar de Pintuco [11], fue necesario utilizar tabla de conversión que se muestra en apéndice C ya que los fabricantes de pintura muestran la viscosidad en unidades KU. Se escogió este tipo de pinturas ya que los trabajos y proyectos en los que se la utiliza

generan buena rentabilidad por su aplicación. Propiedades térmicas descartan porque pueden presentar problemas en la ejecución de la simulación.



**Figura 2.13. Propiedades de la pintura epóxica densidad y viscosidad**

#### 2.6.4 Condiciones de borde

A la entrada del volumen de control ingresa pintura epóxica con propiedades previamente establecidas, con una presión igual a la de la salida de la bomba y turbulencia debido a la alta presión, pérdidas por fricción y elevación se desprecia debido a que la tecnología de la manguera tiene un bajo coeficiente de fricción y presión estática de 7.5 m de altura es inferior a la presión de salida de la bomba. Se utiliza el principio de continuidad y se indica que a la salida de la simulación fluya el mismo flujo másico que la entrada, finalmente se establece una condición de no deslizamiento en las paredes del volumen del control.

$$\dot{m} = \rho \dot{Q} \quad (2.6)$$

Donde:

$\dot{m} = \text{Flujo másico}$

$\dot{Q} = \text{Caudal}$

$$\dot{Q} = 2.4 \text{ Lpm} \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 42.3 \times 10^{-6} \left[ \text{m}^3/\text{s} \right]$$

$$\dot{m} = 1530(42.3 \times 10^{-6})$$

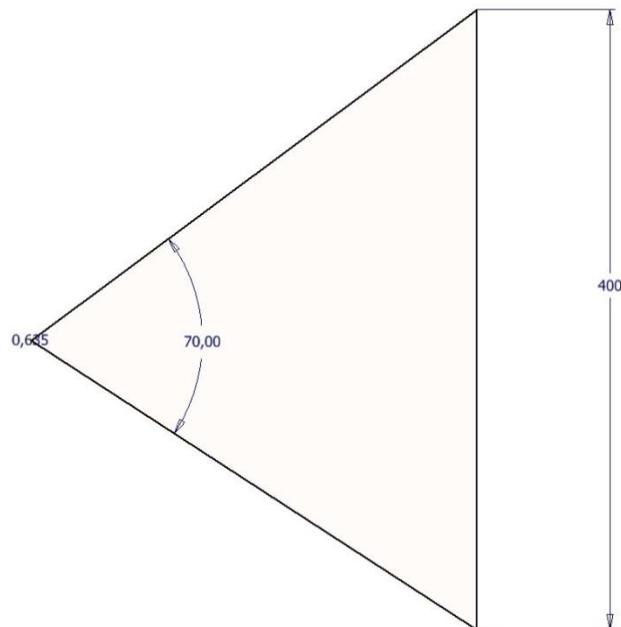
$$\dot{m} = 0.0648 \left[ \text{Kg}/\text{s} \right]$$

**Tabla 2.7. Condición de borde**

| <i>Propiedad</i>    | <i>Valor</i> |
|---------------------|--------------|
| <i>Presión</i>      | 1500 Psi     |
| <i>Turbulencia</i>  | 5%           |
| <i>Flujo másico</i> | 0.0648 Kg/s  |

### 2.6.5 Superficie de control del abanico

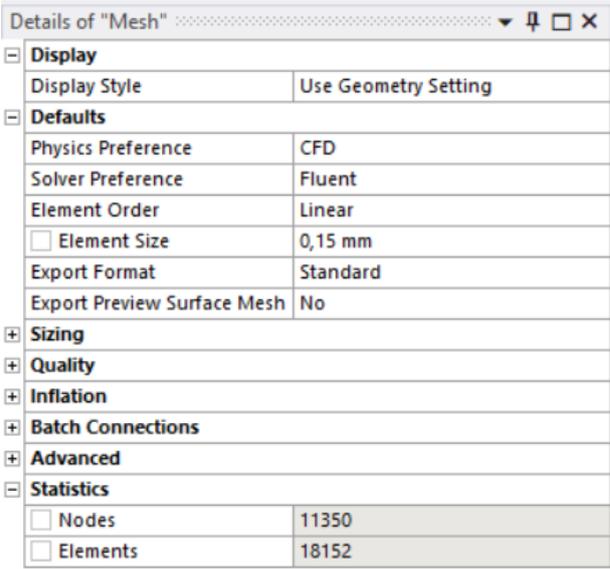
A la salida de la boquilla se forma un abanico cónico de pintura, la geometría aproximada del abanico se obtiene estableciendo una distancia entre la salida de la boquilla y la superficie a pintar, el ancho del abanico y el ángulo dependen de la codificación de la boquilla. [10]



**Figura 2.14 Geometría del abanico de pintura**

### 2.6.6 Parámetros de mallado del abanico

Se define un mallado tetraédrico sobre la superficie y se establece un tamaño 0,15 mm para cada elemento. Se necesita de un mallado fino para poder realizar la simulación con precisión, por lo que la malla no se aprecia. Se estableció las regiones de entrada y salida del fluido y los bordes del fluido cónico.



| Details of "Mesh"                     |                      |
|---------------------------------------|----------------------|
| [-] <b>Display</b>                    |                      |
| Display Style                         | Use Geometry Setting |
| [-] <b>Defaults</b>                   |                      |
| Physics Preference                    | CFD                  |
| Solver Preference                     | Fluent               |
| Element Order                         | Linear               |
| <input type="checkbox"/> Element Size | 0,15 mm              |
| Export Format                         | Standard             |
| Export Preview Surface Mesh           | No                   |
| [+] <b>Sizing</b>                     |                      |
| [+] <b>Quality</b>                    |                      |
| [+] <b>Inflation</b>                  |                      |
| [+] <b>Batch Connections</b>          |                      |
| [+] <b>Advanced</b>                   |                      |
| [-] <b>Statistics</b>                 |                      |
| <input type="checkbox"/> Nodes        | 11350                |
| <input type="checkbox"/> Elements     | 18152                |

**Figura 2.15** Tamaño de elementos del mallado del abanico

### 2.6.7 Material

El material que se fijó fue el mismo que la sección 2.6.3, pintura epóxica coaltar con valores constantes de densidad y viscosidad.

### 2.6.8 Condiciones de borde

Los parámetros de entrada del abanico son los de la salida de la boquilla de la simulación antes detallada, se establece una condición de pared libre de fricción y una condición de salida de presión a la atmósfera.

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 3.1 Resultado de la estructura rodante

El armazón de la estructura y la placa base donde se asienta la bomba son de acero ASTM A36. Para la placa base se escoge una plancha de 6mm de espesor y la medida de esta se detalla en apéndice D, el armazón es un tubo redondo con 1 pulgada de diámetro exterior y 2 mm de espesor como se calculó en 2.5.2. Si bien se pudo escoger un tubo estructural redondo de una menor dimensión, se tomó en cuenta la fina capa de soldadura que se utiliza para unir la placa al tubo. Las ruedas tienen un diámetro exterior de 6 in con capacidad de carga de 330 lb, suficiente para este proyecto.



**Figura 3.1 Estructura con la bomba y simulación de un balde de pintura.**

### 3.2 Resultado de la simulación

Para analizar los resultados se obtuvieron los perfiles de presión y velocidad a través de la boquilla y el abanico de pintura generadas en el software CFD, las variables se representan en una escala de color sobre un plano transversal para poder observar con mejor precisión el cambio de estas.

### 3.2.1 Presión del Fluido

En la figura 3.1 se puede observar que la presión de 1500 Psi del fluido se mantuvo en casi toda su trayectoria y disminuyó drásticamente en el cambio de sección de la boquilla donde llega a una presión casi cero, zona en la que la presión dinámica ha aumentado.

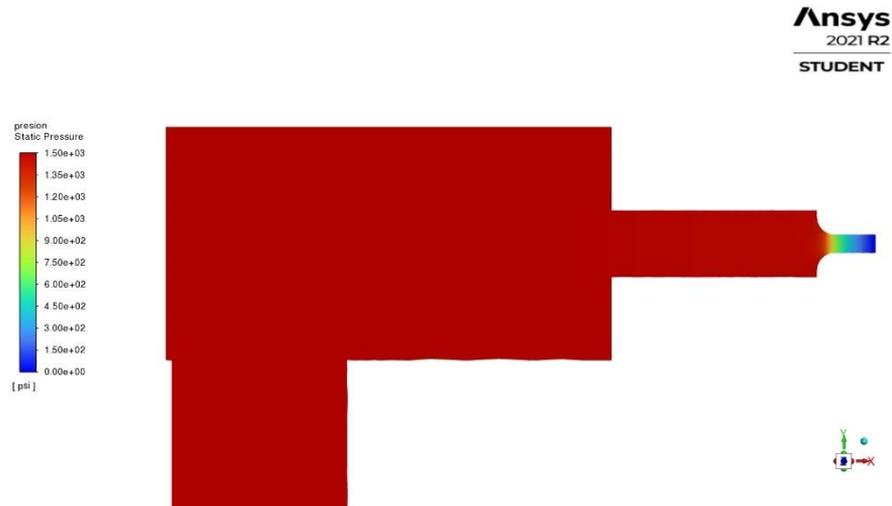


Figura 3.2. Presión del fluido a la salida de la boquilla

### 3.2.2 Velocidad del fluido

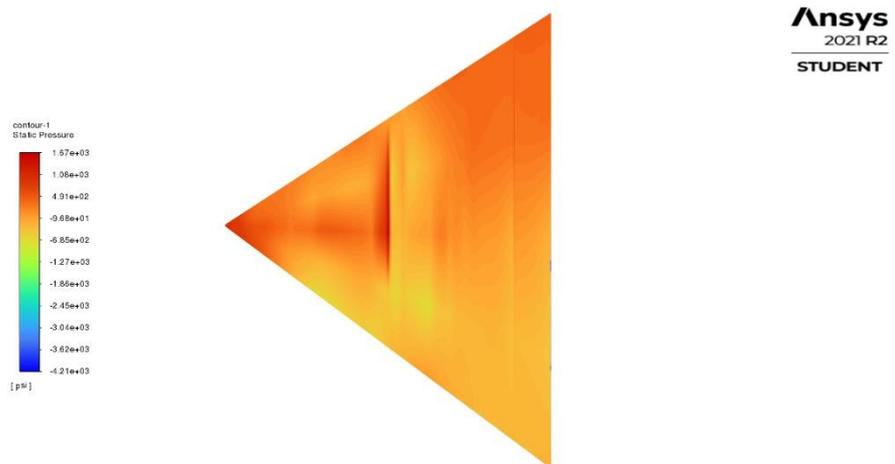
Se puede observar en la figura 3.2 que la velocidad de la pintura epóxica es casi cero, pero en el cambio de sección de la boquilla su velocidad aumentó hasta un máximo de 105 m/s, velocidad suficiente para que la pintura llegue a la superficie a pintar y se adhiera a unos 30 cm de distancia como lo indica el fabricante de la boquilla.



**Figura 3.3. Velocidad del fluido a la salida de la boquilla**

### 3.2.3 Presión del abanico de pintura

En la figura 3.3 se puede observar una presión elevada a la entrada del abanico y unas pocas zonas de baja presión, la presión en la superficie a pintar está aproximadamente en cero. En la mitad de la geometría del abanico se observa una zona roja de alta presión, lo que indica que se forma un vórtice o turbulencia.



**Figura 3.4 Presión de la pintura en el abanico**

### 3.2.4 Velocidad del abanico de pintura

La velocidad de la pintura epóxica a la salida de la boquilla es máxima y no se logra apreciar en la figura 3.4, el perfil nos indica que a la superficie a pintar llega el fluido entre 0 a 5 m/s, las velocidades negativas en la parte central del abanico muestran que existe turbulencia, esto se evidencia en la gráfica 2.

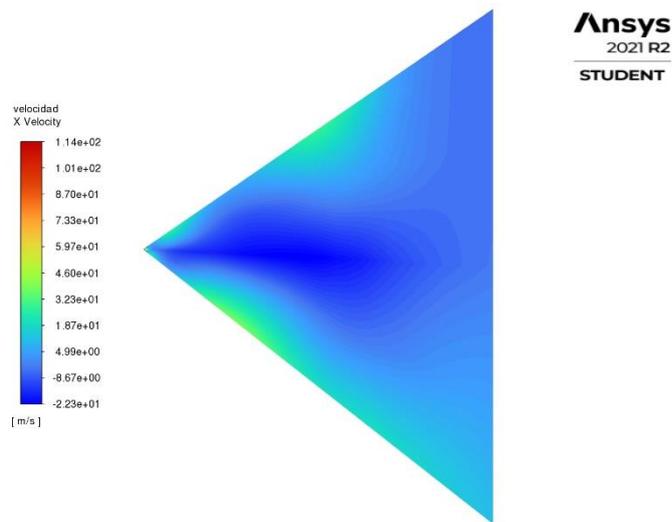


Figura 3.5 Perfil de velocidad de la pintura en el abanico

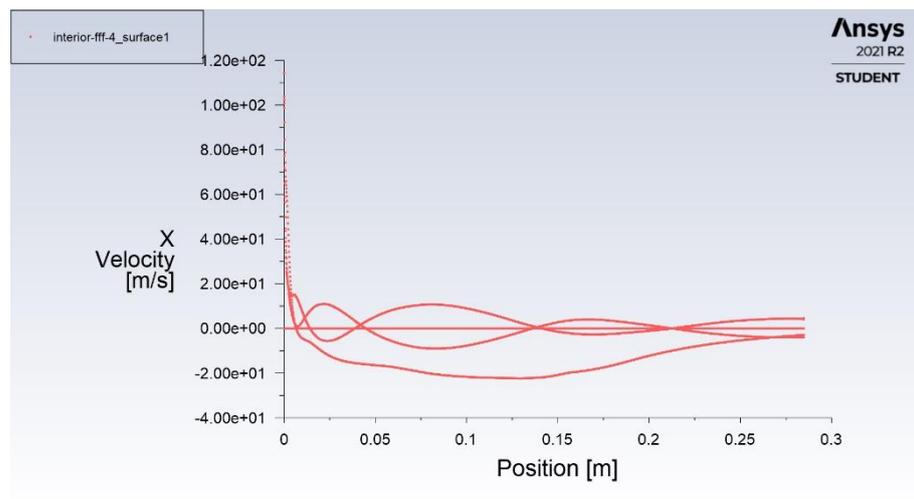


Figura 3.6 Velocidad vs Posición a través del abanico

### 3.3 Análisis de costos

La Tabla 3.1 muestra los precios de los equipos, accesorios y mano de obra que se necesita para poder construir el equipo de pintura airless. Si bien el costo final es elevado, las características que envuelven el proyecto lo justifican. El precio de equipos de sistemas airless que se encuentran en el mercado es mayor con respecto a nuestro proyecto, la competencia más parecida a nuestro proyecto tiene un costo de \$ 6800, el otro equipo similar en precio tiene un costo de \$ 3500, pero no puede trabajar con pintura epóxica que tiene un uso importante en la industria.

**Tabla 3.1 Precios de los equipos y accesorios**

| Producto          | Característica  | Precio        |
|-------------------|---|---------------|
| Bomba ARO         | Pistón de doble bola, relación 28:1                   | \$2245        |
| Manguera          | Blue Max II de alta presión de 3/8 de pulgada y 7.5 m | \$76          |
| Pistola airless   | Silver Plus 246240                                    | \$285         |
| Boquilla          | 725 y 619   | \$90          |
| Placa de acero    | 300 mm x 300 mm                                       | \$10          |
| Pernos            | 4 pernos M10 x 30                                     | \$4           |
| Tubo              | Tubo redondo negro de 1 Pulgada x 1.5 mm              | \$12          |
| Varilla           | 5/8 de acero  | \$3           |
| Ruedas            | 6 in  | \$15          |
| Regulador         | Filtro regulador de aire para compresor               | \$40          |
| Niple             | 1/4 NPT   | \$6           |
| Conector T        | 1/4 NPT   | \$8           |
| Válvula de alivio | 1/4 NPT   | \$93          |
| Mano de obra      | Doblado   | \$20          |
|                   | Soldado   | \$30          |
|                   | Ensamblado  | \$20          |
| <b>TOTAL</b>      |   | <b>\$2957</b> |

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- Finalmente se logró diseñar un armazón tipo carretilla que soporta el peso de la bomba neumática y sus accesorios, facilita la movilidad del equipo airless. Su geometría se adapta perfectamente a la bomba ayudando al montaje y desmontaje de esta, el material de construcción es el acero ASTM 36.
- De este modo se seleccionó una bomba de pistón neumática que trabaja con fluidos de alta densidad proporcionando una presión de salida y caudal del fluido suficiente para este proyecto, considerando el uso de un compresor de aire que generalmente se encuentra en un taller mecánico. De acuerdo con la necesidad de pintar superficies elevadas, se eligió una manguera que minimiza las pérdidas por fricción y permite pintar superficies que están a una altura 7 metros evitando el derrame de pintura ya que el material queda en el piso junto con el equipo de pintura airless.
- En virtud de lo analizado, se escogió una boquilla para que trabaje con fluidos de alta densidad y suministre un máximo de 2.5 Lpm, disminuye la presión de trabajo del fluido, reduce la nube que se forma al atomizar la pintura que garantiza un mejor acabado y tiene mayor durabilidad que la mayoría de las boquillas del mercado.
- En virtud de lo estudiado, el proyecto que se presenta es de fácil construcción, los materiales y elementos para el armazón tipo carretilla son de fácil adquisición en el mercado local, el ensamble de este es sencillo. La bomba neumática se puede adquirir mediante un representante de la marca en la ciudad de Guayaquil, pero debe ser pedida con anticipación, el resto de los accesorios se pueden conseguir en las ciudades de Guayaquil y Quito. El precio del equipo es inferior a algunos que se ofrecen

en el mercado, un equipo airless de una marca confiable se oferta en \$ 3500 sin poder pulverizar pintura airless.

- Dentro del análisis se consideró que los materiales y la tecnología de los accesorios, causan que el mantenimiento sea menos repetitivo que los competidores del mercado lo cual provoca un ahorro de dinero. El desmontaje de la bomba neumática es cómodo y su kit para mantenimiento ofrece las partes y piezas necesarias para el cambio por desgaste.

#### **4.2 Recomendaciones**

- Se recomienda seguir las instrucciones de instalación de los fabricantes tanto de la bomba como de los accesorios ya que si nos desviamos de este plan el equipo puede sufrir daños.
- Se recomienda hacer una limpieza antes y después del uso del equipo para que no exista obstrucción en los siguientes trabajos que se vayan a realizar.
- Los espesores de capa seca para cada proyecto son distintos, se sugiere que para la correcta manipulación de la máquina se haya practicado con pinturas de menor costo para que el operador tenga experiencia de como pintar correctamente. Se propone que antes de cada trabajo de pintura se debe realizar una prueba sobre una superficie externa y realizar la medición de capa húmeda y la estimación de capa seca, así el operador sabe cómo va a pintar para poder tener un espesor de capa húmeda uniforme en la superficie.
- Se aconseja al futuro operador de la máquina familiarizarse con la misma ya que el spray o abanico de pintura depende de las condiciones de salida de la bomba, esto a su vez depende del caudal y la presión de aire que ingresa a la bomba desde un compresor. Además, se recomienda realizar un correcto mezclado de la pintura con su catalizador antes de procedes a utilizar el equipo.
- Se sugiere no utilizar este equipo para trabajos que involucren pinturas de mayor densidad y viscosidad ya que los accesorios pueden sufrir daños y los resultados esperados al pintar no serán los mismos.

- Se aconseja purgar el sistema antes de proceder a pintar, colocar una manguera pequeña a la salida de la bomba hacia el depósito de pintura. Poner en marcha la bomba a una baja presión con el objetivo de recircular la pintura para eliminar burbujas de aires atrapadas en el sistema, luego de eso se conecta la manguera de trabajo y se ajusta para poder pintar.
- No es recomendable tomar los resultados de la simulación como datos reales del comportamiento de la boquilla de la marca mencionada ya que esta se realizó para conocer si una pintura de alta densidad como la epóxica podría ser pulverizada y llegar hasta la superficie a pintar, con un diseño rustico y no exacto de la boquilla y la pistola airless.

# BIBLIOGRAFÍA

- [1] CYM Materiales S.A., “Preparación de Superficie,” *Estado inicial la Superf. a tratar*, p. 4, 2018.
- [2] SIKA, “Preparación de superficies metalicas,” *Catalogo*, p. 16, 2015.
- [3] J. Abarca García, *Manual de pintura para mantenimiento industrial y marino*. 2003.
- [4] Pinturas Condor S.A, “Manual Academia del Pintor,” *Pasos para Pint.*, vol. 1, pp. 68–90.
- [5] UNE-EN ISO, “ISO 12944-5: Pinturas y barnices, protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores,” *Sist. Pint. Prot.*, 2010.
- [6] Pinturas Unidas, “Información técnica de productos,” *Guía Prep. Superf. y Determ. Rend. recubrimientos Ind.*, pp. 258–263, 2020.
- [7] Y. A. Çengel, *MECÁNICA DE FLUIDOS FUNDAMENTOS Y APLICACIONES*. 2006.
- [8] S. De las Heras, *Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas*, 1st ed. Barcelona, 2011.
- [9] GRACO INC., “Boquillas airless,” *SMARTTIP*, p. 8, 2017.
- [10] GRACO INC., “Airless accessories,” *SWITCHTIPS*, pp. 7–16, 2019.
- [11] Pintuco S.A., “EPÓXI COALTAR FREE,” vol. 1, 2017.
- [12] ARO, “BOMBAS DE PISTÓN: MODELO DE BOMBAS DE 2 ESFERAS,” *Bombas Ser. NM2328A*, p. 31, 2016.
- [13] ARO, “MANUAL DEL OPERARIO,” *JUEGOS Serv. DESMONTAJE / VOLVER A MONTAR, PIEZAS, LOCALIZACIÓN AVERÍAS*, no. 800, 2013.
- [14] F. Singer and A. Pytel, *Resistencia de materiales*, 4ta ed. Alfaomega Grupo Editor, 2008.
- [15] DIPAC, “Catálogo de productos,” *Tubo estructural Redon.*, 2020.

# APÉNDICES

## APÉNDICE A

### Descripción de las especificaciones para la preparación de superficie

#### RESUMEN DE ESPECIFICACIONES PARA PREPARACIÓN DE SUPERFICIES METÁLICAS

| Especificación SSPC  | Descripción  |
|--|--|
| SP 1, Limpieza con solvente  | Eliminación de aceite, grasa, suciedad, tierra, sales y contaminante mediante solvente, vapor, álcali, emulsión o vapor.   |
| SP 2, Limpieza con Herramienta manual  | Eliminación de óxido, capa de laminación y pintura suelta mediante burilado manual, raspado, lijado y cepillado con escobilla metálica.  |
| SP 3, Limpieza con Herramienta manual  | Eliminación de óxido, capa de laminación y pintura (todos sueltos) al grado especificado, mediante herramienta eléctricas ó neumáticas, cepillado con escobilla metálica y esmerilado.   |
| SP 5, limpieza con Chorro abrasivo a grado Metal blanco                                    | Eliminación total de óxido, capa de laminación, pintura y materia extraña (todos visibles) mediante limpieza con chorro abrasivo (seco o húmedo) usando arena, perdigón o granalla. (Para atmósferas muy corrosivas en donde se justifique un alto costo de limpieza). |
| SP 6, limpieza con chorro abrasivo a grado   | Limpieza con chorro abrasivo hasta que al menos dos tercios del área de la superficie comercial esté libre de todos los residuos visibles. (Para condiciones en las cuales se requiere una superficies perfectamente limpia).  |
| SP 7, limpieza con chorro abrasivo a grado Arenado ligero                                  | Limpieza con chorro abrasivo de todos los residuos (excepto los adheridos firmemente) de capa de laminación, óxido y recubrimientos.   |
| SP 8, limpieza por medios químico  | Eliminación completa de óxido y capa de laminación mediante decapado ácido o decapado electrolítico.   |
| SP 10, limpieza con chorro abrasivo a grado metal casi blanco.                             | Limpieza con chorro cercana a la limpieza a metal blanco, hasta que al menos un 95% del área de la superficie esté libre de todos los residuos visibles. (Para ambientes con alta humedad, atmósfera química, ambientes marinos u otros ambientes corrosivos).         |
| SP 11, limpieza mediante herramienta eléctrica a metal desnudo                             | Eliminación completa de todo óxido, capa de laminación y pintura mediante herramientas eléctricas, con perfil de superficie resultante.  |
| SP 12, limpieza con chorro de agua a altas presiones                                       | Eliminación completa de pinturas y recubrimientos que se encuentran aplicados sobre superficies metálicas. No produce perfil de anclaje.   |
| SSPC-VIS 1   | Fotografías de referencia patrón; complemento recomendado para la especificación con chorro abrasivo seco SSPC de preparación de superficies SSPC-SP 5,6,7,10 y 12.  |
| Vis 2, Método estándar para evaluar el grado de oxidación en superficies de acero pintadas | Una escala numérica geométrica para evaluar el grado de oxidación de acero pintado. Ilustrado mediante fotografías en color y diagramas de punto en blanco y negro.  |
| SSPC-VIS 3   | Guía y referencia fotográfica para superficies de acero preparadas por medio de herramientas manuales y mecánicas.   |
| SSPC-VIS 4/NACE VIS 7  | Guía y referencia fotográfica para superficies de acero preparadas por medio de chorro de agua .   |

## APÉNDICE B

### Tabla de descripción de las pistolas airless .

|                        | CONTRACTOR FTX  | CONTRACTOR                                   | CONTRACTOR PC  | SILVER PLUS   | HEAVY-DUTY TEXTURE                    | FLEX PLUS   |
|------------------------|---|--|--|---|---------------------------------------|---|
| 2-Finger               | 288429, RAC X LTX515  | 288425, RAC X LTX517<br>288421, RAC 5 286515 | 17Y042, RAC X LTX517<br>17Y043, RAC X LP517<br>Built-In (no-tools)<br>adjustable | 246240, RAC X LTX517<br>235460, No Tip, Flat Tip Guard<br>235462, No Tip, Fine Finish Flat<br>Tip Guard | Not Available                         | 246468, RAC X LTX517<br>248157, RAC 5 for<br>LineLazer® |
| 4-Finger               | 288430, RAC X LTX515<br>288431, RAC 5 286515                                | 288420, RAC X LTX517                         |  | Not Available   | 241705, RAC X<br>LTX531,HD GUARD      | Not Available   |
| Uses Guard             | RAC X or RAC 5  |  |  |   |                                       |   |
| Max Working Pressure   | 3600 psi<br>(248 bar, 24.8 MPa)   |  |  | 5000 psi<br>(345 bar, 34.5 MPa)   | 4000 psi<br>(276 bar, 27.6 MPa)       | 5000 psi<br>(345 bar, 34.5 MPa)                         |
| Fluid Path             | Fluid flows through the filter in handle                                    |  |  | Fluid flows directly to the tip through the gun fluid tube without filter                               |                                       |   |
| Fluid Orifice Diameter | 0.125 in (3.2 mm)   |  |  | 0.090 in (2.3 mm)   | 0.125 in (3.2 mm)                     | 0.090 in (2.3 mm)                                       |
| Materials              | Lacquers, Stains, Interior/Exterior Latex, Enamels, DryFall, and Elastomers |  |  | High solids, smooth textures,<br>mastics, and protective coatings                                       | Heavy coatings and<br>joint compounds |   |
| Repair Kit             | 288488  |  | 17Y297   | 235474<br>(for 235462 use 235475)   | 241705                                | 235474  |

## APÉNDICE C

### Tabla de conversión de viscosidad .

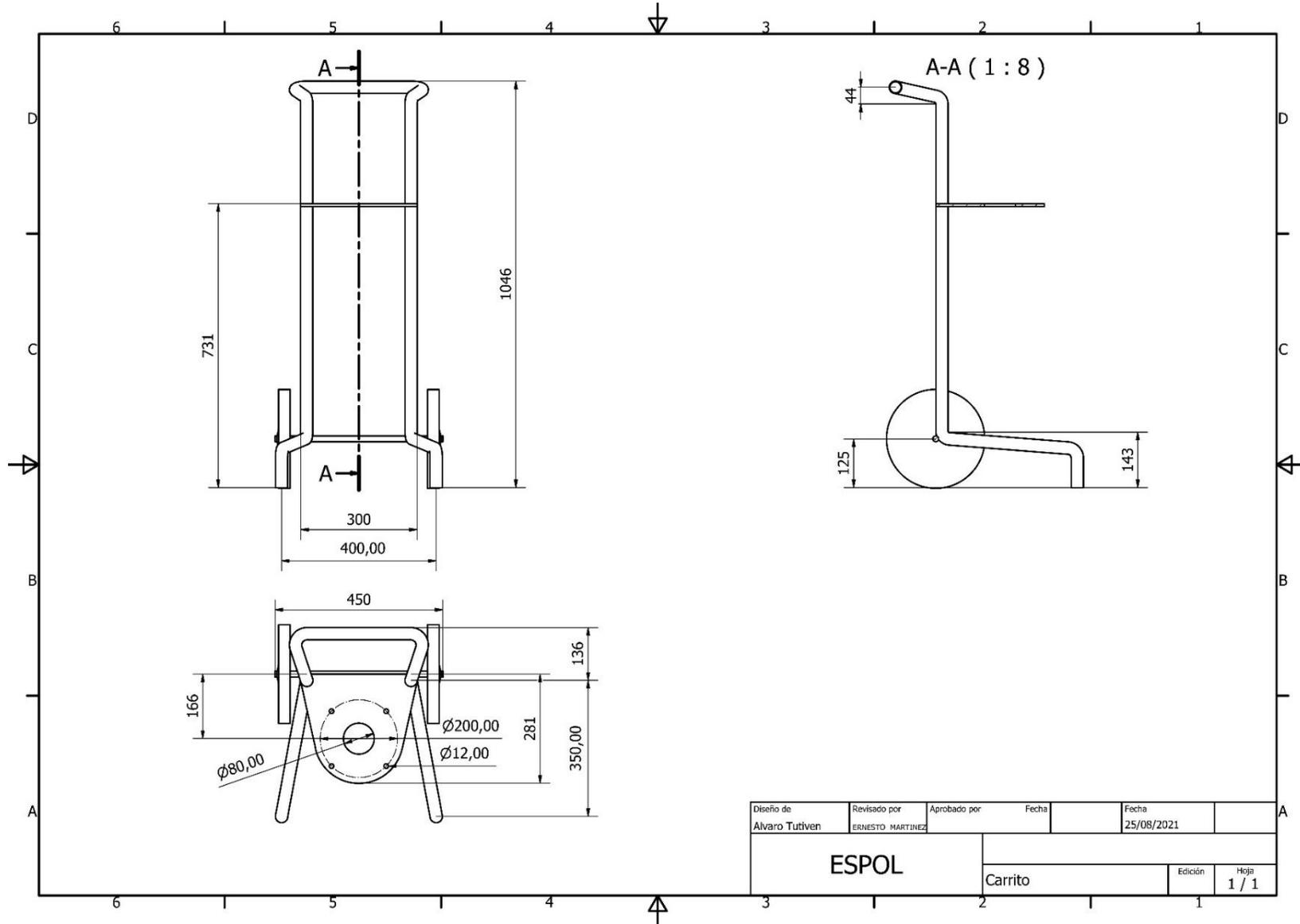
# Viscosity Conversion Table

| Centipoise | Gardner<br>Holdt Bubble | Krebs-<br>Stormer KU | Saybolt<br>Universal<br>SSU | Ford Cup 3 | Ford Cup 4 | Zahn Cup 1 | Zahn Cup 2 | Zahn Cup 3 | Zahn Cup 4 | Zahn Cup 5 |
|------------|-------------------------|----------------------|-----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 10         | A4                      |                      | 60                          |            | 5          | 30         | 16         |            |            |            |
| 15         | A3                      |                      | 80                          |            | 8          | 34         | 17         |            |            |            |
| 25         | A2                      |                      | 130                         | 15         | 12         | 41         | 19         |            |            |            |
| 30         | A1                      |                      | 160                         | 19         | 14         | 44         | 20         |            |            |            |
| 40         | A                       |                      | 210                         | 25         | 18         | 52         | 22         |            |            |            |
| 60         | B                       | 33                   | 320                         | 33         | 25         | 68         | 27         |            |            |            |
| 80         | C                       | 37                   | 430                         | 41         | 31         |            | 34         |            |            |            |
| 100        | D                       | 40                   | 530                         | 50         | 34         |            | 41         | 12         | 10         |            |
| 120        | E                       | 43                   | 580                         | 58         | 41         |            | 49         | 14         | 11         |            |
| 140        | F                       | 46                   | 690                         | 66         | 45         |            | 58         | 16         | 13         |            |
| 160        | G                       | 48                   | 790                         |            | 50         |            | 66         | 18         | 14         |            |
| 200        | H                       | 52                   | 1,000                       |            | 58         |            | 82         | 23         | 17         | 10         |
| 220        | I                       | 54                   | 1,100                       |            | 62         |            |            | 25         | 18         | 11         |
| 240        | J                       | 56                   | 1,200                       |            | 65         |            |            | 28         | 20         | 12         |
| 280        | K                       | 59                   | 1,380                       |            | 70         |            |            | 32         | 22         | 14         |
| 300        | L                       | 60                   | 1,475                       |            | 74         |            |            | 34         | 24         | 15         |
| 320        | M                       |                      | 1,530                       |            |            |            |            | 36         | 25         | 16         |
| 340        | N                       |                      | 1,630                       |            |            |            |            | 39         | 26         | 17         |
| 360        | O                       | 62                   | 1,730                       |            |            |            |            | 41         | 28         | 18         |
| 400        | P                       | 64                   | 1,950                       |            |            |            |            | 46         | 30         | 20         |
| 440        | Q                       |                      | 2,160                       |            |            |            |            | 50         | 33         | 22         |
| 460        | R                       | 66                   | 2,270                       |            |            |            |            | 52         | 34         | 23         |
| 500        | S                       | 68                   | 2,480                       |            |            |            |            | 57         | 37         | 25         |
| 550        | T                       | 69                   | 2,660                       |            |            |            |            | 63         | 40         | 27         |
| 600        | U                       | 71                   | 2,900                       |            |            |            |            | 68         | 44         | 30         |
| 900        | V                       | 81                   | 4,300                       |            |            |            |            |            | 64         | 45         |
| 1,000      | W                       | 85                   | 4,600                       |            |            |            |            |            |            | 49         |
| 1,300      | X                       | 95                   | 6,100                       |            |            |            |            |            |            | 64         |
| 1,700      | Y                       | 101                  | 8,000                       |            |            |            |            |            |            |            |
| 2,300      | Z                       | 105                  | 10,750                      |            |            |            |            |            |            |            |
| 2,500      | Z1                      | 114                  | 11,600                      |            |            |            |            |            |            |            |
| 3,500      | Z2                      | 129                  | 16,500                      |            |            |            |            |            |            |            |
| 4,500      | Z3                      | 136                  | 21,000                      |            |            |            |            |            |            |            |
| 6,000      | Z4                      |                      | 28,000                      |            |            |            |            |            |            |            |
| 10,000     | Z5                      |                      | 46,500                      |            |            |            |            |            |            |            |
| 15,000     | Z6                      |                      | 69,500                      |            |            |            |            |            |            |            |

All viscosities based on measurements taken at 25°C

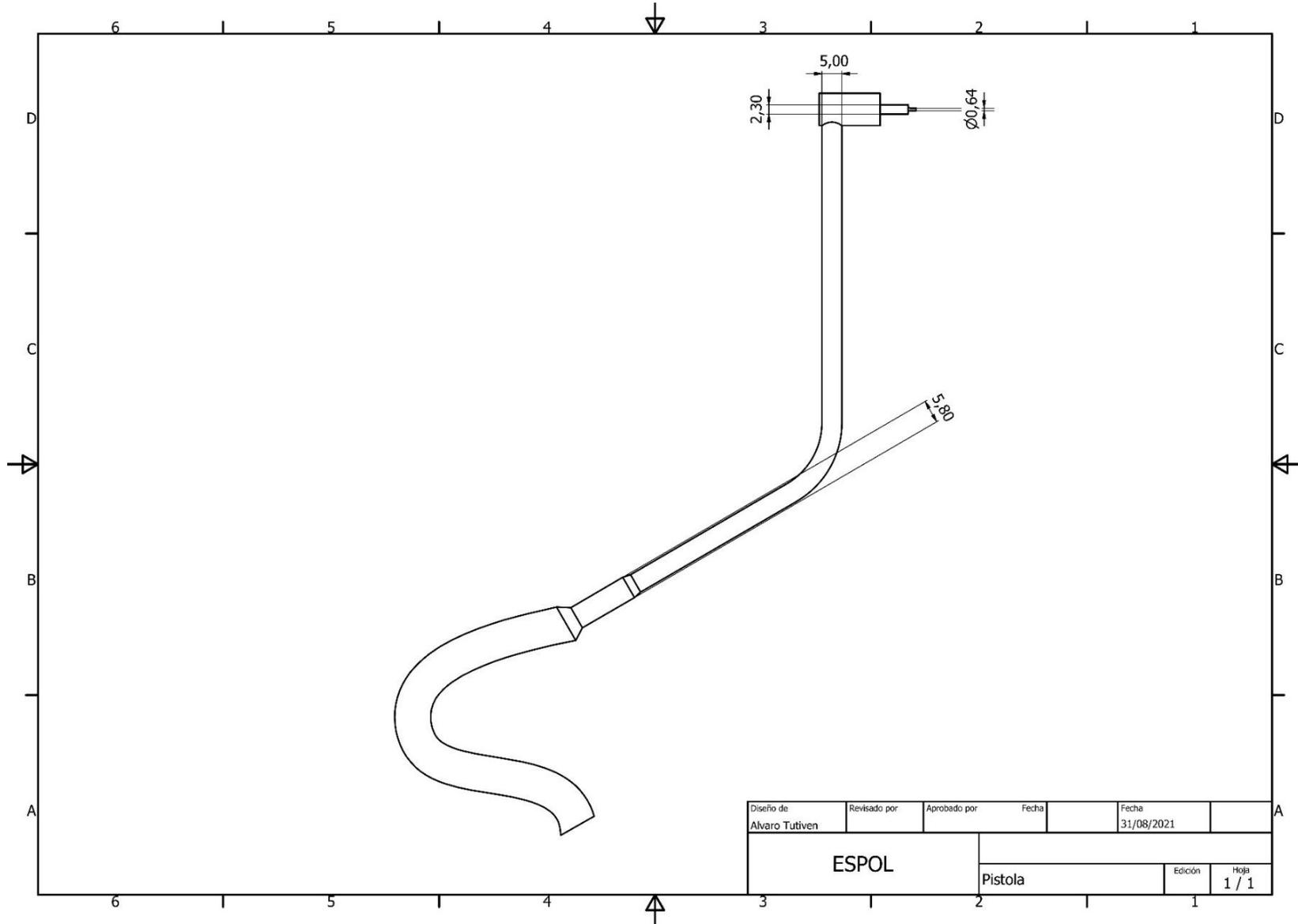
# APÉNDICE D

## Plano del carrito del equipo airless



# APÉNDICE E

## Plano de la geometría interna de la pistola



|                |              |              |         |            |  |
|----------------|--------------|--------------|---------|------------|--|
| Diseño de      | Revisado por | Aprobado por | Fecha   | Fecha      |  |
| Alvaro Tutiven |              |              |         | 31/08/2021 |  |
| ESPOL          |              |              |         |            |  |
| Pistola        |              |              | Edición | Hoja       |  |
|                |              |              |         | 1 / 1      |  |