

# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

## **Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

“Implementación de un sistema de calibración para los equipos de fumigación Satloc G4 de las aeronaves turbo Thrush y Robinson R44 para la compañía AEROVIC C.A”

### **PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero/a en Electrónica y Automatización Industrial**

Presentado por:

Encalada Quezada Edison Javier

Hinostroza Logroño Mariam Melissa

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

Año: 2019

## **DEDICATORIA**

Javier: A mi madre por su esfuerzo y apoyo en estos años de estudio.

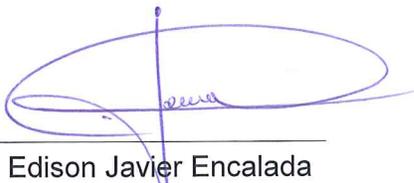
Mariam: A mi madre por su apoyo incondicional.

# **AGRADECIMIENTOS**

A Dios y a nuestras familias.

## DECLARACIÓN EXPRESA

Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Edison Javier Encalada Quezada, Mariam Melissa Hinostraza Logroño damos nuestro consentimiento para que la ESPOL 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.

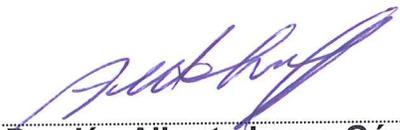


Edison Javier Encalada  
Quezada



Mariam Melissa  
Hinostraza Logroño

EVALUADORES



**Damián Alberto Larco Gómez**

PROFESOR DE LA MATERIA



**Franklin Illich Kuonquí Gaíza**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

En la agricultura de precisión, el uso de sistemas inteligentes en las aeronaves de pulverización resulta ser eficientes cuando se trata de cubrir grandes áreas de cultivo en corto tiempo para la aplicación de fitosanitario, siempre y cuando tengan la calibración correcta para la aplicación de la dosis adecuada y recomendada para cada cultivo. El presente trabajo de graduación tiene como objetivo principal construir un sistema automatizado para calibrar los equipos de pulverización instalados en las aeronaves Turbo Thrush y Robinson R44 de la compañía AEROVIC C.A. Para ello se siguió una metodología de diseño utilizando matrices morfológicas con el fin de lograr la selección adecuada de los equipos tanto de automatización como de instrumentación para la implementación del sistema planteado, el cual consiste principalmente en el control automático de caudal mediante la variación de velocidad de una electrobomba a través de los bloques funcionales PID que incluye el controlador S7 1200.

El resultado final fue un sistema automatizado que posibilita la calibración en tierra de los sensores de caudal, intelliflow, cpu satloc G4 y válvulas de control instalados en las aeronaves de pulverización, evitando así la interrupción en las operaciones aéreas debido a los vuelos de prueba que se realizan para comprobar el funcionamiento de los equipos.

**Palabras clave:** Agricultura de precisión, pulverización, sistema de calibración, PLC, PID

## **ABSTRACT**

*In precision farming, the use of intelligent systems in spraying aircraft is efficient when the application of phytosanitary covers large areas of crop in a short time, as long as they have the correct calibration for the application, the dose adequate and recommended for each crop. The purpose of this graduation work is to build an automated system to calibrate the spray equipment installed in the Turbo Thrush and Robinson R44 aircraft of the AEROVIC C.A. To do this, it was made a methodological design using morphological matrices in order to achieve the appropriate selection of automation and instrumentation equipment for the implementation of the proposed system. This system mainly consists of automatic control of flow rate by varying the speed of an electric pump through the PID functional blocks included in the S7 1200 controller.*

*The final result was an automated system that makes possible the ground calibration of the flow sensors, intelliflow, cpu satloc G4 and control valves installed in the spray aircraft, thus avoiding interruption of air operations due to the test flights that are performed to check the operation of the equipment.*

*Keywords: Precision farming, spraying, system of calibration, PLC, PID.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i> .....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS .....	VI
SIMBOLOGÍA .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	X
ÍNDICE DE PLANOS .....	XI
CAPÍTULO 1 .....	1
1.    Introducción .....	1
1.1    Descripción del problema .....	1
1.2    Objetivos.....	2
1.2.1    Objetivo General .....	2
1.2.2    Objetivos Específicos .....	2
1.3    Marco teórico .....	3
1.3.1    Agricultura de precisión.....	3
1.3.2    Fumigación.....	4
1.3.3    Fumigación mediante pulverización aérea .....	4
1.3.4    Aeronaves de pulverización .....	4
1.3.5    Equipos de pulverización de una aeronave.....	7
1.3.6    Equipos para aplicaciones de precisión .....	13
1.3.7    Técnicas de calibración de un equipo pulverizador.....	15
1.3.8    Equipos de automatización .....	18
CAPÍTULO 2.....	22

2.	Metodología .....	22
2.1	Parámetros y cálculos del avión pulverizador.....	24
2.1.1	Cálculos para la calibración .....	25
2.2	Alternativas de solución.....	28
2.3	Selección de las alternativas de solución .....	29
2.3.1	Caudalímetro.....	29
2.3.2	Controlador .....	33
2.3.3	Electrobomba .....	35
2.3.4	Sensor de presión .....	36
2.3.5	Interfaz Hombre Maquina.....	37
2.4	Descripción del proyecto.....	37
2.5	Especificaciones técnicas de la selección del hardware.....	38
2.5.1	Electrobomba centrífuga .....	38
2.5.2	Caudalímetro tipo turbina .....	40
2.5.3	Controlador Lógico Programable .....	41
2.5.4	Variador de frecuencia .....	43
2.5.5	Interfaz Hombre-Maquina.....	44
2.6	Diseño de Hardware .....	45
2.6.1	Estructura.....	45
2.6.2	Esquema de conexiones.....	46
2.7	Diseño de Software y configuración de controladores.....	47
2.7.1	Configuración del Variador sinamics V20.....	47
2.7.2	Convertidor de frecuencia a voltaje.....	49
2.7.3	Desarrollo del Software.....	50
2.7.4	Interfaz gráfica de usuario.....	55
	CAPÍTULO 3.....	63

3.	RESULTADOS.....	63
3.1	Resumen de resultados .....	64
3.1.1	Ajuste de parámetros del controlador PID.....	66
3.1.2	Pruebas en helicóptero Robinson R44.....	69
3.2	Análisis de costos .....	71
CAPÍTULO 4.....		75
4.	DISCUSION y CONCLUSIONES.....	75
4.1	Conclusiones .....	75
4.2	Recomendaciones.....	76
5.	Bibliografía .....	77
APÉNDICES .....		78
ANEXOS.....		1

## **ABREVIATURAS**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FAO	Food and Agriculture Organization
FIEC	Facultad de ingeniería eléctrica y computación
PLC	Controlador Lógico Programable
PID	Proporcional Integral Derivativo
RPM	Revoluciones Por Minuto
MMA	Maintenance Manual Aircraft
PMAPs	Mapas de prescripción

## SIMBOLOGÍA

m	Metro
Q	Caudal
V	Velocidad
$\eta$	Rendimiento
A	Ancho de faja

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Ciclo de la agricultura de precisión .....	3
Figura 1.2 Turbo Thrush 510P .....	5
Figura 1.3 Fumigador Robinson R44 Raven I.....	6
Figura 1.4 Diagrama del sistema de pulverización .....	7
Figura 1.5 Sistema de pulverización .....	8
Figura 1.6 Bomba de pulverización.....	9
Figura 1.7 Ventilador de la bomba de pulverización .....	9
Figura 1.8 Embrague-freno electromagnético.....	10
Figura 1.9 Válvula de control .....	11
Figura 1.10 Barra de pulverización del Thrush .....	11
Figura 1.11 Barra de pulverización Robinson R44 Raven I .....	12
Figura 1.12 Aspersores.....	13
Figura 1.13 Equipos del sistema Satloc G4 .....	14
Figura 1.14 Intelliflow .....	15
Figura 1.15 PLC S7-1200 .....	18
Figura 1.16 SM1232 AO .....	19
Figura 1.17 Sinamics V20.....	20
Figura 1.18 Pantalla HMI .....	20
Figura 2.1 Metodología de diseño.....	23
Figura 2.2 Medidor tipo turbina .....	30
Figura 2.3 Medidor electromagnético.....	31
Figura 2.4 Medidor ultrasónico.....	32
Figura 2.5 Micrologix 1200.....	33
Figura 2.6 Controlador S7 1200.....	34
Figura 2.7 Esquema de la estructura del sistema de calibración .....	38
Figura 2.8 Electrobomba centrífuga .....	39
Figura 2.9 Sensor de caudal tipo turbina .....	41
Figura 2.10 CPU S7-1200 1212C .....	42
Figura 2.11 Variador de frecuencia Sinamics V20 .....	43

Figura 2.12 HMI SIMATIC KTP-400.....	44
Figura 2.13 Estructura del sistema de calibración .....	45
Figura 2.14 Interconexión de los equipos del sistema de calibración .....	46
Figura 2.15 Configuración de borneras de la electrobomba .....	47
Figura 2.16 Datos de placa de la electrobomba.....	48
Figura 2.17 Configuración de borneras para control mediante señal analógica .....	49
Figura 2.18 Funcionamiento del Pick-up magnético de reluctancia variable .....	50
Figura 2.19 Circuito convertidor de frecuencia a voltaje .....	50
Figura 2.20 conexión profinet.....	56
Figura 2.21 Pantalla principal de la interfaz .....	56
Figura 2.22 pantalla inicial .....	57
Figura 2.23 Logo Aerovic.....	58
Figura 2.24 Selección de aeronave .....	59
Figura 2.25 selección manual o automático.....	60
Figura 2.26 Ingreso de caudal modo manual.....	61
Figura 2.27 Ingreso de variables para control de caudal automático.....	62
Figura 3.1 sistema de calibración .....	63
Figura 3.2 Panel de control.....	64
Figura 3.3 Pantalla de ajustes básico del bloque PID.....	67
Figura 3.4 pantalla Off line de puesta en servicio .....	67
Figura 3.5 Pantalla Online para optimización de ajuste del bloque PID.....	68
Figura 3.6 Parámetros del controlador PID.....	69
Figura 3.7 Sistema de calibración en helicóptero Robinson R44.....	69
Figura 3.8 Simulador G4 operando en tierra.....	70
Figura 3.9 Pantalla de calibración de turbina de flujo .....	70
Figura 5.1 Vista isométrica del sistema de calibración. ....	85
Figura 5.2 Vista frontal del sistema de calibración.....	85
Figura 5.3 Vista superior del sistema de calibración.....	86
Figura 5.4 Dimensiones del Robinson R44 Rave I .....	3

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Matriz morfológica.....	28
Tabla 2 Matriz comparativa del Caudalímetro .....	32
Tabla 3 Matriz comparativa del controlador .....	34
Tabla 4 Matriz comparativa de la electrobomba .....	36
Tabla 5 Especificaciones técnicas de la bomba .....	39
Tabla 6 Especificaciones técnicas del motor .....	40
Tabla 7 Especificaciones técnicas del sensor de caudal tipo turbina.....	41
Tabla 8 características técnicas S7-1200 1212C.....	42
Tabla 9 Especificaciones técnicas del variador de frecuencia .....	43
Tabla 10 Parámetros ingresados en el variador de frecuencia .....	48
Tabla 11 frecuencia del pick up magnético VS voltaje del convertidor .....	65
Tabla 12 frecuencia del variador VS caudal de salida .....	65
Tabla 13 Caudal de salida vs voltaje del convertidor .....	66
Tabla 14 Especificaciones y datos de rendimiento Turbo Thrush.....	2
Tabla 15 Especificaciones del Robinson R44 Raven I.....	3
Tabla 16 Características de controladores Micrologix .....	4
Tabla 17 características de los paneles HMI .....	5
Tabla 18 Registro de Robinson R44 Raven I generado por satloc G4 .....	6
Tabla 19 Resultado de calibración del sensor de flujo avión HC-CMK.....	7
Tabla 20 Resultado de calibración del sensor de flujo avión HC-COM.....	8
Tabla 21 Resultado de calibración del sensor de flujo Helicóptero HC-CSP .....	9

## ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1 Vista en explosión

PLANO 2 Despiece general

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

En la pulverización aérea aplicada a los cultivos agrícolas, uno de los factores importantes para un control eficaz y eficiente de malezas, plagas y enfermedades es la correcta calibración de los equipos de fumigación. Según la FAO (1990), las pérdidas de productividad por presencia de plagas y enfermedades (insectos, bacterias, virus, nematodos, ácaros, moluscos, otros) en los cultivos a nivel mundial, en países en desarrollo, son del 30% antes de la cosecha y 10% en post cosecha. No obstante, en países desarrollados las pérdidas promedian el 10 y 5% respectivamente.

El propósito de este trabajo se debe a la necesidad urgente del departamento de mantenimiento eléctrico de la compañía AEROVIC C.A, el desarrollar un sistema que funcione en tierra para la calibración y mantenimiento de los equipos de pulverización satloc G4 utilizados en las aeronaves TURBO TRUSH y ROBINSON R44, para ello se recurrirá a las herramientas de electrónica y automatización. En efecto, hoy en día la automatización nos ofrece una amplia selección de aplicaciones del ámbito industrial.

En este trabajo se presenta una propuesta automatizada que aspira a perfeccionar los procesos de mantenimiento y calibración de los equipos satloc G4. Para este fin primero se iniciará con la obtención de los parámetros que utilizan las aeronaves para realizar la pulverización y así implementar un sistema que ayude a visualizar y comprender el funcionamiento de los equipos satloc G4 y la manera como operan en las aeronaves.

### 1.1 Descripción del problema

En el caso particular de la compañía de fumigación aérea AEROVIC C.A donde existe la necesidad de realizar una correcta calibración de los equipos de pulverización instalados en las aeronaves Turbo Thrush y Robinson R44 para evitar una sobredosificación y una subdosificación, se presenta un obstáculo debido a que

los equipos de pulverización están diseñados para operar en las aeronaves y la única manera de comprobar su funcionamiento y calibración es realizando vuelos de prueba con agua, en donde el piloto es el único testigo del correcto funcionamiento de los equipos. Estos vuelos de prueba interrumpen las operaciones aéreas y disminuyen el rendimiento de consumo de combustible de las aeronaves con respecto de la fumigación.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

Implementar un sistema automatizado que simule los caudales de operación que se producen durante la fumigación aérea, mediante el uso de PLC, HMI, variadores de frecuencia y sensores de instrumentación, para la calibración y mantenimiento de los equipos de pulverización.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Determinar los parámetros físicos utilizados en la pulverización aérea (velocidad, caudal, presión, ancho de pase) para realizar la correcta calibración de los equipos.
- Implementar un sistema automatizado mediante el uso de PLC, variadores de frecuencia, HMI.
- Controlar los parámetros de caudal para la correcta calibración de los equipos Satloc G4.
- Analizar los costos de producción del sistema automatizado para futuras mejoras.

### 1.3 Marco teórico

#### 1.3.1 Agricultura de precisión

La agricultura de precisión es una manera reciente de llevar a cabo la práctica agrícola. Se basa en aplicar la correcta cantidad de insumos agrícolas mediante el uso de las tecnologías de la información con el fin de incrementar la eficiencia de producción, la productividad y la rentabilidad de manera localizada, minimizando el impacto sobre la fauna y el medio ambiente.

Para obtener datos de los cultivos, la agricultura de precisión involucra sistemas de posicionamiento global (GPS) y otros medios electrónicos con el fin de satisfacer las exigencias de la agricultura moderna. (CYTED, 2010)



Figura 1.1 Ciclo de la agricultura de precisión

Fuente: (Emiliano García)

### 1.3.2 Fumigación

Según la FAO se define como fumigación al tratamiento de control de plagas basado en el uso de un agente químico, que a temperatura y presión normales se encuentran en estado gaseoso. (FAO, 1990)

### 1.3.3 Fumigación mediante pulverización aérea

La pulverización aérea es el proceso de rociar un producto fitosanitario sobre algún cultivo. Mediante la pulverización aérea con aeronaves tripuladas pueden tratarse de manera rápida grandes áreas de cultivo. (CYTED, 2010). Una de las ventajas de la pulverización aérea en el control de plagas es la gran capacidad operacional de tratar áreas grandes en un tiempo reducido, sin embargo, existen desventajas que se vinculan con la aspersion aérea, el viento, la temperatura y la humedad relativa pueden limitar la aplicación de muchos tratamientos, de la misma manera los obstáculos como, líneas eléctricas, arboles, antenas, vías de agua pueden impedir que se traten algunos campos, la volatilidad y la deriva de la aspersion también pueden ser un problema ya que la contaminación ambiental puede llegar a ser muy significativa si el rociado no se ejecuta de manera correcta. (FAO, 2002).

### 1.3.4 Aeronaves de pulverización

#### 1.3.4.1 *Aeronave de ala fija*

##### **Thrush 510P**

El Thrush 510P es un avión fabricado con un estándar de bajo mantenimiento y un alto rendimiento, potenciado por Pratt & Whitney con las últimas tecnologías disponibles, como el monitoreo del motor mediante el sistema MVP hasta la avanzada protección contra impactos de cable, Thrush ofrece un alto nivel de productividad, seguridad y valor que el cliente espera. **Fuente especificada no válida.**



**Figura 1.2 Turbo Thrush 510P**

Fuente :(Aerovic, 2018)

#### ***1.3.4.2 Aeronave de ala rotatoria***

##### **Robinson R44**

Los helicópteros R44 Raven I son fabricados para un alto rendimiento, confiables y fáciles de mantener. El R44 consta de un sistema de rotor de dos palas, una barra en T cíclica y con lo último en tecnología Robinson, que incluye panes de instrumentos aerodinámicos.

El diseño del fuselaje del R44 está fabricado para optimizar la velocidad del aire y el ahorro de combustible. Los controles hidráulicos proporcionan un manejo sensible. (Robinson, 2017)



**Figura 1.3 Fumigador Robinson R44 Raven I**

Fuente: (Aerovic, 2018)

### 1.3.5 Equipos de pulverización de una aeronave

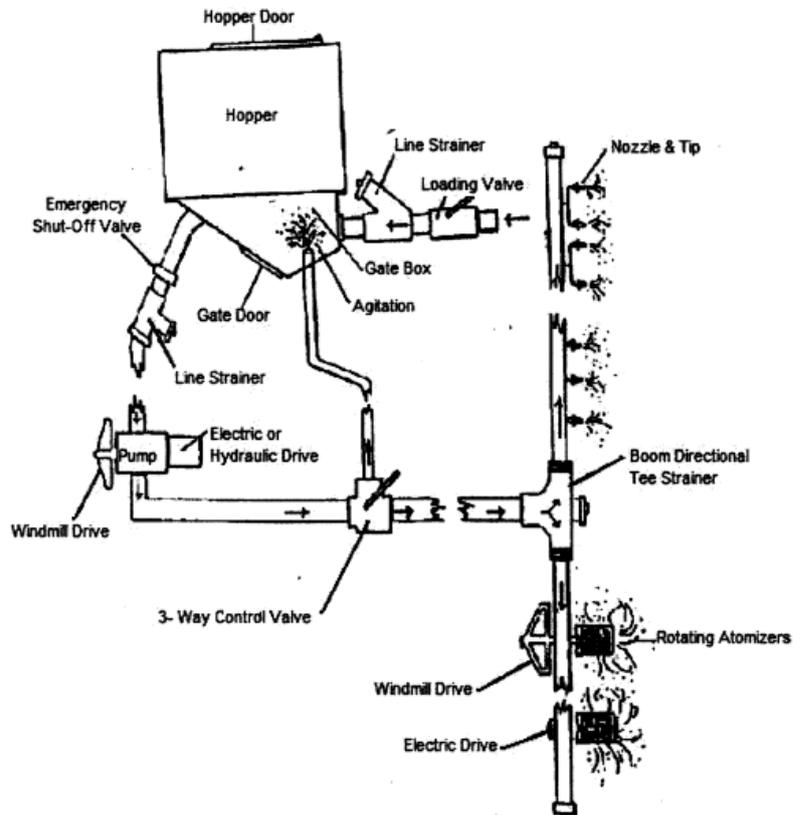
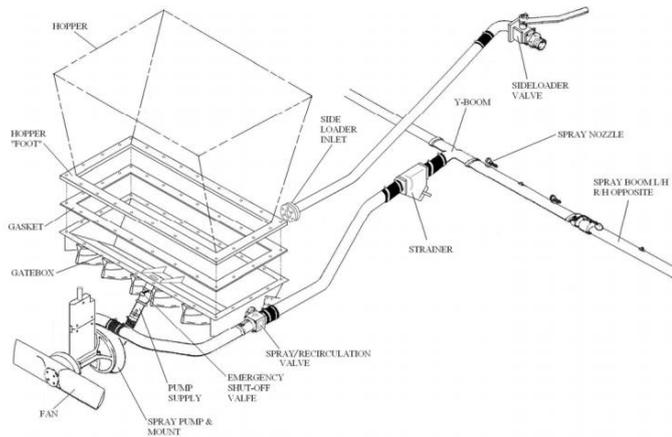


Figura 1.4 Diagrama del sistema de pulverización

Fuente: (USDA, 2006)



**Figura 1.5 Sistema de pulverización**

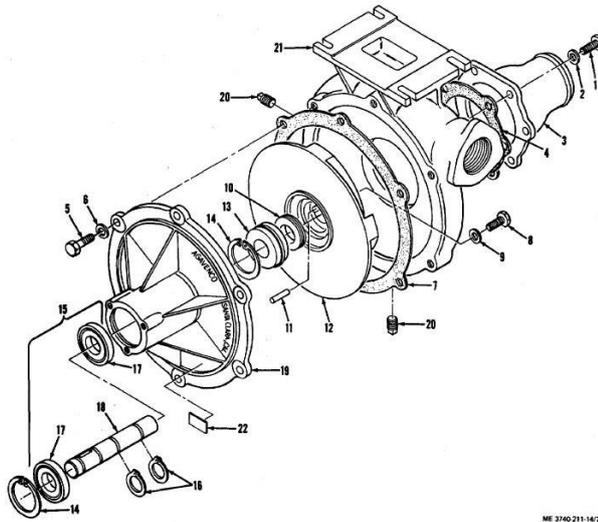
Fuente: (MMA, 2019)

### **Tolva**

La tolva es la parte principal del sistema de pulverización, aquí se almacena todo el producto fitosanitario. Está fabricada de fibra de vidrio reforzada. La parte superior de la tolva forma el carenado desde la cabina hasta la pared de fuego. La tapa de la compuerta de la tolva está diseñada herméticamente para líquidos. Los controles para la expulsión de emergencia de la tolva permiten que se descargue en aproximadamente 6,5 segundos un total de 510 galones. (MMA, 2019)

### **Bomba de pulverización**

La bomba de pulverización del avión es de tipo ventilador impulsada por el viento y se controla desde la cabina mediante un interruptor que energiza el freno electromagnético y detiene la bomba. La bomba de pulverización está ubicada debajo del fuselaje del avión entre los puntales del tren de aterrizaje principal.



**Figura 1.6 Bomba de pulverización**

Fuente : ( SPRAYER, INSECTICIDE, AIRCRAFT-MOUNTED: WITH PUMP AGRINAUTICS MODEL NO. 30000, )



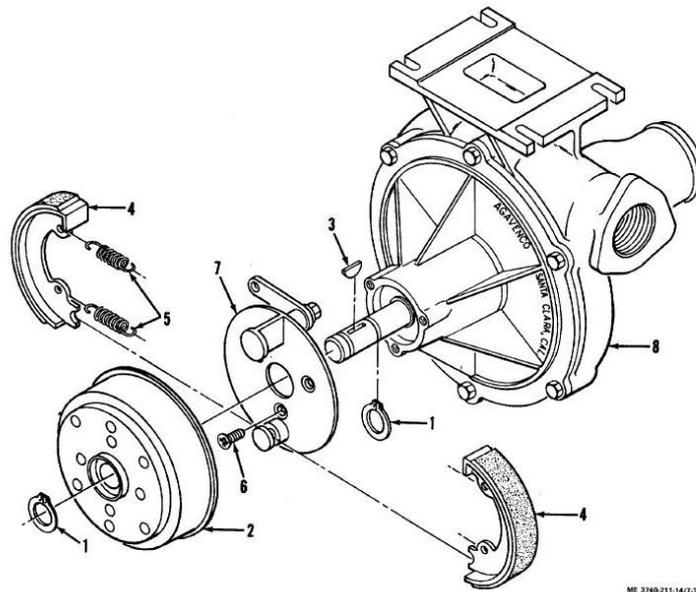
**Figura 1.7 Ventilador de la bomba de pulverización**

Fuente: ( Encalada, Hinostroza, 2019)

Elaboración propia.

### **Embrague freno electromagnético**

El embrague-freno electromagnético se encarga de frenar al fan que trabaja conjuntamente con la bomba de pulverización, este freno se lo puede accionar desde la cabina del piloto. (MMA, 2019)



**Figura 1.8 Embrague-freno electromagnético**

Fuente: (SPRAYER, INSECTICIDE, AIRCRAFT-MOUNTED: WITH PUMP AGRINAUTICS MODEL NO. 30000, )

### **Válvula de control y succión**

La válvula de control y succión de tres vías controla la presión y el flujo de la pulverización y evita que se derrame líquidos remanentes de la barra pulverizadora. La válvula se la acciona desde la cabina para obtener las distintas presiones de operación deseadas según requiera la aplicación de rociado. (MMA, 2019)



**Figura 1.9 Válvula de control**

Fuente: (Transland, 2019)

### **1.3.5.1 Barra de pulverización**



**Figura 1.10 Barra de pulverización del Thrush**

Fuente: (Encalada, Hinostroza, 2019)

Elaboración propia.



**Figura 1.11 Barra de pulverización Robinson R44 Raven I**

Fuente: (Encalada, Hinostroza, 2019)

Elaboración propia.

### **Aspersores**

El sistema de aspersores es el mecanismo mediante el cual el producto sometido a presión se convierte en gotas diminutas que se esparcen uniformemente sobre la plantación. Todas las tuberías del sistema de dispersión están externamente equipadas con acoples con desconexión rápida para facilitar el mantenimiento y la limpieza. La barra aerodinámica de extrusión está fabricada de aluminio y se encuentra debajo del borde posterior del ala. Están equipados con boquillas tipo diafragma y normalmente se usan 35 boquillas para salida de bajo volumen y 70 para salida de alto volumen de producto.



**Figura 1.12 Aspersores**

Fuente: (Aerodol, 2016)

### **1.3.6 Equipos para aplicaciones de precisión**

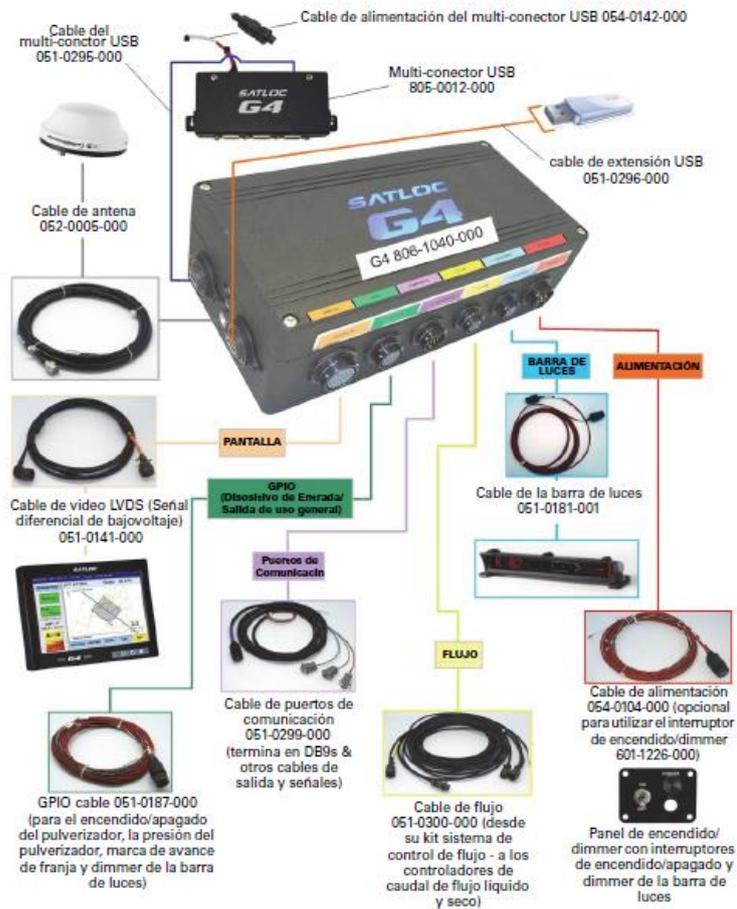
#### **Satloc G4**

Satloc G4 es el sistema desarrollado por la compañía SATLOC para aplicaciones aéreas de precisión.

#### **Características generales**

Satloc G4 está construido con un procesador Intel® Dual-Core™ i7 e incluye un sistema operativo Windows® 7 de 64 bits. Cuenta con una pantalla táctil de 9 pulgadas que proporciona un alta velocidad en gráficos de video, también incluye una antena A21 y una barra de luces externa L7.

Satloc G4 tiene la opción de incorporar mapas bases. Los mapas mejoran la navegación aérea y permite que los pilotos vean información de vuelo como pulverización, apertura de la válvula inteligente, puntos de referencia y polígonos en los mapas base. (SATLOC, Satloc, 2011)



**Figura 1.13 Equipos del sistema Satloc G4**

Fuente: (SATLOC, 2011)

### 1.3.6.1 Intelliflow

Air Intelliflow Es un sistema diseñado por la compañía Hemisphere GPS. Este sistema trabaja conjuntamente con Satloc G4 con el fin de controlar automáticamente las tasas de aplicación de flujo constante o variable basadas en mapas de prescripción (PMAPs). Las tasas de flujo requerido en las aplicaciones pueden ser seleccionadas por el piloto o pueden ser creadas mediante el software MapStar.

El sistema incluye un controlador, una válvula con motor, medidor de flujo tipo turbina con sensor magnético.



Air IntelliFlow

**Figura 1.14 Intelliflow**

Fuente: (SATLOC, 2011)

### 1.3.7 Técnicas de calibración de un equipo pulverizador

Se entiende por calibración de un equipo pulverizador a la técnica de ajuste para lograr una tasa exacta de distribución de un agroquímico con la mayor homogeneidad posible sobre un cultivo determinado.

Cuando se pretende regular un equipo pulverizador se tienen en cuenta algunos aspectos:

- Dosis recomendada del agroquímico
- Tipo de pulverizador
- Tasa de aplicación (litros/ hectárea)
- Tipo de boquilla de pulverización a usar
- Tamaño de gotas a emplear

Las empresas que fabrican y comercializan los productos agroquímicos realizan los ensayos necesarios para determinar la tasa de aplicación adecuada para cada cultivo y plaga.

Con respecto al tamaño de las gotas, deben utilizarse las categorías aceptadas internacionalmente según la norma ASAE S572 que establece las boquillas de

referencia y las categoriza en: muy finas, finas, medias, gruesas, muy gruesas y extremadamente gruesas.

#### **1.3.7.1 Procedimiento para la calibración de los equipos de pulverización**

Previo a la utilización de los equipos resulta necesario verificar que se encuentren en condiciones adecuadas para operar.

##### **Control estático**

Este control es llevado a cabo por el usuario y tiene la finalidad de mantener los equipos en condiciones operativas, es decir seguir una rutina que contemple la presencia de los elementos de seguridad y el estado de las partes mecánicas.

##### **Control dinámico**

Este control tiene la finalidad de asegurar el conjunto nave - equipo pulverizador, para lo cual se desconecta la válvula reguladora de la bomba de la aeronave y se la conecta a una bomba centrífuga externa para poner en marcha a los equipos a un régimen bajo de caudal, con el fin de observar el comportamiento de las partes mecánicas y detectar posibles pérdidas de líquido.

A continuación, se coloca el sistema pulverizador en condiciones de presión y trabajo aconsejados. El régimen de trabajo suele ser de 120 a 140 litros por minuto, sin embargo, la baja potencia de la bomba centrífuga externa afecta el funcionamiento del caudal de las boquillas y el funcionamiento del sistema pulverizador.

##### **Calibración**

Para realizar la calibración del equipo pulverizador se debe conocer la información sobre éste y el cultivo, los factores que permiten ajustar están vinculados en la siguiente ecuación:

$$Q_t = \frac{V \times Q \times A}{600} \quad (1.1)$$

Donde:

Q: tasa de aplicación del producto (litros / hectárea)

Qt: caudal total de boquillas (litros / minuto)

A: ancho de faja (m)

V: Velocidad de pulverización (km / h)

**Para la elección de boquillas y la presión de trabajo se utiliza la siguiente formula:**

$$\left( \frac{Q_0}{Q_1} \right)^2 = \left( \frac{P_0}{P_1} \right) \quad (1.2)$$

Donde:

Q0: tasa de aplicación deseada

Q1: tasa de aplicación observada

P0: presión deseada

P1: presión observada

**Calculo de potencia de la bomba**

$$N = \frac{Q_b \times P}{600 \times \eta} \quad (1.3)$$

Donde:

N: potencia de la bomba (KW)

P: presión de trabajo (Bar)

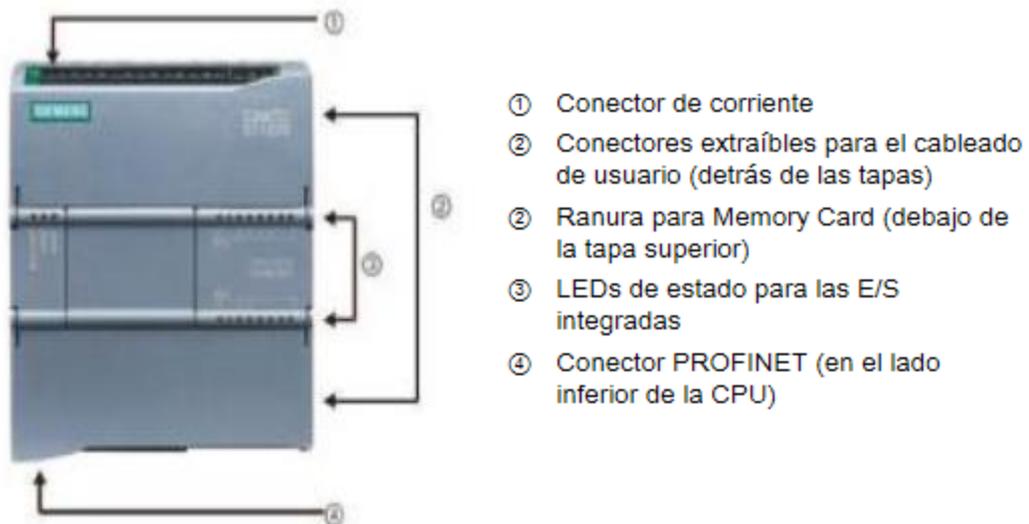
$\eta$ : Rendimiento del motor (entre 0.5 y 0.9)

### 1.3.8 Equipos de automatización

#### PLC S7-1200 CPU 1212C AC/DC/RLY

Un PLC es un cerebro que tiene como función activar componentes de maquinarias, este dispositivo electrónico es programado previamente para ejecutar acciones de control de manera automática en procesos industriales que pueden ser peligrosas para el ser humano, lentas o imperfectas. (Intrave, 2015). El controlador lógico programable S7-1200 CPU 1212 AC/DC de la marca Siemens, brinda flexibilidad y capacidad de controlar varios dispositivos para diferentes tareas dentro del campo de la automatización.

El PLC cuenta con un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, además de circuito de entradas y salidas. (Manual de usuario Simatic S7)



**Figura 1.15 PLC S7-1200**

Fuente: (Manual de Sistema S7-1200, 2009)

#### Módulo de señales de salidas analógicas SM 1232

Durante los procesos industriales existen señales analógicas, tales como, presión, caudal, velocidad, nivel de fluidos, entre otras, que varían con el tiempo. Para que

el PLC pueda manejar dichas señales, es necesario el uso de módulos separados de E/S analógicas.

Una señal análoga incluye todos los valores de la señal, desde un valor mínimo hasta un máximo, de voltaje o corriente.

SM 1232 posee dos canales de salida analógica, se puede configurar como entradas de corriente (0-20mA), resolución de 13 bits, o voltaje ( $\pm 10$  V DC,  $\pm 5$  V DC,  $\pm 2.5$  V), resolución de 14 bits.



**Figura 1.16 SM1232 AO**

Fuente: (Catalogo Siemens Ecuador, 2019)

### **Variador Sinamics V20 Inverter**

Los variadores de frecuencia son utilizados para el control de velocidades de motores eléctricos, dado que son capaces de modificar la tensión alterna, cambiando frecuencia y amplitud, para lograr optimizar procesos y disminuir las cargas mecánicas de la máquina.

El **SINAMICS V20 de Siemens** posee rápidos tiempos de puestas en marcha, es de fácil uso, robusto y eficiente para diferentes ambientes laborales. Está disponible en FSA hasta 2,2 Kw y cubre un rango desde 0,12Kw hasta 15Kw en tensiones de red monofásica y trifásica.

(Siemens, 2019)



**Figura 1.17 Sinamics V20**

Fuente: (Catalogo Siemens Ecuador, 2019)

### **Panel de Operación SIMATIC HMI**

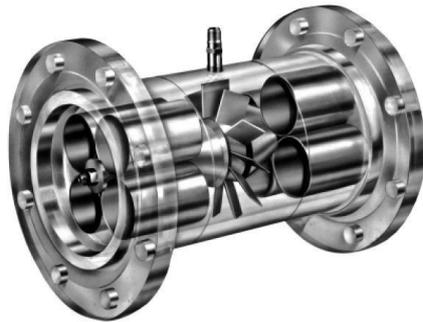
El interfaz Hombre-Máquina (HMI) es el interfaz entre un proceso industrial y el usuario, es importante para poder visualizar, coordinar, controlar procesos en tiempo real, supervisar, optimizar y regular los objetivos de producción.



**Figura 1.18 Pantalla HMI**

### **Medidor de Caudal**

En industrias, la medición del flujo es importante para obtener un proceso continuo, un medidor de flujo es un dispositivo instalado en una tubería, permite conocer el flujo volumétrico o caudal que está circulando por el área.



**Figura 1.20 Medidor de caudal**

### **Bomba de alta precisión eléctrica**

Es un sistema que transforma energía, para el movimiento del agua. Este movimiento generalmente es de forma ascendente. Constan de un orificio de entrada (aspiración) y otro de salida (impulsión). Poseen un elemento que gira, llamado rotor, produciendo así el arrastre del agua.



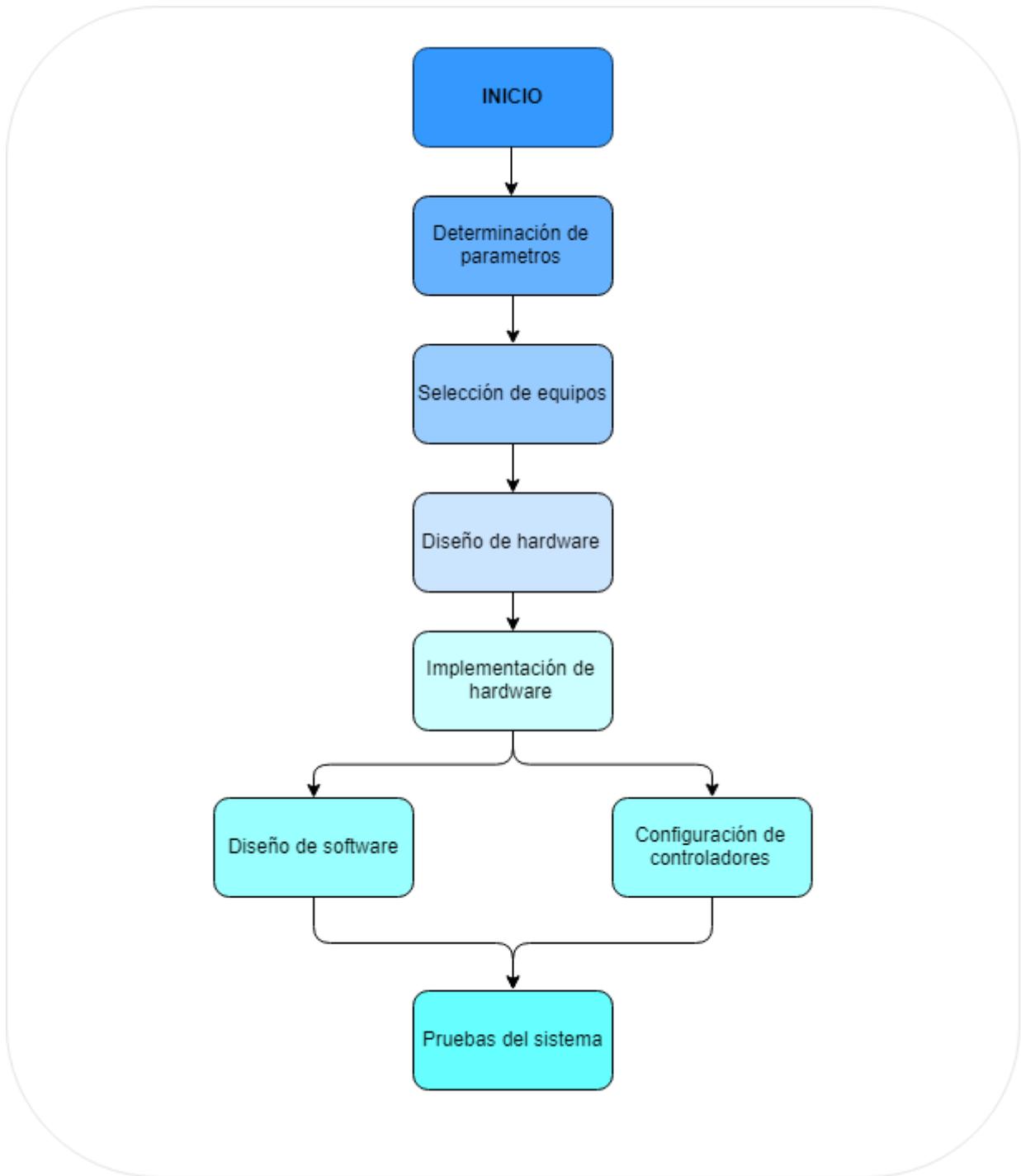
**Figura 1.21 Bomba de alta precisión eléctrica**

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

El sistema para la calibración de los equipos de pulverización consta de las siguientes etapas: almacenamiento de agua, sistema de bombeo, control de flujo de agua. Por lo tanto, el prototipo fundamentalmente depende de la selección de la mejor alternativa para cada una de las etapas indicadas.

Para el proceso de implementación de este sistema en particular, se tomaron en cuenta ciertas consideraciones y requerimientos para obtener el producto final, el cual es el sistema de calibración para los equipos de pulverización. A continuación, se mostrará el desarrollo del diseño del sistema.



**Figura 2.1 Metodología de diseño**  
Fuente: (Encalada, Hinostroza, 2019)  
Elaboración propia.

## **2.1 Parámetros y cálculos del avión pulverizador**

Para cumplir con los requerimientos, se deben conocer todos los parámetros que se involucran en la pulverización aérea, siendo las principales: velocidad de pulverización, tasa de aplicación y ancho de faja. Todos los parámetros se obtuvieron del registro de trabajos realizados por la compañía AEROVIC CA que en su mayoría pulveriza sobre plantaciones de banano. En los anexos se pueden observar los datos obtenidos por la empresa Terry Spray Consulting S.A

### **Velocidad de pulverización**

La velocidad de la aeronave influye en la dosis aplicada al cultivo debido que a mayor velocidad las revoluciones de la bomba tipo ventilador aumentan y por lo tanto bombea más caudal hacia la barra pulverizadora. La velocidad de pulverización del avión Thrush guardado en los registros de trabajo se encuentra entre 135 MPH y 145MPH, mientras que el rango de velocidad del helicóptero Robinson R44 se encuentra entre 50MPH y 60 MPH.

### **Dosis aplicada**

Las dosis de fitosanitario que registran las aplicaciones en diferentes haciendas realizadas en los cultivos están entre 5 y 6 Galones por cada hectárea.

### **Ancho de faja**

El ancho de faja de las aeronaves se obtuvo de los resultados de las capturas de gota realizadas por la empresa Spray Terry que determina 22 metros de ancho de faja para los aviones turbo Thrush y un ancho de faja de 18 m para el helicóptero Robinson R44.

### **Presión de pulverización**

La presión de la barra pulverizadora tiene que estar por encima de los 20 PSI para lograr una correcta aplicación y que entren en funcionamiento los equipos de pulverización Satloc. Este parámetro se obtuvo de la configuración del interruptor de

presión utilizado en el sistema de pulverización y de los datos observados por los pilotos durante la pulverización. La presión máxima es de 60 psi.

## 2.1.1 Cálculos para la calibración

### 2.1.1.1 Caudal de pulverización

El caudal total de pulverización se calculó según la fórmula:

$$Q_t = \frac{\text{velocidad}[\frac{Km}{h}] \times \text{dosis aplicada}[\frac{L}{hectarea}] \times \text{ancho de faja}[m]}{600} \quad (2.1)$$

#### Calculo de caudal del avión Turbo Thrush

##### Dosis aplicada a 5 galones por hectárea:

5 Galones/hectárea = 18.92 litros/hectárea

##### Velocidad de pulverización:

145 mph= 233.35 Km/h

##### Ancho de Pase:

24 metros

$$Q_t = \frac{V \times Q \times A}{600} =$$
$$Q_t = \frac{233.35 \times 18.92 \times 24}{600} =$$
$$= 176.59 \text{ litros/minuto}$$

##### Dosis aplicada a 6 galones por hectárea:

6 galones/hectárea = 22.71 litros/hectárea

##### Velocidad de pulverización:

145 mph= 233.35 Km/h

##### Ancho de Pase:

24 metros

$$Q_t = \frac{V \times Q \times A}{600} =$$

$$= 211.97 \text{ litros/minuto}$$

### **Calculo de caudal del Helicóptero Robinson R44:**

#### **Dosis aplicada a 5 galones por hectárea:**

5 Galones/hectárea = 18.92 litros/hectárea

#### **Velocidad de pulverización:**

55 mph = 88.51 Kph

#### **Ancho de faja:**

18 metros

$$Q_t = \frac{V \times Q \times A}{600}$$
$$Q_t = \frac{88.51 \times 18.92 \times 18}{600}$$
$$= 50.23 \text{ litros/minuto}$$

#### **Dosis aplicada a 6 galones por hectárea:**

6 Galones/hectárea = 22.71 litros/hectárea

#### **Velocidad de pulverización:**

55 mph = 88.51 Kph

#### **Ancho de faja:**

18 metros

$$Q_t = \frac{V \times Q \times A}{600}$$
$$Q_t = \frac{88.51 \times 22.71 \times 18}{600}$$
$$= 60.3 \text{ litros/minuto}$$

### 2.1.1.2 **Calculo de Potencia de la bomba de pulverización**

Los principales parámetros para el cálculo de la bomba son: la presión de trabajo y el caudal nominal máximo. Para el cálculo de la potencia de la bomba pulverizadora se utilizó la siguiente formula:

$$N = \frac{Q_b[\frac{L}{min}] \times P[bar]}{600 \times \eta} \quad (2.2)$$

**Presión máxima de trabajo:**

60 psi = 4.13 bar

**Caudal máximo de operación:**

211.97 litros/minuto

**Rendimiento de la bomba**

0.7

$$N = \frac{Q_b \times P}{600 \times \eta}$$
$$N = \frac{211.97 \times 4.13}{600 \times 0.7}$$

$$= 2.08 \text{ Kw}$$

$$2.08 \text{ Kw} = 2.78 \text{Hp}$$

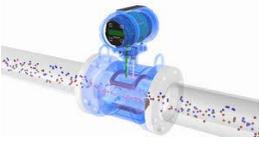
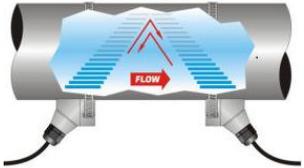
La potencia que necesita la bomba para trabajar con los parámetros nominales es de 2.78 HP.

## 2.2 Alternativas de solución

Una vez establecidos los parámetros que debe cumplir el sistema de calibración se optó por identificar las partes principales del sistema que se desea implementar y aplicar una matriz morfológica que muestre gráficamente el camino de las diferentes alternativas de solución. La matriz morfológica incluye y descarta todas las posibilidades factibles.

En fin, se reconocieron 3 sistemas primarios: caudalímetro, controlador, electrobomba.

**Tabla 1 Matriz morfológica**

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Caudalímetro	 rango(40-400gpm)	 rango(0.4-400gpm)	 rango(0-900gpm)
Controlador	 Micrologix-1200	 S7-1200	
Electrobomba	 60 gpm	 61 gpm	 10.5 gpm

## **2.3 Selección de las alternativas de solución**

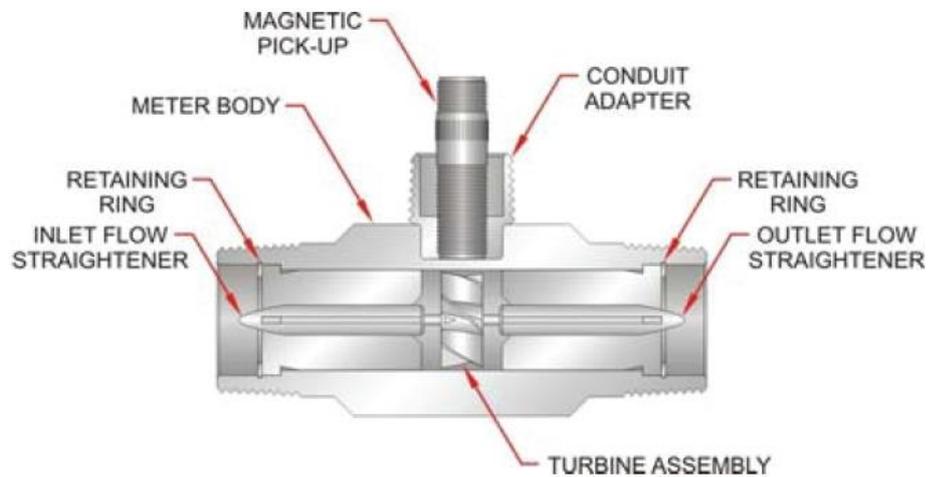
La toma correcta de decisión de las diferentes alternativas planteadas hará que la implementación del sistema cumpla con el objetivo general del presente trabajo.

### **2.3.1 Caudalímetro**

Una parte muy importante del sistema de calibración es el medidor de caudal, pues como se verá más adelante no se pueden utilizar las demás partes del sistema sin antes tener una señal del medidor de caudal que realimente al controlador del flujo de agua.

#### **Caudalímetro tipo turbina**

Los medidores de caudal tipo turbina son muy utilizados en aplicaciones industriales para medir de manera confiable la velocidad de líquidos, gases y vapores sin partículas en suspensión. Los caudalímetro tipo turbina utilizan la energía mecánica del fluido que impacta en los alabes del rotor de la turbina y lo hace girar de manera proporcional a la velocidad del fluido que se desplaza a través del caudalímetro. Una ventaja que sobresale es su bajo costo, alta precisión y la disponibilidad inmediata en el mercado.

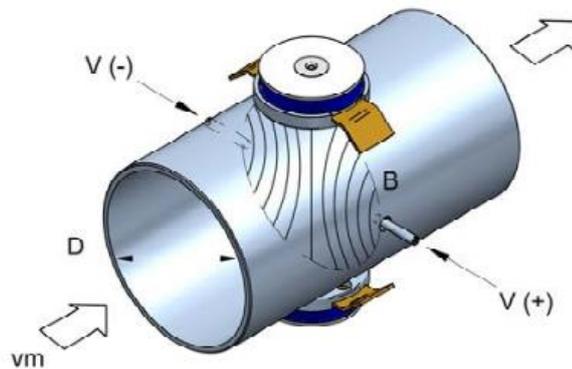


**Figura 2.2 Medidor tipo turbina**

Fuente: (Blancett, 2014)

### **Caudalímetro magnético**

El medidor de caudal magnético es muy estable y preciso en líquidos conductores, no tiene partes móviles, por lo tanto, no crea ninguna influencia hidráulica en el flujo, el principio de funcionamiento se basa en la ley de inducción de Faraday. Cuando un fluido conductor atraviesa el campo magnético en el sensor, un voltaje electromagnético es inducido entre los electrodos del tubo sensor, el cual es directamente proporcional a la velocidad del fluido que atraviesa el sensor.

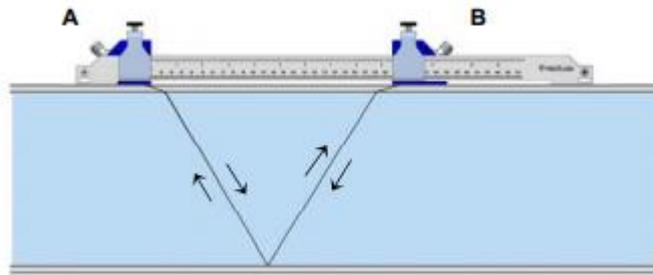


**Figura 2.3 Medidor electromagnético**

Fuente: (Tecfluid, 2018)

### **Caudalímetro ultrasónico**

El medidor de caudal ultrasónico es un dispositivo electrónico que se basa en la transmisión de señales de ultrasonido a través de la tubería por donde circula un líquido. El principio de funcionamiento se basa por tiempo de tránsito. Dos transductores de ultrasonido, colocados convenientemente en una tubería actuando como emisor-receptor envían una señal ultrasónica primero en sentido (Desde A hacia B) y viceversa (desde B hacia A). Un procesador calcula estos tiempos de tránsito. Cuando no existe caudal a través de la tubería, estos tiempos (A→B y B→A) son iguales, pero cuando existe un flujo a una determinada velocidad, los tiempos de ida y vuelta son diferentes. La diferencia entre estos tiempos es directamente proporcional a la velocidad de líquido en la tubería. Su alto costo en el mercado es una desventaja, por el contrario, evita pérdidas de carga, fugas en el sistema, no requiere mantenimiento y permite medir caudales en procesos de alta presión.



**Figura 2.4 Medidor ultrasónico**

Fuente: (TecFluid, 2018)

**Tabla 2 Matriz comparativa del Caudalímetro**

Medidor	Ventaja	desventaja
Tipo turbina	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disponible en el mercado local.</li> <li>• Trabaja con líquidos y gases.</li> <li>• Fácil instalación y mantenimiento</li> <li>• Alta precisión en la medición de caudal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• \$1.215,00</li> <li>• La turbina Interviene con el flujo</li> </ul>
Electromagnético	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No presenta obstrucciones al flujo</li> <li>• Mide caudal en las dos direcciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No disponible en el mercado local.</li> <li>• Trabaja solo con líquidos conductores</li> <li>• \$1.639,00</li> </ul>
Ultrasónico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se utiliza externo a la tubería</li> <li>• Ideal para medir caudales de alta presión</li> <li>• Permite medir fluidos muy corrosivos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No disponible en el mercado local.</li> <li>• \$1.936,00</li> </ul>

Analizando la matriz comparativa anterior se tomó la decisión de utilizar un caudalímetro tipo turbina, por la alta precisión en la medición de caudales, por su costo económico con respecto a los otros medidores y por su disponibilidad inmediata en el mercado local.

### 2.3.2 Controlador

El control automático del proceso es la parte principal del sistema de calibración, se basa en el concepto de realimentación o feedback cuya característica es la de mantener al controlador informado del estado de las variables que se desea controlar y así generar inmediatamente acciones correctivas cuando sea necesario. El principal elemento de cualquier sistema de control automático es el lazo de control realimentado, que no es más que una trayectoria cerrada conformada por un sensor, un controlador y un elemento final de control.

#### Controlador Micrologix 1200

Micrologix1200 es un controlador lógico programable de la marca Allen Bradley, diseñado para cubrir una amplia gama de aplicaciones de automatización en el sector industrial, es muy accesible económicamente, sin embargo, una de las desventajas que presenta es que no contiene entradas y salidas analógicas incorporadas.



**Figura 2.5 Micrologix 1200**

Fuente: (Catalogo Rockwell, 2017)

### Controlador siemens s7 1200

El controlador Simatic S7 1200 es un dispositivo con una gran variedad de aplicaciones, ofrecen la flexibilidad necesaria para solucionar las tareas de automatización con una alta precisión. Este controlador ofrece un regulador PID de optimización automática para los modos automático y manual, sin embargo, una de las desventajas de este controlador es que no cuenta con salidas analógicas.



Figura 2.6 Controlador S7 1200

Fuente: (Catalogo siemens, 2019)

Tabla 3 Matriz comparativa del controlador

Controlador	Ventajas	Desventajas
Micrologix 1200	<ul style="list-style-type: none"><li>• Económico</li><li>• Fácil instalación</li><li>• Robusto</li><li>• Contiene función PID</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• no contiene entradas analógicas incorporadas</li><li>• No tiene salidas analógicas incorporadas</li></ul>
S7-1200	<ul style="list-style-type: none"><li>• Contiene bloque funcional PID</li><li>• Ideal para automatizar procesos.</li><li>• Contiene 2 entradas analógicas incorporadas</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• \$500</li><li>• No tiene salidas analógicas</li></ul>

Analizando la matriz comparativa anterior se tomó la decisión de optar por el controlador S7-1200, porque contiene las funciones de control PID para cumplir con los requerimientos del sistema de calibración.

### **2.3.3 Electrobomba**

Uno de los requerimientos del sistema de calibración es el de manejar caudales elevados con el fin de simular los parámetros de aplicación que realizan las aeronaves de pulverización, por ello se deberá elegir la mejor opción de sistema de bombeo.

#### **Electrobomba centrífuga**

Las bombas centrífugas son unos de los dispositivos de bombeo más preferidos en el área agrícola e industrial cuando de mover líquidos se trata. Son máquinas rotativas capaces de utilizar energía mecánica y convertirla en energía para que un fluido adquiera velocidad. Son económicas, trabajan con caudales grandes y su mantenimiento y reparación es fácil ya que se puede desmontar sin remover el motor.

#### **Electrobomba periférica**

Las bombas periféricas son conocidas como bombas tipo turbina, son capaces de entregar gran presión de descarga con motores de baja potencia, tienen el mismo principio de funcionamiento que las bombas centrífugas, son muy económicas, consumen poca potencia eléctrica, sin embargo, tienen la desventaja que manejan caudales pequeños.

#### **Electrobomba de Pistón**

Las bombas de pistón o también llamadas bombas alternativas son capaces de alcanzar niveles de presión altos y la presión puede ser controlada sin impactar el nivel de flujo

**Tabla 4 Matriz comparativa de la electrobomba**

Electrobomba	Ventaja	Desventaja
Centrifuga Pedrollo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto caudal</li> <li>• Alta presión</li> <li>• Mantenimiento económico</li> <li>• 5HP</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo elevado \$1500</li> </ul>
Centrifuga Banner	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto caudal</li> <li>• mantenimiento</li> <li>• económico</li> <li>• disponible en el mercado local</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bridada</li> </ul>
De pistón axial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso industrial</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• desgaste rápido de componentes mecánicos.</li> <li>• costo de mantenimiento elevado.</li> <li>• no disponible en el mercado local.</li> </ul>

Analizando la matriz comparativa anterior se optó por la electrobomba centrifuga la cual será definida más adelante. Las ventajas que ofrece la bomba centrifuga son las necesarias con respecto al caudal y la disponibilidad inmediata en el mercado local.

#### **2.3.4 Sensor de presión**

El sensor de presión no se puso en discusión, pero su elección en el mercado fue de acuerdo a los parámetros de presión determinados del avión pulverizador y precio.

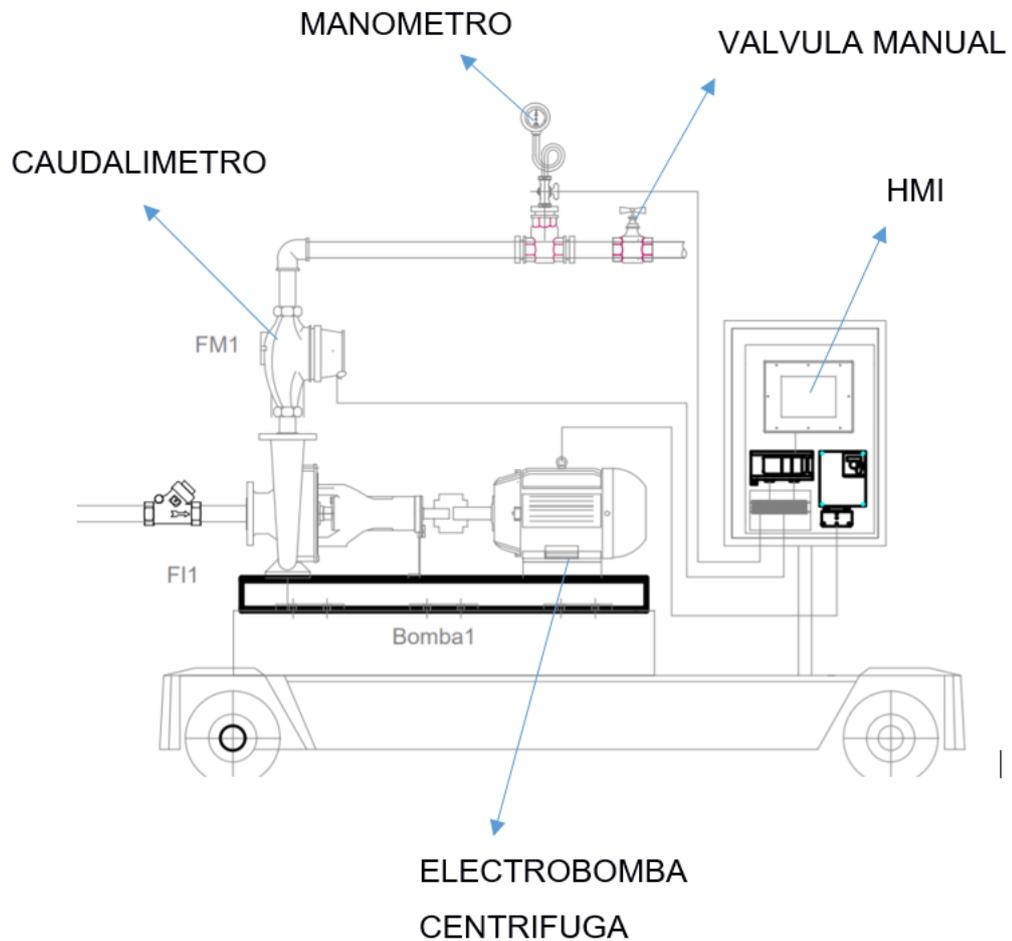
### **2.3.5 Interfaz Hombre Maquina**

Para obtener un control de la planta, se optó por utilizar una HMI de Siemens para tener una rápida interfaz de comunicación con el CPU S7-1200, en el apéndice 2 se podrá analizar las características básicas de las pantallas a disposición.

## **2.4 Descripción del proyecto**

A continuación se describe el proceso automatizado del sistema de calibración, que consiste en ingresar los principales parámetros de operación de la aeronave en un HMI y determinar un caudal que será controlado mediante la variación de velocidad de una electrobomba con el fin de simular los caudales de operación que utilizan las aeronaves durante la pulverización para de esta manera poder realizar la calibración en tierra de los equipos del sistema de pulverización instalados en las aeronaves Turbo Thrush y Robinson R44.

Según el esquema de la figura 2.7, el proceso inicia con la introducción de los parámetros de pulverización (velocidad, dosis de aplicación, ancho de faja) a través de la HMI, estos datos sirven para realizar el cálculo del caudal de operación de la aeronave, una vez obtenido el dato de caudal, el PLC lo utiliza como punto de referencia e inicia el proceso de control de velocidad de la electrobomba mediante el variador de frecuencia, conforme va aumentando la velocidad de la electrobomba el caudal a la salida también aumenta y el caudalímetro mide los litros por minuto que salen, el PLC utiliza esta información del caudalímetro y mediante el bloque funcional PID que tiene realiza los ajustes necesarios para controlar la velocidad del motor de la bomba mediante el variador y llegar al caudal deseado.



**Figura 2.7 Esquema de la estructura del sistema de calibración**

Fuente: Encalada, Hinostroza, 2019.

Elaboración propia

## 2.5 Especificaciones técnicas de la selección del hardware

### 2.5.1 Electrobomba centrífuga

La electrobomba es una parte esencial en el diseño del sistema puesto que es la encargada de desplazar el líquido con un determinado caudal para la calibración de los equipos de pulverización. Los cálculos realizados en la sección 2.1 indican que se debe utilizar una electrobomba que genere una potencia de 2.78 HP lo cual se

aproxima a 3 HP que son las que se encuentran disponibles en el mercado local. Las bombas centrífugas son, sin duda las más utilizadas en el campo industrial cuando de transportar líquidos se trata.



**Figura 2.8 Electrobomba centrífuga**

Fuente: (Catálogo Barnes, 2018)

**Tabla 5 Especificaciones técnicas de la bomba**

<b>Marca</b>	Barnes
<b>Tipo de bomba</b>	Centrífuga
<b>Tipo de acoplamiento</b>	Monobloque
<b>Succión</b>	1-1/2" NPT
<b>Descarga</b>	1-1/2" NPT
<b>Tipo de impulsor</b>	Cerrado
<b>Cantidad de impulsores</b>	1
<b>Tipo de sello</b>	Trifásica sello mecánico 1-1/4 " tipo 21
<b>Temperatura Max. Líquido</b>	70°C

Fuente: (Catálogo Barnes, 2018)

**Tabla 6 Especificaciones técnicas del motor**

<b>Tipo</b>	Eléctrico
<b>Potencia</b>	3HP
<b>Diseño</b>	Trifásico NEMA JM
<b>Velocidad</b>	3500 RPM (nominal)
<b>Aislamiento</b>	Clase F
<b>Voltaje</b>	220/440
<b>Factor de servicio</b>	1,15
<b>Frecuencia</b>	60 Hz

Fuente: (catálogo Barnes, 2018)

Elaboración propia

### 2.5.2 Caudalímetro tipo turbina

El sensor de caudal o caudalímetro se instala en línea con la tubería y se encarga de medir la cantidad de caudal líquido que pasa a través de la tubería. El caudal se determina mediante la velocidad del líquido y el área por donde atraviesa.

La relación que determina el caudal de un líquido es:

$$Q = V \times A$$

Donde:

Q: caudal que atraviesa la tubería ( $m^3/s$ )

V: velocidad promedio del flujo ( $m/s$ )

A: sección transversal de la tubería ( $m^2$ )

Los caudalímetros tipo turbina utilizan la energía mecánica del fluido que impacta en los alabes del rotor de la turbina y lo hace girar de manera proporcional a la velocidad del fluido que se desplaza a través del sensor. El sensor magnético, montado en la parte exterior del cuerpo del medidor de flujo, detecta el paso de cada pala por delante y genera un voltaje sinusoidal, cuya frecuencia es proporcional al caudal.



**Figura 2.9 Sensor de caudal tipo turbina**

Fuente: (Rockwind, 2016)

**Tabla 7 Especificaciones técnicas del sensor de caudal tipo turbina**

<b>Marca</b>	Rockwind
<b>Modelo</b>	TFM1050
<b>Presión Max</b>	4000PSI
<b>Galones/min</b>	30-300
<b>Litros/min</b>	113 - 1136
<b>Pulsos/galón</b>	330
<b>Pulsos/litro</b>	87
<b>Peso (Kg)</b>	2,7
<b>Dimensión</b>	2" x 2"
<b>Conexión</b>	Macho NTP

Fuente: (Rockwind, 2018)

Elaboración propia

### **2.5.3 Controlador Lógico Programable**

De acuerdo a la necesidad del sistema de calibración y con la tecnología existente se ha tomado la decisión de utilizar un controlador S7-1200 de la marca SIEMENS, por cumplir con los requerimientos necesarios del proyecto, por ser accesible

económicamente, además de tener los bloques funcionales de control PID interno y porque se encuentra disponible de manera inmediata en el mercado local.



**Figura 2.10 CPU S7-1200 1212C**

Fuente: (Catálogo siemens, 2019)

**Tabla 8 características técnicas S7-1200 1212C**

Marca	Siemens
Modelo	S7-1200
Configuraciones por CPU	DC/DC/DC, AC/DC/RLY, DC/DC/RLY
Dimensiones	90x100x75
Entradas/salidas digitales	8 entradas/6 salidas
Entradas analógicas	2 entradas
Tamaño de imagen de proceso	1024 bytes por entradas/1024 bytes por salidas
Memoria de trabajo	25 KB
Memoria de carga	1 MB

Fuente: (Catalogo siemens, 2019)

Elaboración propia

## 2.5.4 Variador de frecuencia



Figura 2.11 Variador de frecuencia Sinamics V20

Tabla 9 Especificaciones técnicas del variador de frecuencia

Marca	Siemens
Modelo	Sinamics V20
Rango de tensión	200V a 240 V AC 47 Hz a 63 Hz
Categoría de sobretensión	Categoría III
Corriente de sobrecarga	Potencia nominal 0,12kW a 15kW 150% nominal durante 60 segundos
Temperatura	-10° C a 40° C
Clase de protección	IP 20
Nivel de humedad máxima	95% ( sin condensación)
Altitud de funcionamiento	Hasta 4000m SNM

Fuente: (Catálogo siemens, 2019)

Elaboración propia

## 2.5.5 Interfaz Hombre-Maquina

Para realizar un control eficiente del sistema de calibración se decidió utilizar una HMI KTP-400 de la marca SIEMENS con el fin de lograr una interfaz de comunicación con el SIMATIC S7 1200, su conexión con el CPU la realiza a través de la interfaz profinet/industrial Ethernet con puerto RJ-45 y su programación es mediante el software TIA PORTAL.



**Figura 2.12 HMI SIMATIC KTP-400**

En esta HMI necesitamos observar:

- Set point del caudal deseado
- Caudal de trabajo
- Caudal estimado por boquilla

Valores a ingresar por pantalla:

- Velocidad de pulverización
- Dosis de pulverización
- Ancho de pase
- Control de velocidad de la electrobomba
- Encendido y apagado de la electrobomba

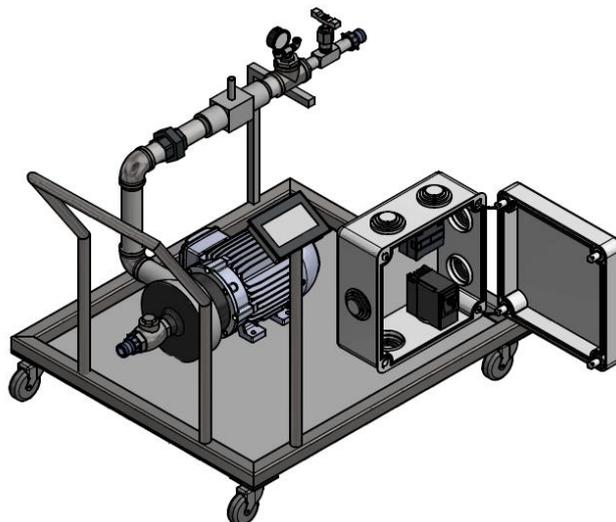
## 2.6 Diseño de Hardware

A partir de los resultados obtenidos mediante las matrices morfológicas, los componentes del sistema de calibración son:

- Electrobomba centrífuga
- Variador de frecuencia
- Controlador Lógico Programable
- Interfaz Hombre Maquina
- Caudalímetro
- Válvula tipo Globo
- Manómetro de presión
- Filtro
- Válvula check

### 2.6.1 Estructura

La estructura debe estar fabricada para colocar todos los elementos del sistema de calibración y se puedan transportar fácilmente de un lugar a otro tal como indica la figura 2.13. el diseño de construcción se puede ver en el apéndice C.



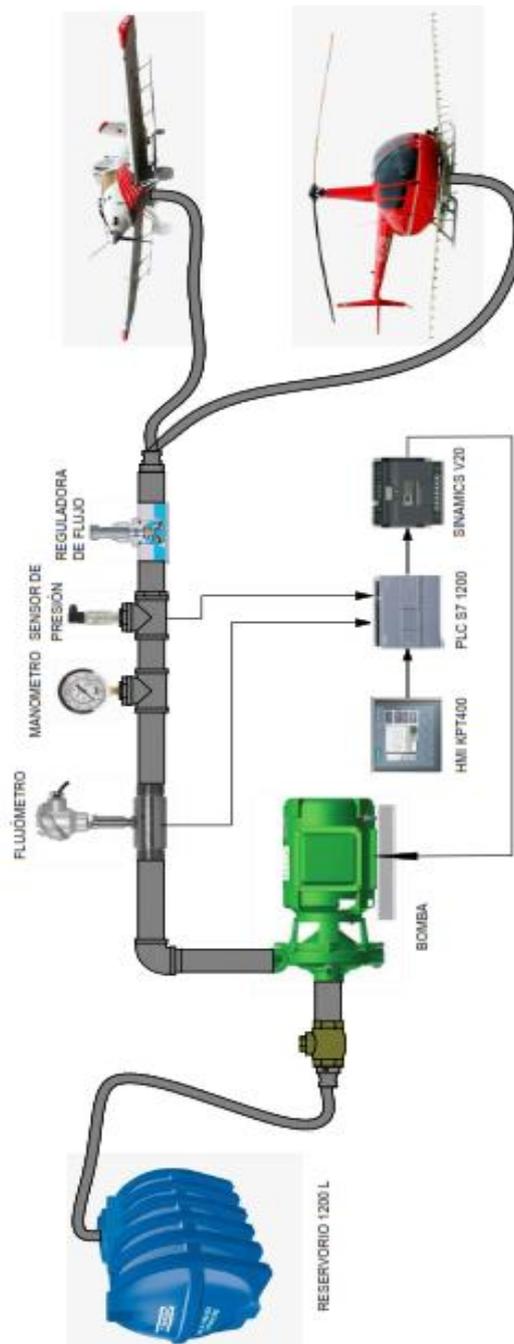
**Figura 2.13 Estructura del sistema de calibración**

Fuente: Encalada, Hinostroza, 2019.

Elaboración propia.

## 2.6.2 Esquema de conexiones

Previo al diseño del software se muestra en la figura 2.14 un esquema de interconexiones del sistema de calibración.



**Figura 2.14 Interconexión de los equipos del sistema de calibración**

Fuente: Encalada, Hinostroza, 2019

Elaboración propia.

## 2.7 Diseño de Software y configuración de controladores

Una vez realizadas todas las conexiones de los equipos de Hardware se procedió al diseño del software que se basa en la programación y configuración de los dispositivos: PLC, HMI, Variador de frecuencia y acondicionamiento de señal para el caudalímetro.

### 2.7.1 Configuración del Variador sinamics V20

Según los datos obtenidos en los cálculos para la potencia de la electrobomba de 3HP, también se eligió un variador sinamics V20 de la misma potencia 3HP. Este variador se alimenta con una tensión monofásica de 220v y entrega una tensión trifásica para conectar directamente a la electrobomba que debe estar configurada en delta para tensiones bajas.



Figura 2.15 Configuración de borneras de la electrobomba

### 2.7.1.1 Configuración de parámetros del variador de frecuencia

Previamente realizadas las conexiones de la electrobomba y el variador se procedió a la configuración de los parámetros del Sinamics V20, en donde se colocan todas las características que indica la placa de la electrobomba tal como indica la figura 2.16.

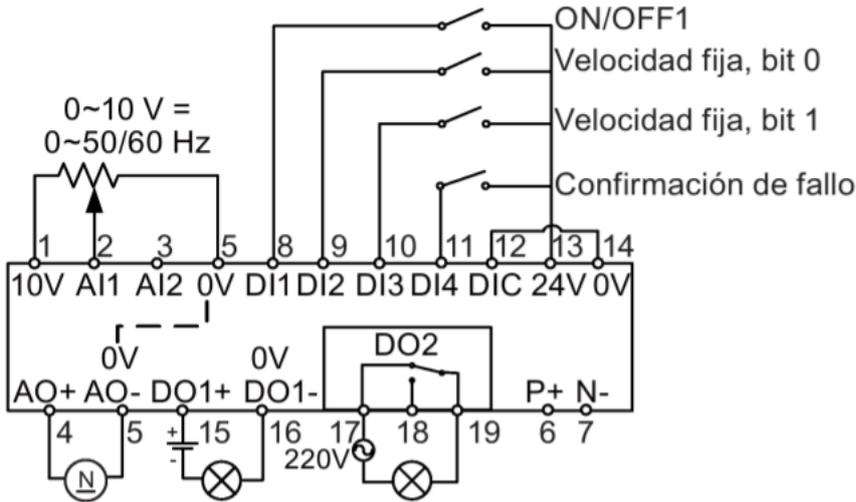
EBARA		MADE IN ITALY	
TYPE 30/32-125/2.26		03.2018 10UXUM	
Q 6-24	m <sup>3</sup> /h	H 32.5-18	m H,max 32.7 m
V3 ~ 220		Δ / 380-460	Y H min 18 m
IE2 86.2 %	I2 220 7.5 A	P12.48 kW	Hz 60 min <sup>-1</sup> 3480
IE2 86.2 %	I3 1380 4.3 A	P22.2 kW	Phase 3 Tmax liquid 90°C
IE3 87.4 %	I4 1460 4.1 A	HP 3.0	IP55
Ins.C.F S1	kg 31	P/N° 25401000161	

Figura 2.16 Datos de placa de la electrobomba

Tabla 10 Parámetros ingresados en el variador de frecuencia

Parámetro	Descripción	Dato ingresado
P0010	Parámetro de puesta en marcha	1
P0100	Europa (50Hz) / Norte América (60 Hz)	1
P0304	Voltaje nominal del motor	220
P0305	Corriente nominal del motor	7.5
P0307	Potencia nominal del motor en HP	3
P0309	Eficiencia nominal del motor	0.85
P0310	Frecuencia nominal de operación	60
P0311	Velocidad nominal del motor en rpm	3480
P1000	Selección del set point de frecuencia	2
P3900	Terminar y poner en marcha	3

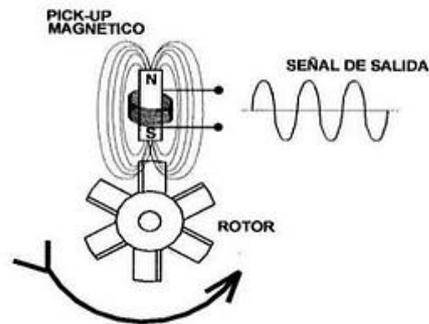
Luego de configurar todos los parámetros de la electrobomba se procede a realizar las conexiones que indica el fabricante para controlar el variador mediante una señal analógica de 0-10v como indica la figura 2.17.



**Figura 2.17 Configuración de borneras para control mediante señal analógica**

**2.7.2 Convertidor de frecuencia a voltaje**

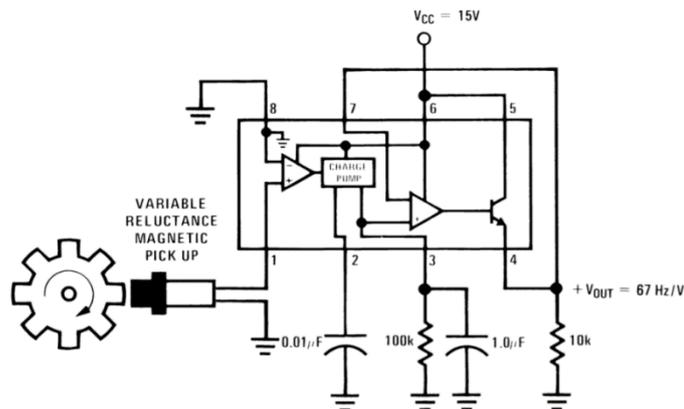
El Caudalímetro tipo turbina utilizado en el sistema de calibración trabaja conjuntamente con un pick up magnético de reluctancia variable. Este sensor internamente trae un imán permanente montado en una bobina captadora, el paso de cada alabe de la turbina como indica la figura 2.17 varia la reluctancia del circuito magnético y por ende esta variación cambia el flujo magnético inducido en la bobina captadora produciéndose una corriente alterna proporcional a la velocidad de la turbina de flujo.



**Figura 2.18 Funcionamiento del Pick-up magnético de reluctancia variable**

Fuente: Universidad de Carabobo, 2017

Para lograr captar la señal del pick-up magnético se utilizó el circuito integrado convertidor de frecuencia a voltaje LM2907 con la configuración tal como indica el fabricante Texas Instruments:



**Figura 2.19 Circuito convertidor de frecuencia a voltaje**

Fuente: Texas Instruments, 2016

### 2.7.3 Desarrollo del Software

La programación del proceso se la realizo con la ayuda del software TIA PORTAL step 7 de Siemens que permite configurar todos los procesos realizados por el controlador s7 1200, en la programación se utilizó diagramas de bloques y lenguaje escalera. TIA PORTAL también permite la creación de pantallas HMI (Interfaz Hombre-Máquina) para la interacción con el usuario.

El sistema de calibración cuenta con dos modos de uso: automático y manual.

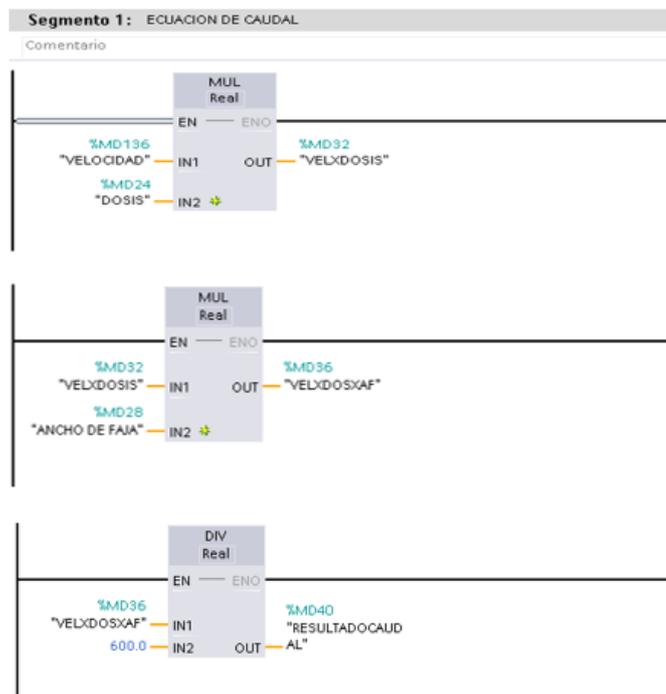
En el modo automático el usuario debe ingresar todos los parámetros que utiliza la aeronave para la pulverización:

- Velocidad promedio
- Dosis de aplicación
- Ancho de pase

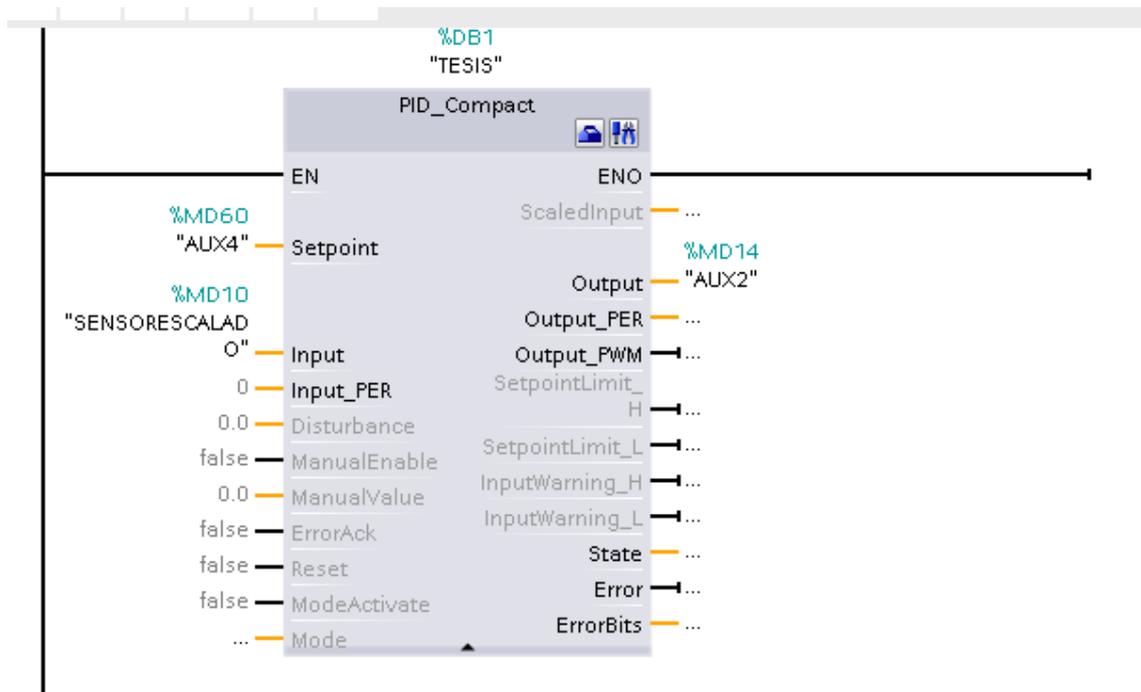
Con los datos ingresados por el usuario, automáticamente el controlador calcula el caudal mediante la siguiente ecuación 2.2:

$$Q = \frac{\text{velocidad}[\frac{Km}{h}] \times \text{dosis aplicada}[\frac{L}{min}] \times \text{ancho de pase}[m]}{600} \quad (2.2)$$

Traduciendo esta ecuación a diagramas de bloques tenemos:



Una vez obtenido el dato de caudal se procede a realizar la programación del bloque funcional PID, como indica el siguiente segmento de programación:



Para la señal del setpoint se normalizo y escalo la señal que se ingresa mediante el HMI, con un mínimo de 0 litros/min y un máximo de 220 litros/min.



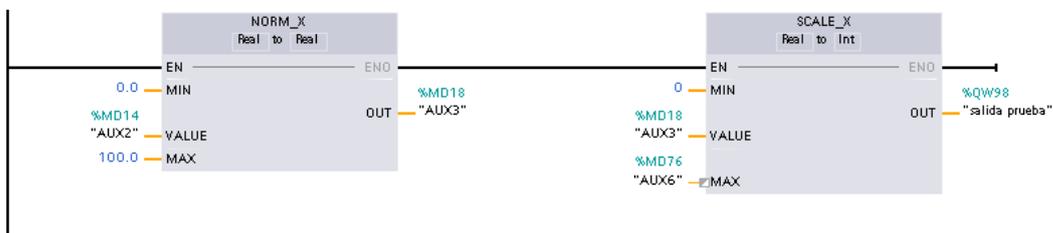
Para la entrada del PID se normalizo y escalo la señal del sensor de caudal porque input del PID solo acepta valores reales entre 0 y 100.



La salida del bloque PID es un número real entre 0 y 100, donde 100 indica que el PID logro estabilizarse en el setpoint de entrada. Para el caso del variador se acondicionó la señal de salida del bloque PID de tal manera que cuando sea 100 se envía un valor de voltaje equivalente al setpoint de entrada a través de la salida analógica hacia el variador tal como indican el segmento de programación 4.

**Segmento 4:** .....

Comentario



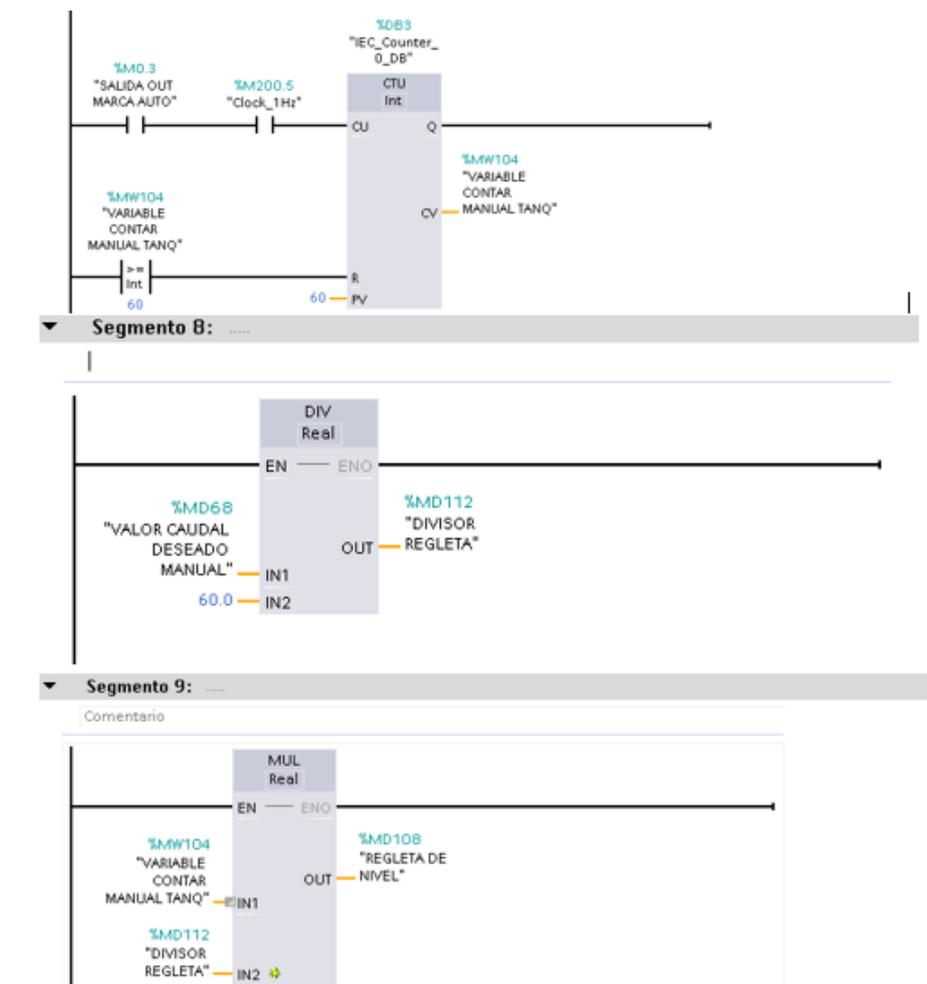
## Caudal modo manual.

Para hacer el uso directamente de la electrobomba, sin tener un control automático de caudal mediante el bloque PID, se realizó un modo manual, donde se introduce directamente un caudal deseado mediante el uso del HMI. El siguiente bloque de programa, mueve, normaliza y escala el dato del caudal previamente seleccionado, obteniendo como salida un voltaje a 0 a 10 v a través de la salida analógica QW96 que va conectada al variador de frecuencia.



## Animación de caudal

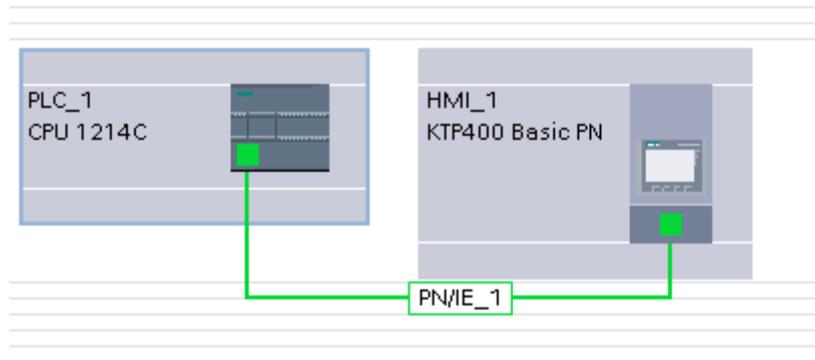
Se agregó una animación de llenado de un tanque que se llena completamente en 1 minuto cuando se selecciona un caudal de 220 litros/minuto.



### 2.7.4 Interfaz gráfica de usuario

Con respecto a la visualización, se utilizó un HMI SIMATIC Basic Panel en su serie KTP400 Basic versión 14.0.1.0.

La conexión realizada entre el SIMATIC S7 1200 y el HMI se lo realizó mediante un puerto PROFINET, como indica la figura

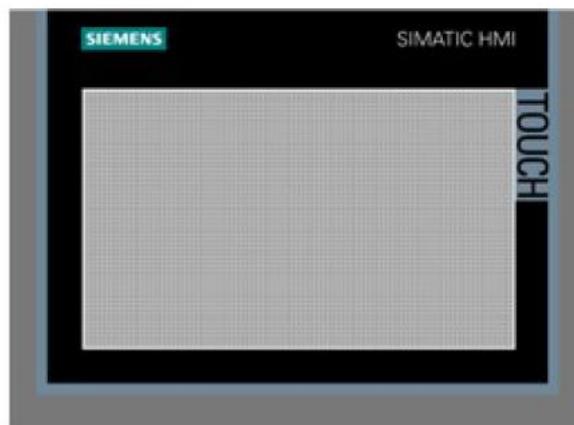


**Figura 2.20 conexión profinet**

Fuente: Encalada, Hinostroza, 2019.

Elaboración propia.

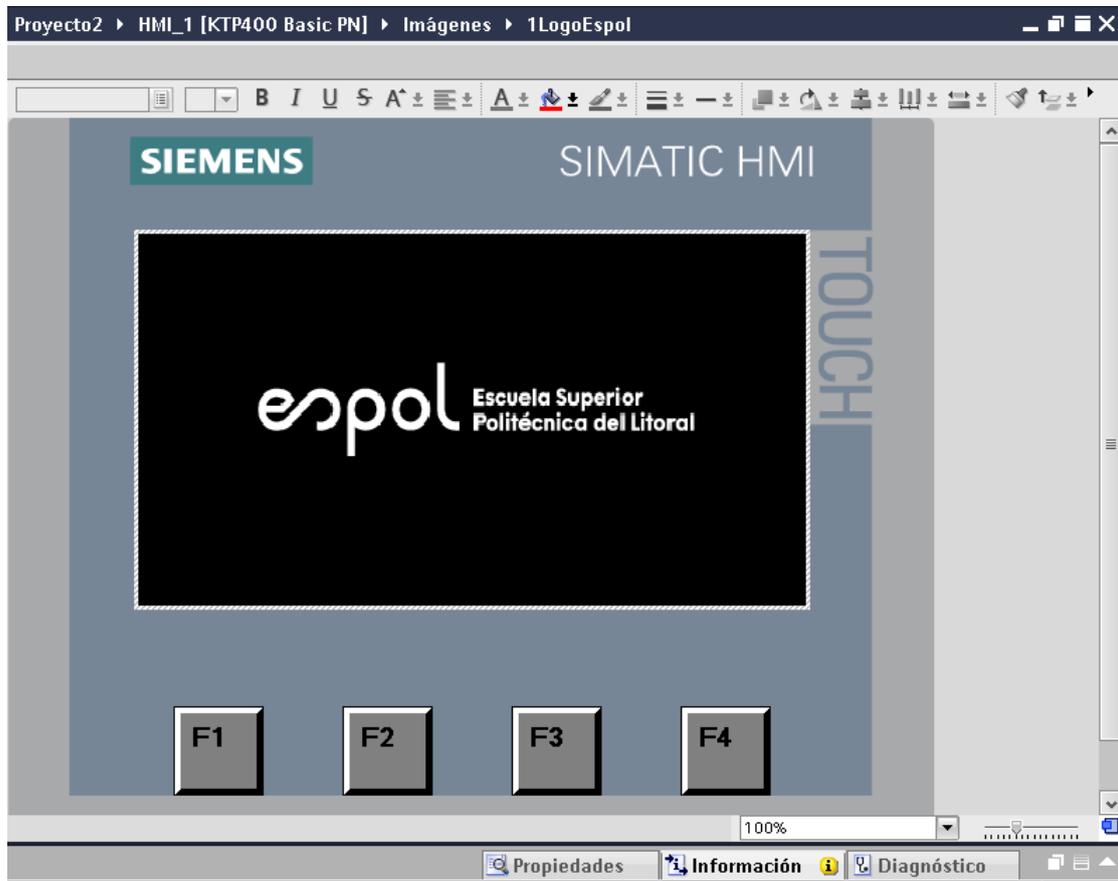
#### **2.7.4.1 Pantallas de trabajo**



**Figura 2.21 Pantalla principal de la interfaz**

La figura 2.21 muestra la interfaz principal, que se usó para crear las diferentes pantallas de la HMI para el sistema de calibración de equipos de pulverización.

## Pantalla Inicial

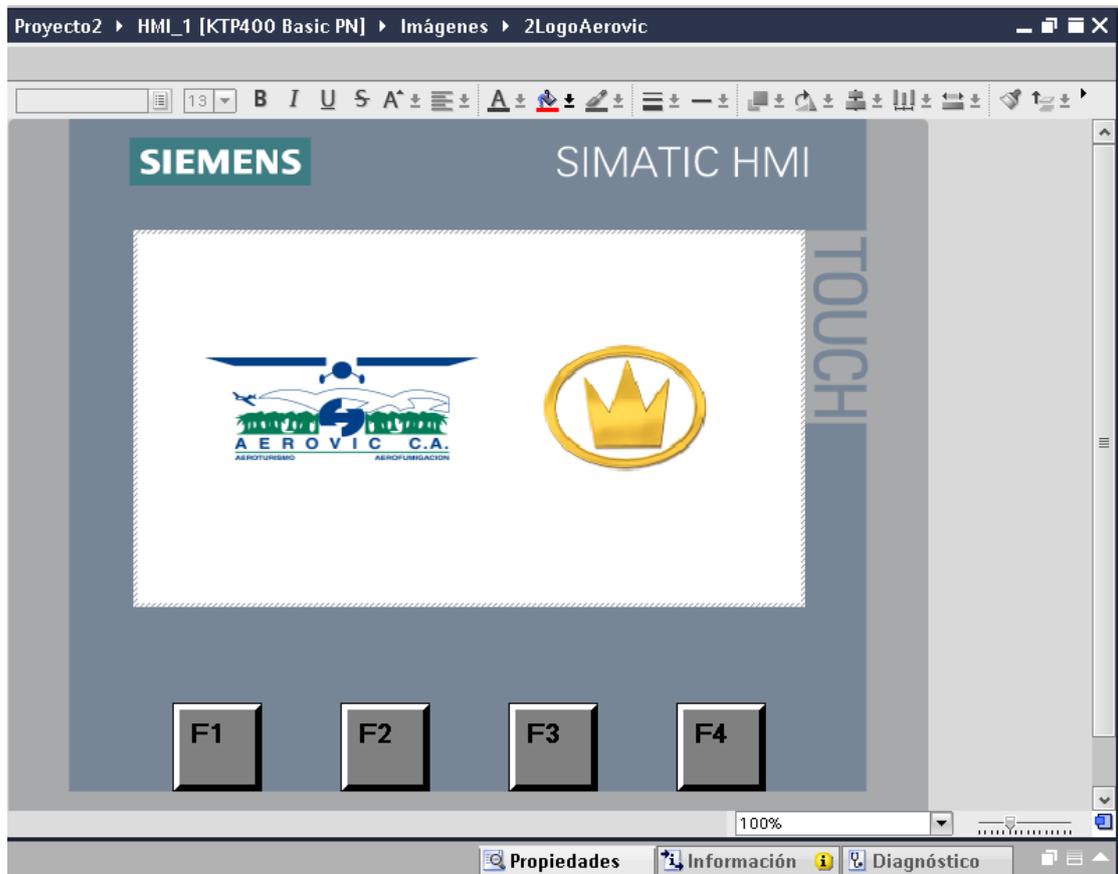


**Figura 2.22 pantalla inicial**

Fuente: Encalada, Hinostroza, 2019

Elaboración propia

En la figura2.21 la pantalla inicial muestra el logo de Espol.



**Figura 2.23 Logo Aerovic**

Fuente: Encalada, Hinostroza, 2019

Elaboración propia

La figura 2.22 muestra en la pantalla HMI el logo de la empresa Aerovic.

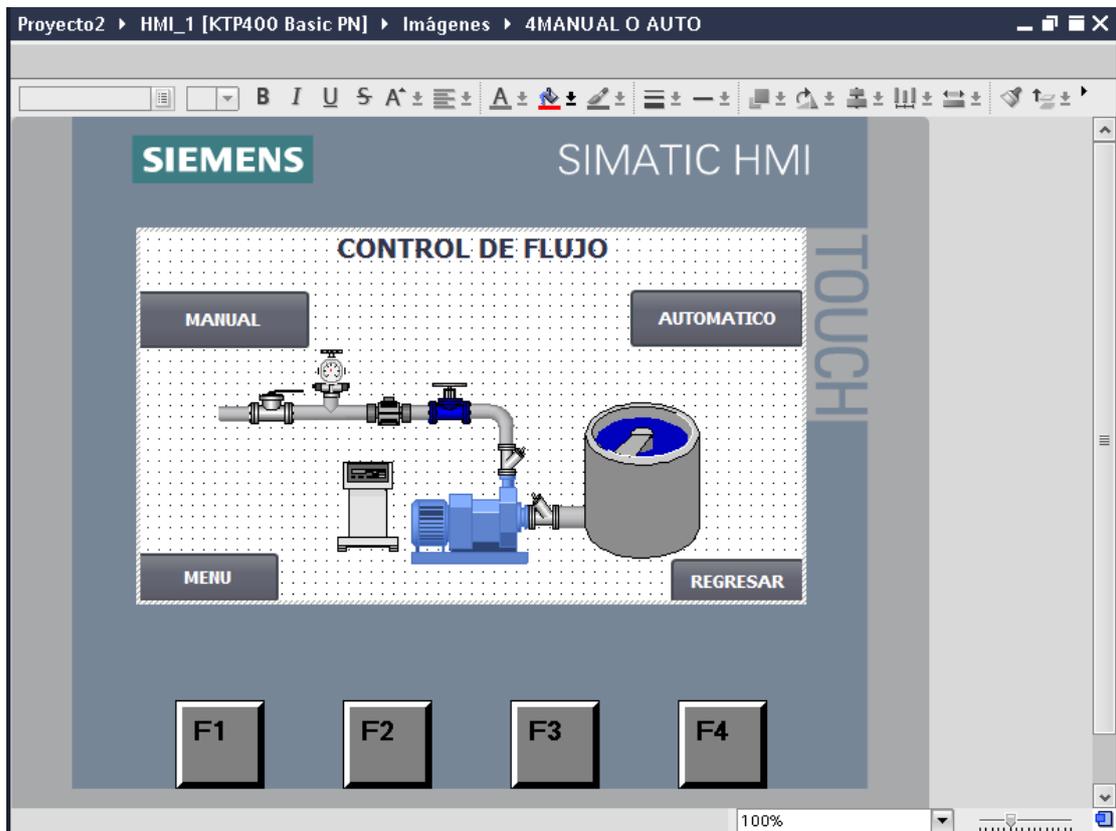


**Figura 2.24 Selección de aeronave**

Fuente: Encalada, Hinostroza

Elaboración propia

La figura 2.23 muestra la pantalla HMI para la selección de aeronave, en este segmento se podrá elegir entre el avión Turbo Thrush y el helicóptero Robinson R44 para la calibración de los equipos SATLOC G4.

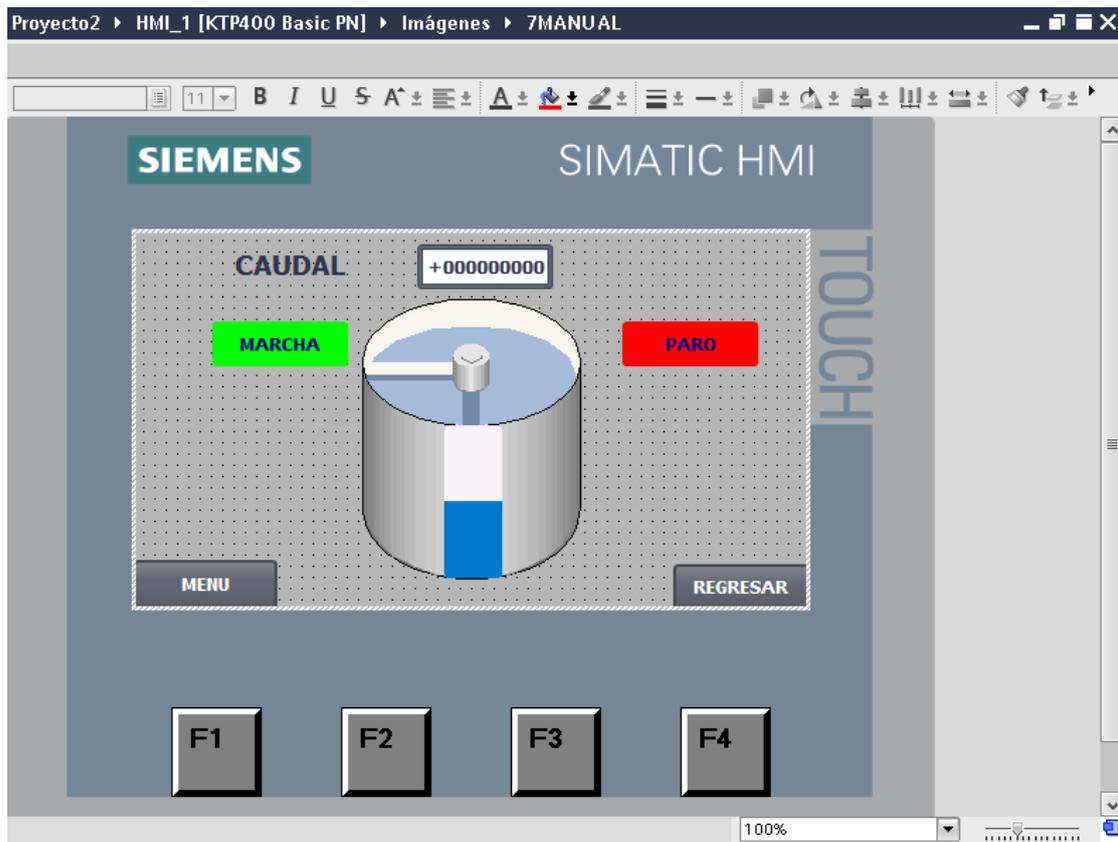


**Figura 2.25 selección manual o automático**

Fuente: Encalada, Hinostroza

Elaboración propia.

La figura 2.24 muestra la pantalla HMI para la selección del control flujo, este podrá ser de modo manual o automático correspondiente para la calibración de equipos.

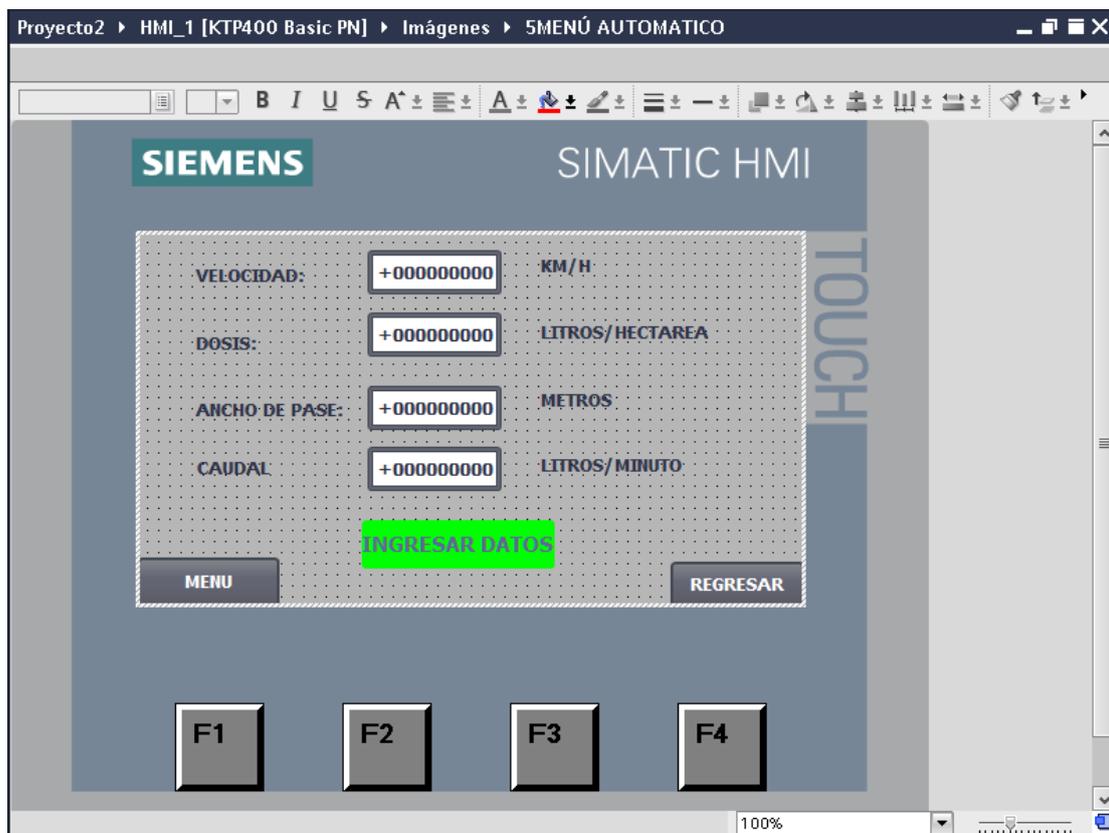


**Figura 2.26 Ingreso de caudal modo manual**

Fuente: Encalada, Hinostroza, 2019

Elaboración propia

la figura 2.26 muestra la pantalla HMI en modo manual, una vez presionado el botón marcha, se podrá obtener el caudal colocado previamente.



**Figura 2.27 Ingreso de variables para control de caudal automático**

Fuente: Encalada, Hinostroza, 2019

Elaboración propia.

La figura 2.26 muestra la pantalla HMI para el proceso en modo automático, donde el usuario deberá colocar los valores de cada una de las variables para que automáticamente se calcule el caudal.

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos durante la construcción del proyecto que cumple con los criterios y requerimientos necesarios para el correcto funcionamiento del sistema de calibración. Por lo tanto, el primer paso fue la construcción de la estructura que soporta todos los elementos del sistema; luego se realizó la implementación de la parte hidráulica que comprende: tuberías, sensores, electrobomba, manómetro, llave de control de flujo. Finalmente se culminó con todas las conexiones eléctricas, configuración de controladores y programación del sistema de control que comprende: PLC, HMI, Variador de frecuencia, módulos analógicos y convertidor de frecuencia a voltaje.

Adicionalmente se realizó un análisis de costos de fabricación, materia prima y elementos extras que fueron necesarios para elaborar el sistema de calibración.



**Figura 3.1 sistema de calibración**

Fuente: Encalada, Hinostroza, 2019

Elaboración propia



**Figura 3.2 Panel de control**

Fuente: Encalada, Hinostroza, 2019

Elaboración propia

### **3.1 Resumen de resultados**

Se realizó el diseño de la estructura que soporta todos los elementos del sistema. Las dimensiones son: 0.9x0.6x0.15 m; valores que fueron determinados de manera que todos los quipos del sistema de calibración se coloquen correctamente. El diseño de construcción se puede observar en el apéndice C.

En la instalación del sensor de flujo como recomendación, el fabricante advierte que tiene que estar instalado en un tramo recto de al menos 10 diámetros después de cualquier válvula, unión o bifurcación para que el flujo de agua sea lo menos turbulento posible al momento de pasar por el sensor de caudal y así adquirir una medición aceptable.

En este punto también se presenta los resultados obtenidos del convertidor de frecuencia a voltaje.

**Tabla 11 frecuencia del pick up magnético VS voltaje del convertidor**

frecuencia	Voltaje
71.756 Hz	10.01 v
71.182 Hz	9.93 v
66.666 Hz	9.3 v
61.29 Hz	8.55 v
56.200 Hz	7.84 v
51.182 Hz	7.14 v
46.236 Hz	6.45 v
40.143 Hz	5.6 v
32.974 Hz	4.6 v
11.612 Hz	1.62 v

Fuente: Encalada, Hinostroza, 2019

Elaboración propia

De la misma manera, se presentan los datos obtenidos de la frecuencia del variador con respecto al flujo de salida del sistema de calibración.

**Tabla 12 frecuencia del variador VS caudal de salida**

15 Hz	55 Litros/minuto
19.97 Hz	73.77 Litros/minuto
24.98 Hz	91.66 Litros/minuto
30 Hz	110 Litros/minuto
35.02 Hz	128.33 Litros/minuto
40.02 Hz	146.66 Litros/minuto
45.03 Hz	165 Litros/minuto
50.04 Hz	183.33 Litros/minuto
55 Hz	201.66 Litros/minuto
60 Hz	220 Litros/minuto

Fuente: Encalada, Hinostroza

Elaboración propia

Se destaca también el caudal de salida con relación al voltaje que entrega el convertidor LM2907.

**Tabla 13 Caudal de salida vs voltaje del convertidor**

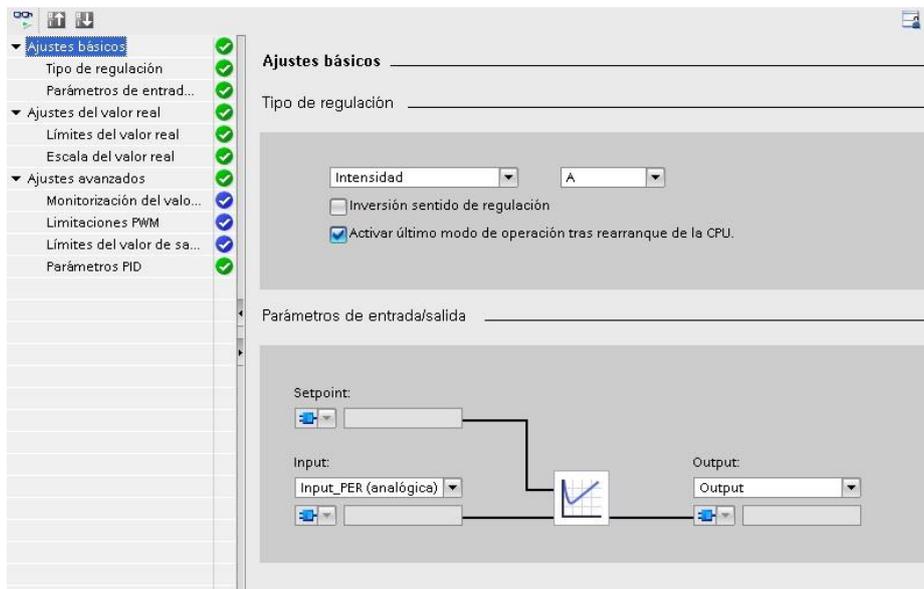
Caudal	voltaje
220	10.01
201.667	9.93
183.33	9.3
165	8.55
146.667	7.84
128.333	7.14
110	6.45
91.666	5.6
73.33	4.6
55	1.62

Fuente: Encalada, Hinostriza, 2019

Elaboración propia

### **3.1.1 Ajuste de parámetros del controlador PID**

En los ajustes básico se pueden asignar las variables utilizadas en el proyecto y también se puede configurar el tipo de variable que se está manipulando como puede ser: volumen, caudal, presión, intensidad.

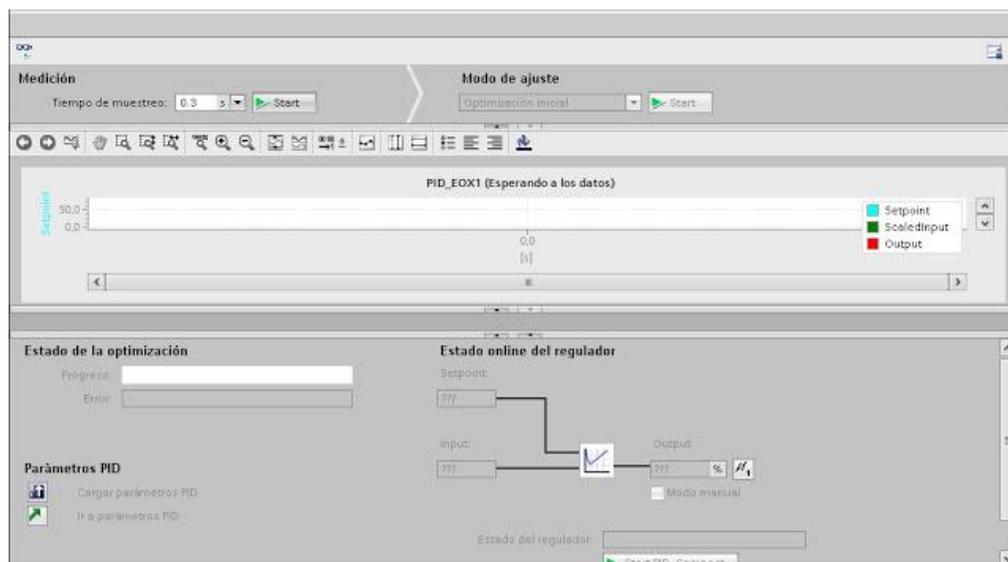


**Figura 3.3 Pantalla de ajustes básico del bloque PID**

Fuente: Encalada, Hinostroza, 2019

Elaboración propia.

Luego de realizar los ajustes básicos, se carga el programa al controlador s7 1200 y accedemos a la opción “puesta en servicio” y nos aparecerá una pantalla como indica la figura 3.4.



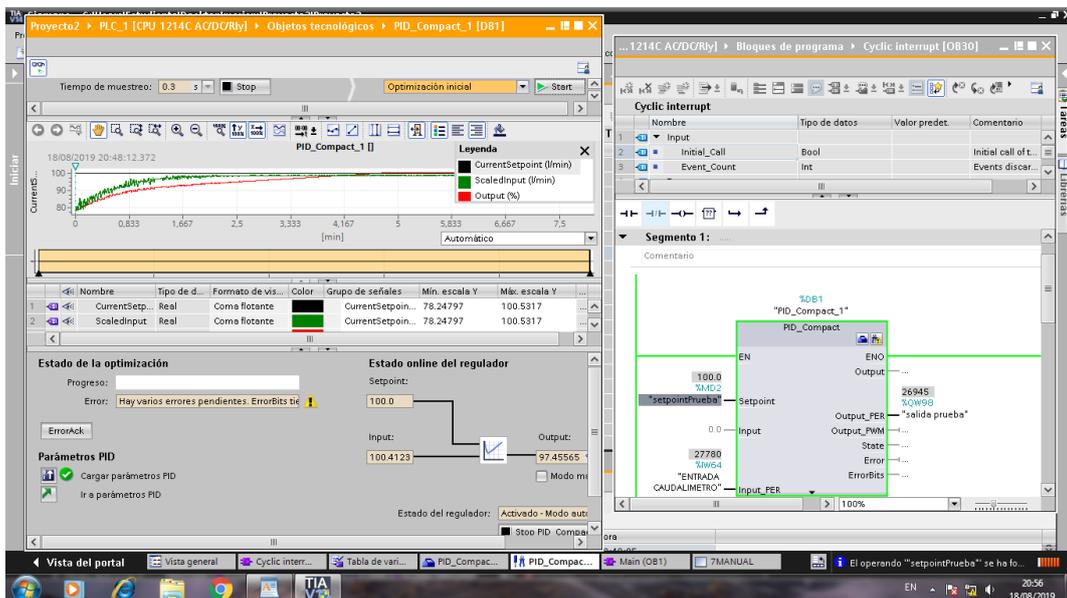
**Figura 3.4 pantalla Off line de puesta en servicio**

Fuente: Encalada, Hinostroza, 2019

Elaboración propia

Se activó en modo online al programa para interactuar con la pantalla de puesta en servicio en donde se puede observar el comportamiento del control PID, y se procedió a realizar los ajustes automáticos de optimización al oprimir el botón START.

Una vez ajustados todos los parámetros del sistema se procedió a cargar al PLC los parámetros oprimiendo el icono .

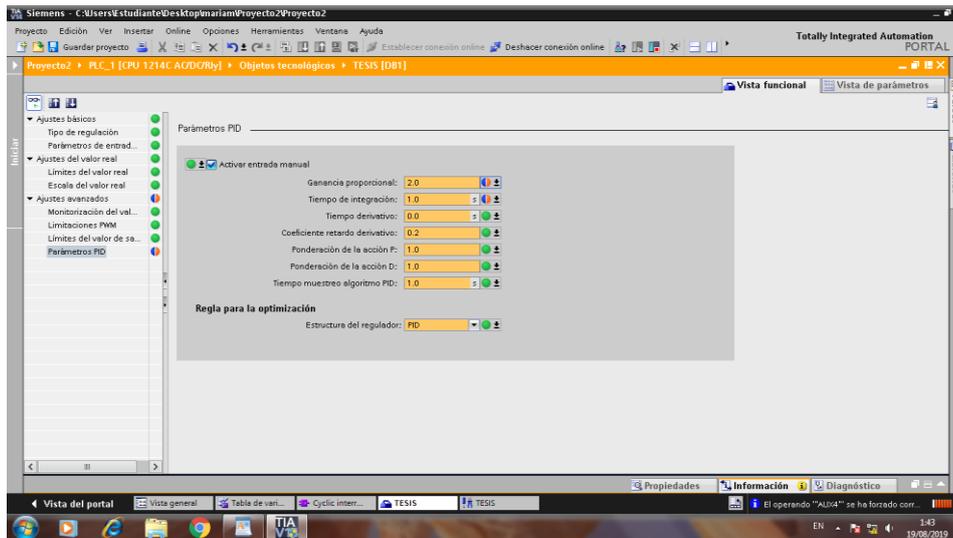


**Figura 3.5 Pantalla Online para optimización de ajuste del bloque PID**

Fuente: Encalada, Hinostroza, 2019

Elaboración propia

Una vez realizadas las parametrizaciones, se obtiene una ventana como muestra la figura 3.6 en donde se observan todas las constantes que se configuraron automáticamente. A criterio se las puede cambiar para mejorar el tiempo de estabilización.



**Figura 3.6 Parámetros del controlador PID**

Fuente: Encalada, Hinostroza, 2019

Elaboración propia

### 3.1.2 Pruebas en helicóptero Robinson R44

Se acopló el sistema de calibración al helicóptero Robinson R44 para calibrar la turbina de flujo, además se logró hacer uso del simulador y se comprobó en tierra que todos los equipos se encontraban operativos.



**Figura 3.7 Sistema de calibración en helicóptero Robinson R44**

Fuente: Encalada, Hinostroza, 2019

Elaboración propia

En la figura 3.8 se observa el rayado que ocurre cuando se activa el interruptor de presión de la barra pulverizadora.

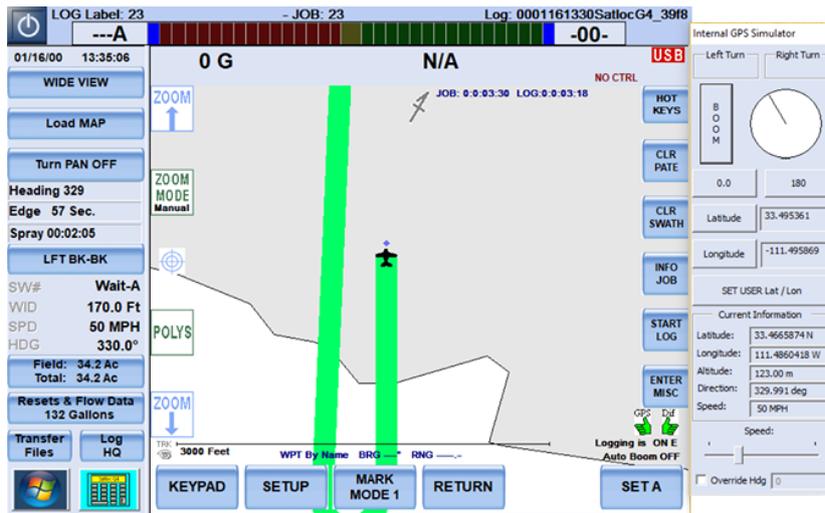


Figura 3.8 Simulador G4 operando en tierra

Fuente: Encalada, Hinostroza, 2019

Elaboración propia



Figura 3.9 Pantalla de calibración de turbina de flujo

Fuente: Encalada, Hinostroza, 2019

Elaboración propia

### 3.2 Análisis de costos

SISTEMA	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO CATÁLOGO
<b>ELÉCTRICO</b>	1	PLC S7-1200 CPU 1212C AC/DC RELE MARCA SIEMENS	\$507,00
	1	VARIADOR DE FRECUENCIA SINAMICS V20 3HP 220V MARCA SIEMENS	\$613,00
	1	SIMATIC HMI KTP400 A COLOR MARCA SIEMENS	\$750,00
	1	FUENTE SITOP PS307 ENTRADA 120/230 VAC; SALIDA 24 VDC 5 A, MARCA SIEMENS	\$342,00
	1	SIGNAL BOARD 1AO, MARCA SIEMENS	\$211,00
	1	SENSOR DE PRESIÓN NPT DE 1/2 DE 0-100 PSI	\$363,00
	1	FLUJOMETRO TIPO TURBINA, 1 1/2" MARCA BLANCETT	\$1350,00
	1	CONVERTIDOR DE FRECUENCIA A CORRIENTE, ALIMENTACIÓN 10- 30VDC. SALIDA 4-	\$850,00

	20mA, MARCA BADGERMETER	
1	CABLE ENSAMBLADO 15FT PARA CONVERTIDOR FRECUENCIA- CORRIENTE, 5 PINES, MARCA BADGERMETER	\$225,00
1	GABINETE METÁLICO 60X50X20 CM BOX	\$65,00
2	BREAKER INT 2P 6 AMP 5SL P RIEL, MARCA SIEMENS	\$30,00
1	BREAKER INT 3P 16 AMP 5SL P/RIEL, MARCA SIEMENS	\$20,00
2	BORNE DE PASO REF: 8WA1011-ODG21, MARCA SIEMENS	\$13,00
5	BORNERA REF: 8WA1011- 1DG11 MARCA SIEMENS	\$6,00
2	CANALETA RANURADA GRIS 40X60MM	\$15,00
2	RIEL CHANNEL 60CMX1.5MM	\$5,00

**HIDRÁULICO**

2	RIEL CHANNEL 60CMX1.5M	\$5,00
1	LUZ PILOTO LED 22MM CSC VERDE 110V	\$2,00
1	SELECTOR ILUMINABLE 3 POSICIONES, 2A	\$15,00
2	BORNERA 1P 10-18A	\$5,00
1	BOMBA ELECTRICA DE ALTA PRESION 3HP TRIFASICA 220/440 MARCA BARNES MODELO HE1.5 30-1 CE	\$582,90
1	MANOMETRO 0-100 PSI	\$50
2	CODO DE 1" 1/2 X 1" 1/2	\$ 6
1	VALVULA ANTIRRETORNO 1" 1/2 X 1" 1/2	\$ 35
2	ACOPLE CAMLOK TIPO F ROSCABLE HEMBRA 1" 1/2	\$50
2	ACOPLE CAMLOK TIPO F ROSCA EXTERNA MACHO 1" 1/2	\$50

		FILTRO PARA TUBERIA 1"	
	1	½	\$25
		TE 1" ½X 1" ½X 1"	
	1	½ROSCA INTERNA	\$10
		VALVULA DE CONTROL DE	
	1	FLUJO TIPO GLOBO 1" ½	\$300
<b>ESTRUCTURA</b>	1	CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURA MÓVIL	\$200,00
<b>SUBTOTAL:</b>			\$6700,00
<b>IVA(+)</b> 12%:			\$804,00
<b>TOTAL:</b>			\$7504,00

# CAPÍTULO 4

## 4. DISCUSION Y CONCLUSIONES

El proceso de Diseño y construcción siempre conlleva a errores y aciertos, pero se busca la manera constante de aplicar mejoras con el fin de obtener una solución adecuada.

El presente trabajo busca implementar un nuevo sistema de calibración para las aeronaves que utilizan equipos de pulverización inteligentes, en donde la calibración de los equipos es una característica crítica para la óptima pulverización de fitosanitario en las plantaciones de cultivos. Reemplazando el método tradicional de calibración manual, en donde las calibraciones duran alrededor de cuarenta minutos por cada avión reduciendo de esta los costos por las malas calibraciones, también evitando la depreciación de la aeronave por realizar vuelos de prueba.

### 4.1 Conclusiones

El presente proyecto fue desarrollado con el propósito de realizar la calibración en tierra de los equipos de pulverización de los aviones de la compañía AEROVIC por medio de un sistema automatizado. Para cumplir con este objetivo general, mediante una exhaustiva investigación y pruebas de flujo, se determinó que:

Se logró implementar un diseño automatizado que permitió generar los caudales de operación necesarios para la calibración de cada aeronave y verificar el correcto funcionamiento de los equipos de pulverización.

Se logró comprobar el funcionamiento en tierra de los equipos de pulverización mediante el sistema de calibración y el uso del simulador que incluye el sistema Satloc G4, evitando realizar vuelos de prueba.

Se lograron disminuir los tiempos de calibración que se hacían manualmente en 40 a solamente 5 minutos.

La implementación del proyecto mejora el proceso en un 65% puesto que, no es necesario realizar vuelos de pruebas, dado que el sistema permite obtener un caudal de forma automática utilizando los datos de los registros de trabajo de las aeronaves.

El costo total de la fabricación del sistema es de \$7504,00 considerando los precios de todos sus elementos en el mercado local.

## **4.2 Recomendaciones**

Dada la viabilidad y funcionalidad del sistema de calibración, para una futura construcción se recomienda utilizar un caudalímetro tipo turbina que tengo su propio acondicionador de señal incorporado.

Llevar siempre un control de calibraciones de las turbinas de flujo para evitar la subdosificación y la sobredosificación en las plantaciones.

Se sugiere que se sigan mejorando los siguientes aspectos de diseño con el fin de obtener más beneficios a futuro:

Investigar la distribución de caudal de la barra pulverizadora para mostrar mediante el HMI el caudal promedio que sale por cada boquilla cuando se realiza la calibración de flujo.

Antes de usar el sistema de calibración se recomienda leer el manual de usuario.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- Aircraft maintenance manual S2R-T34. (2005). *Thrush Aircraft*. Recuperado el 22 de junio de 2019, de <https://www.thrushaircraft.com/getmedia/e720ead2-f1c3-43a2-8310-c47d93832813/510p-maintenance-manual.pdf.aspx>
- FAO. (2002). *Guías sobre buenas prácticas para la aplicación terrestre de plaguicidas*. Roma. Recuperado el 19 de junio de 2019, de <http://www.fao.org/3/Y2767S/Y2767S00.htm>
- Fillat, A. P. (2010). *Tecnología de aplicación de agroquímicos*. Argentina. Recuperado el 20 de junio de 2019
- Guiado GPS avanzado para aplicaciones aéreas. (2011). *Satloc*. Obtenido de <http://www.satloc.com/Products/SatlocG4.aspx>
- Headquarters Department Of The Army. (1973). *Us Army Technical Manual Tm 5 3740 211 14 Sprayer Insecticide Aircraft Mounted W Agrinautics Model No 30000*. Washintong DC. Recuperado el 25 de junio de 2019, de <https://www.liberatedmanuals.com/TM-5-3740-211-14.pdf>
- R44 Raven Specifications & Dimensions. (2017). *Robinson Helicopter Company*. Recuperado el 24 de junio de 2019, de <https://robinsonheli.com/r44-raven-i/>
- TecFluid. (2018). Catálogo técnico de caudalímetros electromagnéticos. Recuperado el 24 de junio de 2019, de [https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos\\_y\\_documentos/86302/Caudalimetro-electromagnetico-Serie-FLOMID\\_Tecfluid.pdf](https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/86302/Caudalimetro-electromagnetico-Serie-FLOMID_Tecfluid.pdf)

# APÉNDICES

# APÉNDICE A

## MANUAL DE USUARIO

### INTRODUCCIÓN

En este anexo, se detalla paso a paso el uso del sistema implementado para la calibración de los equipos de pulverización Satloc G4 de las aeronaves Turbo Thrush y Robinson R44, así como también partes del diseño.

Para lo anteriormente expuesto, se describirá las funciones en la interfaz hombre máquina, donde se tendrá que elegir la aeronave correspondiente, entre ellas:

- Avión pulverizador Turbo Thrush.
- Helicóptero de pulverización Robinson R44.

Dentro de la selección de las aeronaves previamente descritas, se obtendrá las siguientes funciones:

- Modo Manual, donde el operador tendrá que colocar el valor de caudal requerido.
- Modo Automático, donde se debe ingresar valores de diferentes variables, para que internamente el PLC realice la operación matemática y se obtenga un caudal de referencia de acuerdo a los datos previamente conocidos.

En la HMI, se mostrará cada una de las partes del sistema implementado, para que el usuario pueda diferenciar cada una de ellas.

Por otra parte, además de la creación de las pantallas de servicio, se podrá observar de manera automática como el reservorio inicia su llenado, cuando se coloca el valor de caudal en (litros/minuto).

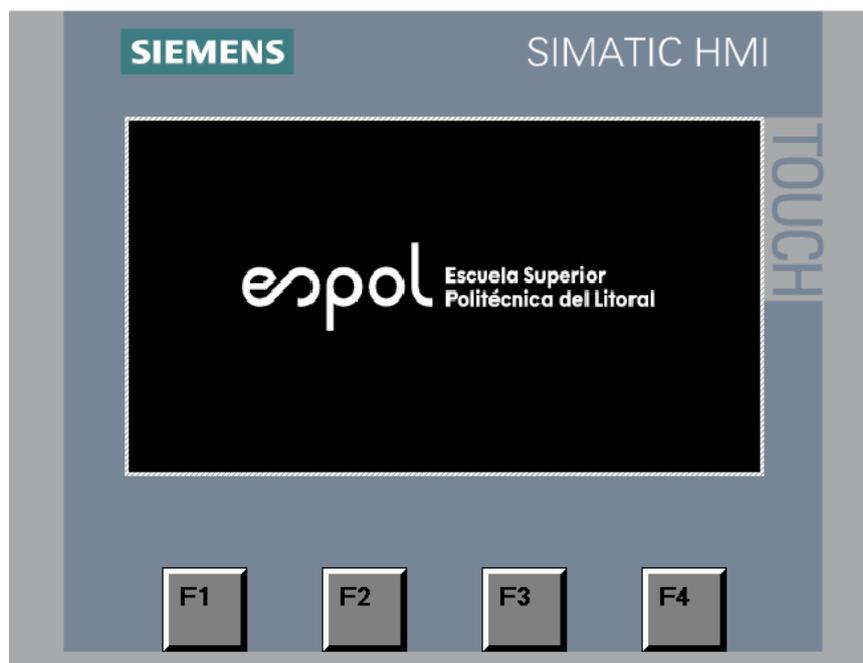
## PASOS A SEGUIR

Antes de empezar con el control del sistema, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Verificar que el panel esté conectado a 120 V.
- Verificar que la alimentación del variador que controla la electrobomba esté conectada a 220V.
- Se debe llenar el circuito de aspiración completo y la carcasa con agua (cebar Bomba).

## PANTALLAS DE INICIO

Al encender el sistema se mostrará las siguientes pantallas de inicio:



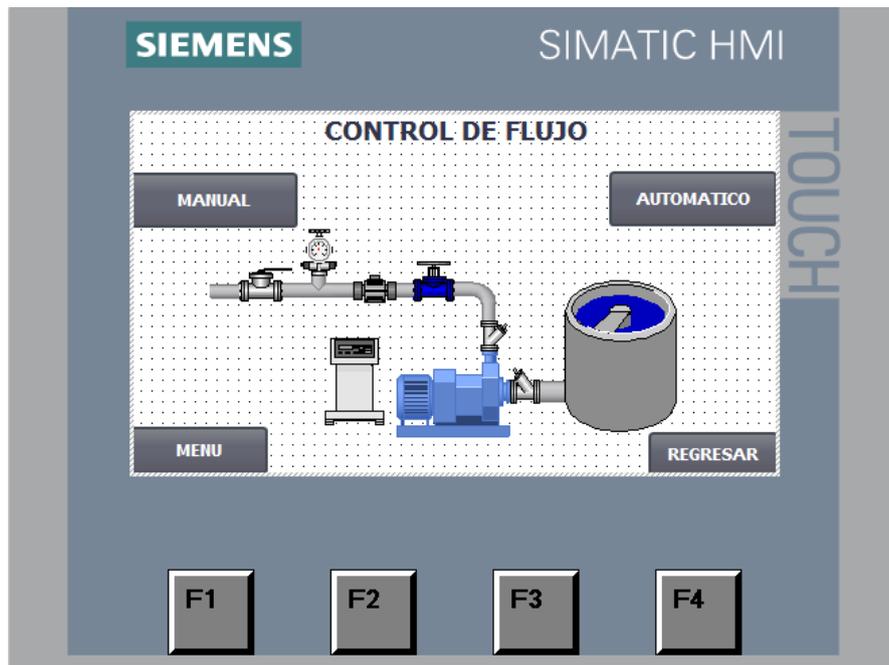
El Operador deberá pulsar el logo ESPOL para seguir a la siguiente imagen donde se presenta el logo de la empresa AEROVIC,



Pulsar en el logo Aerovic para acceder a la pantalla principal del sistema de calibración:

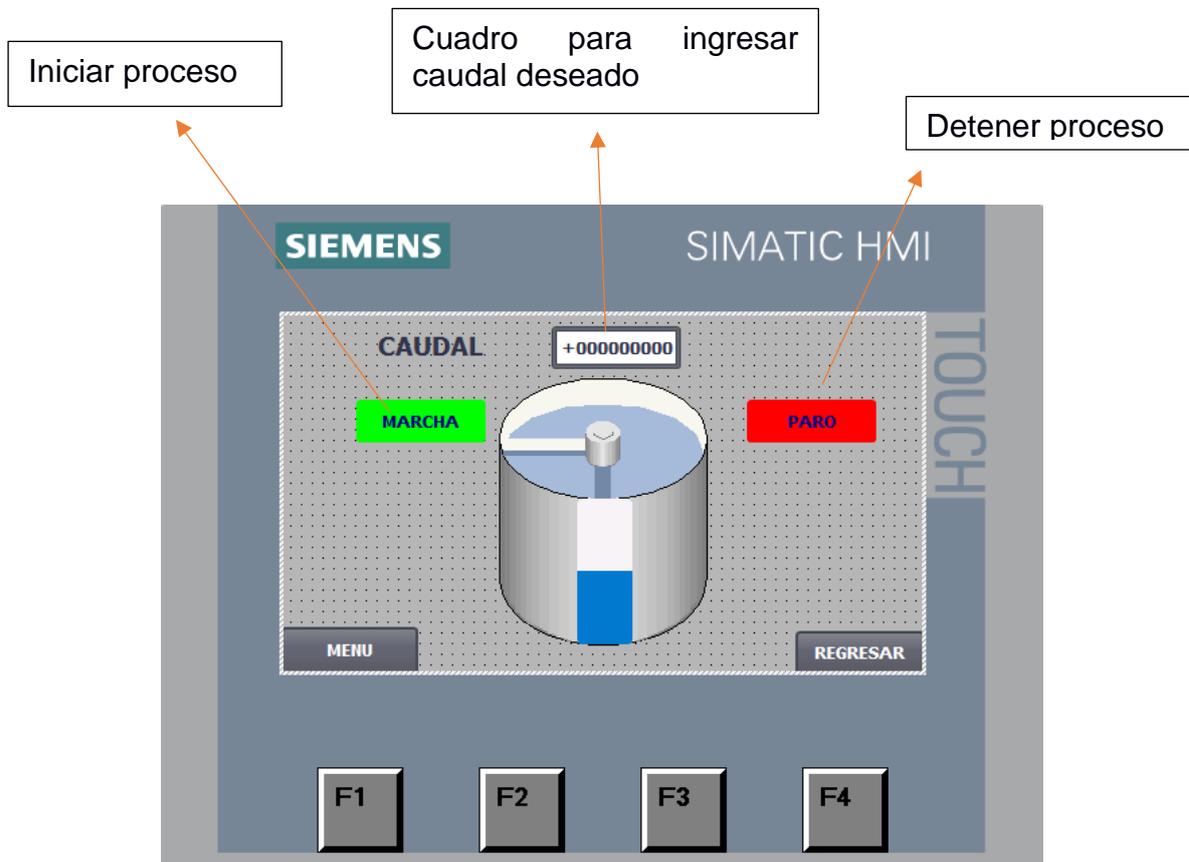


En esta pantalla se selecciona la aeronave que se desea calibrar.



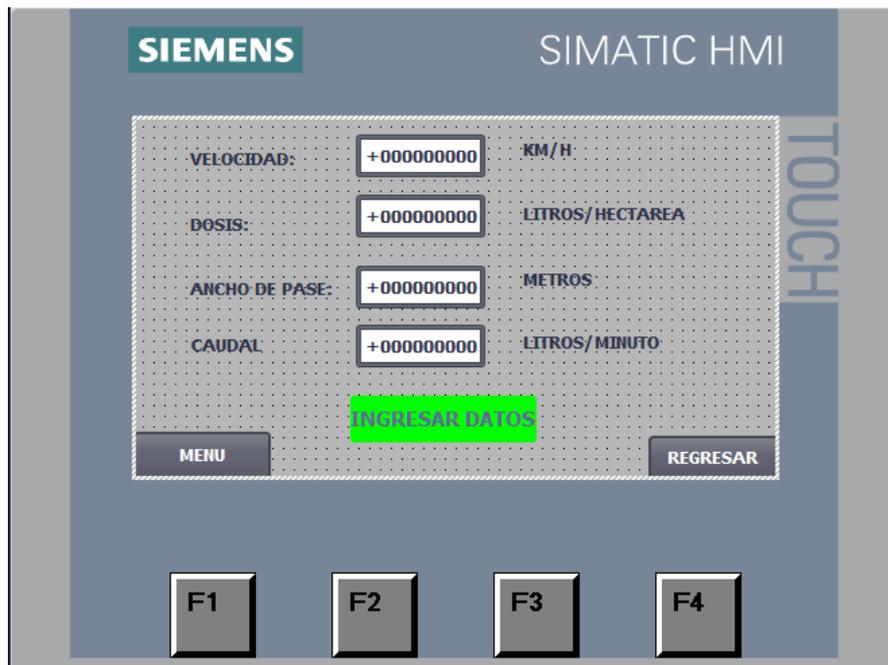
### Modo manual:

Al seleccionar el modo Manual, el usuario puede realizar un control manual del flujo ingresando un valor de caudal entre 0 a 220 litros por minuto que es el caudal máximo que entrega la electrobomba, seguidamente puede iniciar pulsando la opción “marcha” para iniciar el proceso en el cual el sistema proporcionara a la salida el caudal seteado o puede detener el proceso pulsando “Paro”.

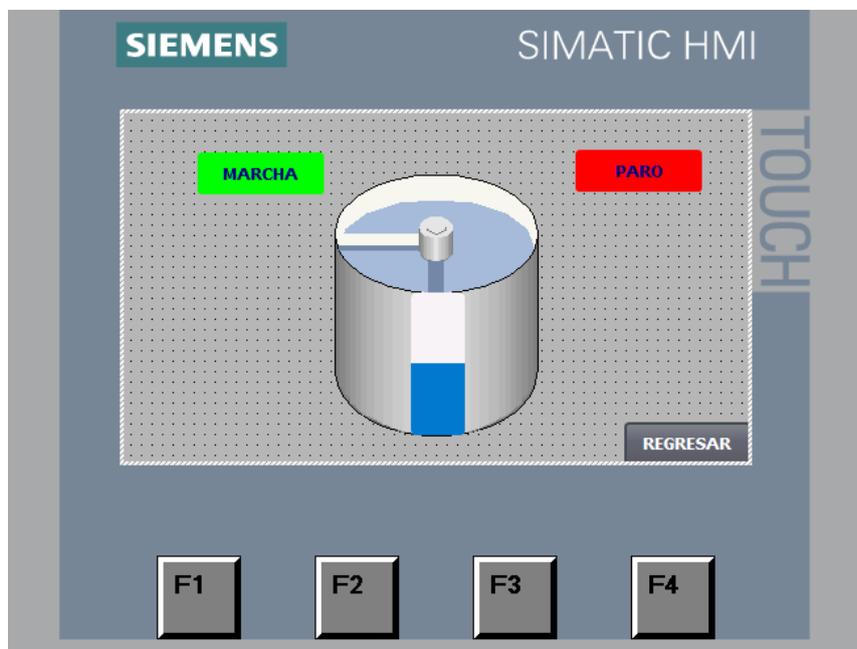


Si se requiere que la calibración sea automática, se debe ingresar valores tales como, velocidad, dosis, ancho de pase.

Después de colocar los valores, se debe pulsar el botón ingresar datos, y después dar marcha.



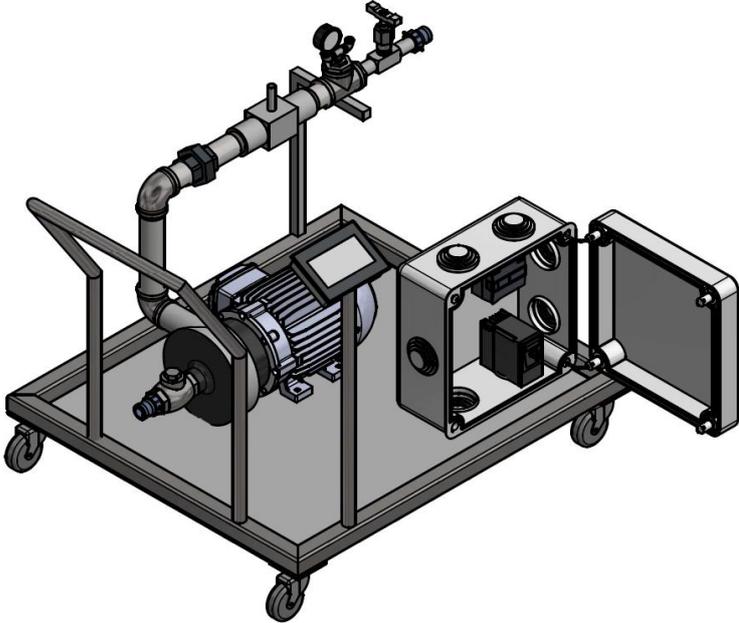
Una vez obtenido el caudal, se podrá observar la animación del flujo en el tanque.



Al terminar la prueba, se debe presionar el botón paro para concluir.

De esta manera se podrá obtener el caudal requerido para la calibración de los equipos de fumigación de Satloc G4.

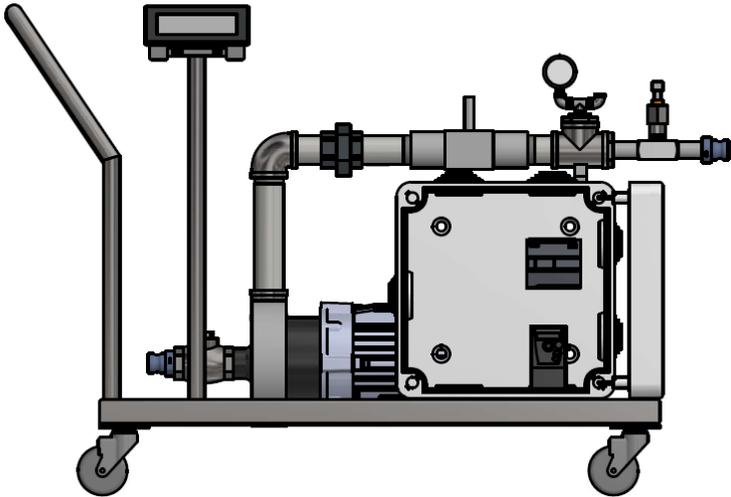
**APENDICE B: Diseño de la estructura sistema de calibración.**



**Figura 5.1 Vista isométrica del sistema de calibración.**

Fuente: Encalada, Hinostriza, 2019

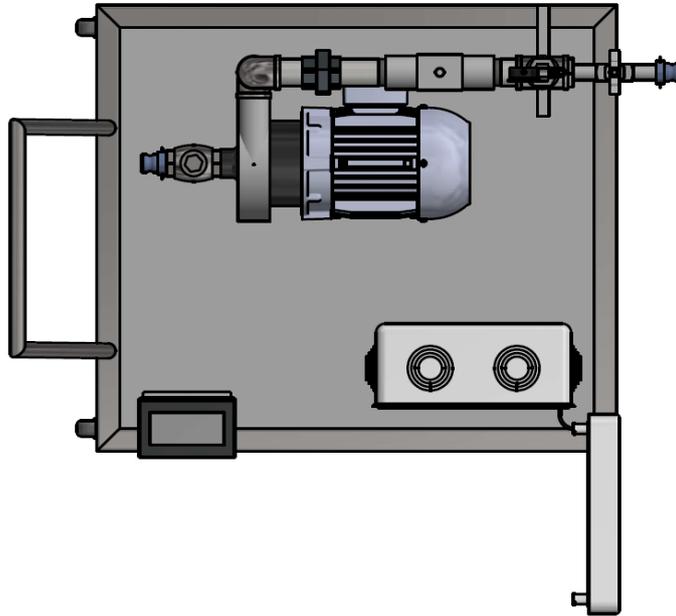
Elaboración propia.



**Figura 5.2 Vista frontal del sistema de calibración.**

Fuente: Encalada, Hinostriza, 2019.

Elaboración propia

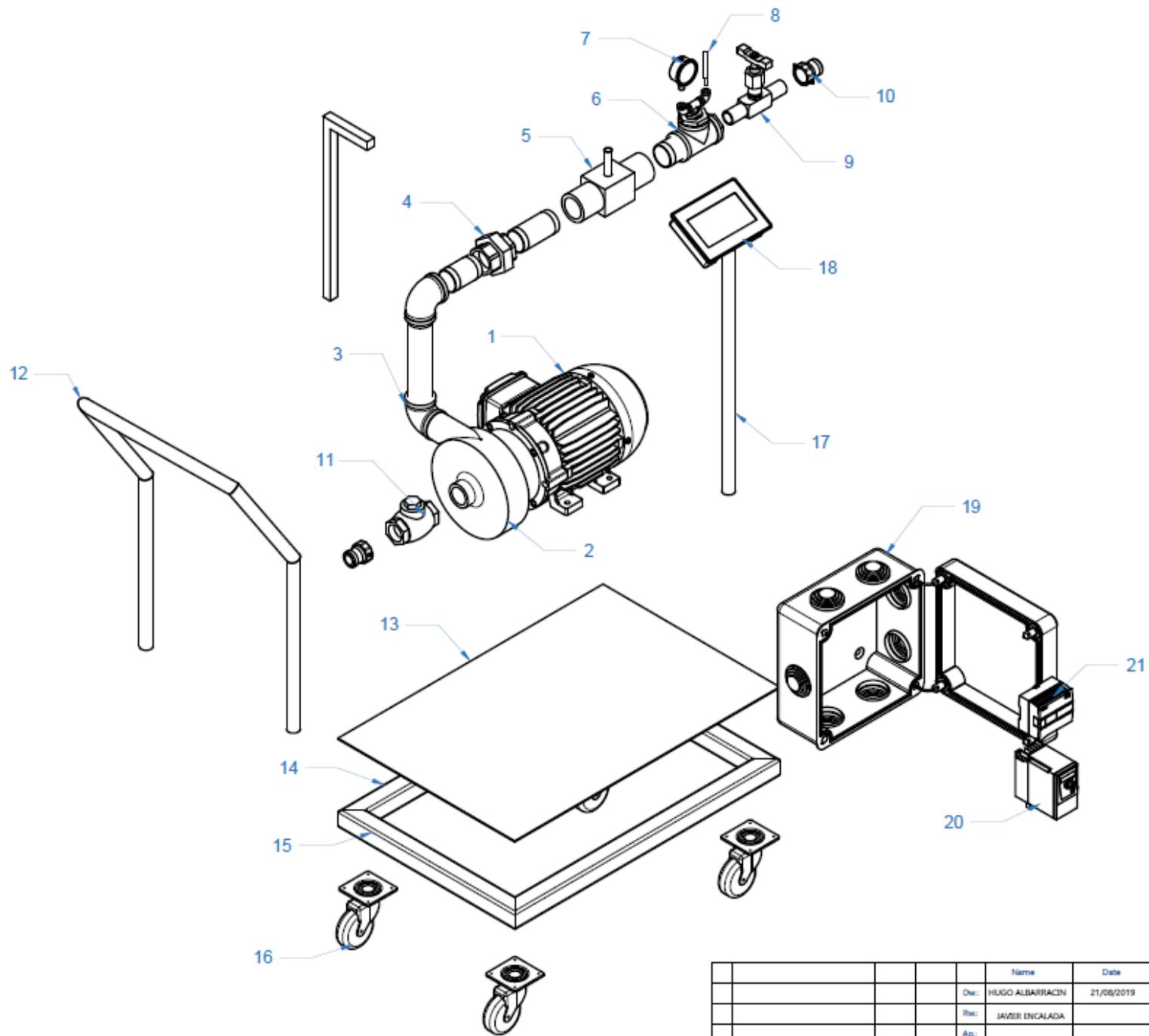


**Figura 5.3 Vista superior del sistema de calibración.**

Fuente: Encalada, Hinostroza, 2019.

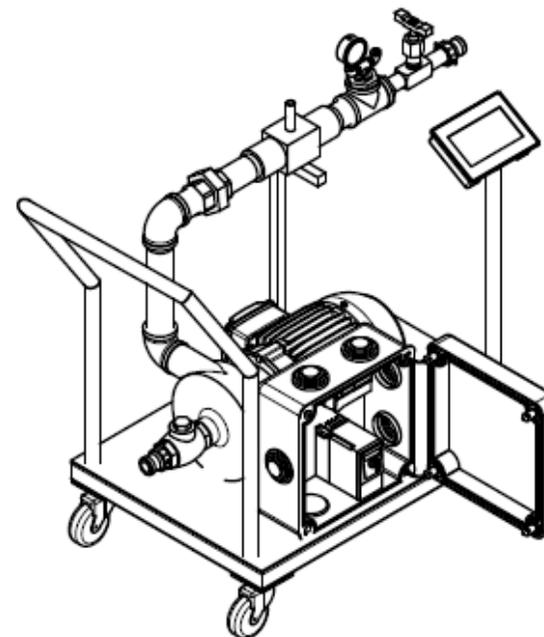
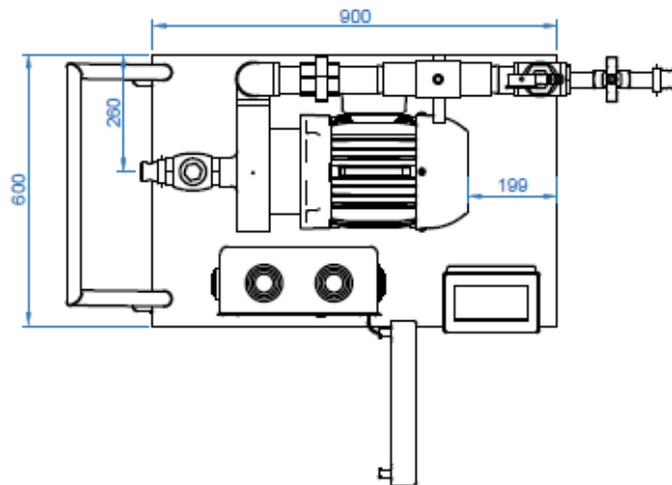
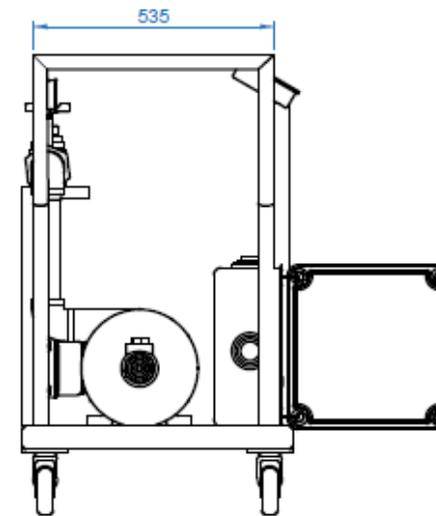
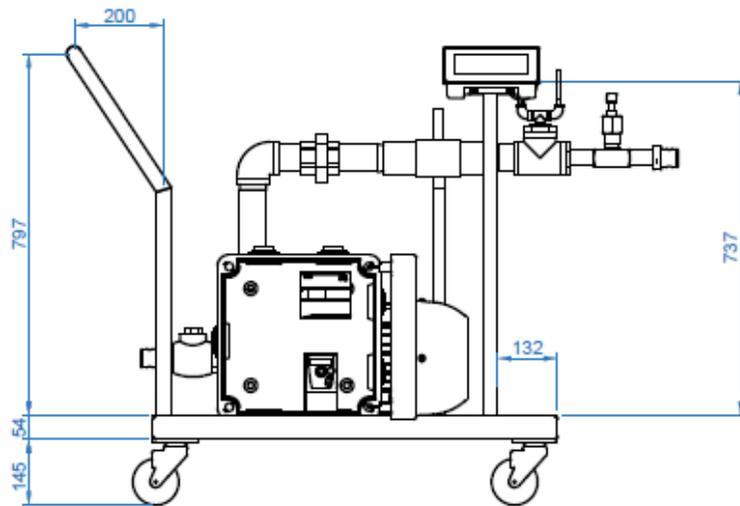
Elaboración propia

**APENDICE C**  
**PLANOS DE CONSTRUCCION**



BILL OF MATERIALS				
N°	Qty.	Description	Especificación	Dimension
1	1	MOTOR TRIFÁSICO	SHIP	
2	1	BOMBA CENTRIFUGA	HE U.S. 50-66-75	14x14 [IN]
3	2	CODO 45°	A/C	2" [IN]
4	1	UNION UNIVERSAL	A/C	2" [IN]
5	1	FLUJOMETRO	A/C	2" [IN]
6	1	TR	A/C	2" [IN]
7	1	MANOMETRO	INOX	C 4" [IN], NPT 1/4" [IN]
8	1	TRANSDUCTOR DE PRESION	INOX	NPT 1/4" [IN]
9	1	VÁLVULA REGULADORA DE CAUDAL	A/C	2" [IN]
10	2	ACOPLE RAPIDO	A/C	2" [IN]
11	1	VÁLVULA CHECK	A/C	2" [IN]
12	1	TUBO DE SOPORTE	ASTM A-36	Ø 1" [IN] - L.2500 [mm]
13	1	PLANCHAS BASE	ASTM A-36	L.500x600 [mm]
14	2	TUBO LONGITUDINAL MARCO	ASTM A-36	Ø 50x3 - L.900 [mm]
15	2	TUBO TRANSVERSAL MARCO	ASTM A-36	Ø 50x3 - L.900 [mm]
16	4	RUEDAS	ASTM A-36	4"
17	1	TUBO SOPORTE HIE	ASTM A-36	Ø 25x3 - L.700 [mm]
18	1	HIE	N/A	N/A
19	1	Caja electrica	INOX	300x300x150 [mm]
20	1	VARADOR DE MECANICA	N/A	N/A
21	1	PLC	N/A	N/A

Name		Date		espol		ESPOL	
Dw: HUGO ALBARRACIN		21/05/2019		Project		SISTEMA CALIBRACIÓN	
Rec: JAVIER ENCALADA				N° Plano:		EP-001-DG-001	
Ap:				N° Page:		001	
Esc: N/A		Papel: A3		Contenido:		0	
Rw:		Description		Date		Name	
DRAUGHTING UPDATE CONTROL						1/2	
				VISTA EN EXPLOSIÓN			



		Name		Date		espol		ESPOL	
		Dw: HUGO ALBARRACIN		21/08/2019					
		Rc: JAVIER ENCALADA				Project			
		Ap:						SISTEMA CALIBRACIÓN	
		Etc:		Paper		Contenido		Nº Plano	
		N/A		A3				EP-001-DG-001	
Rw		Description		Date		Name		DW	
		Description		Date		Name		001	
		Description		Date		Name		0	
		Description		Date		Name		1/2	
		Description		Date		Name		1	

DESPIECE GENERAL

DRAWING UPDATE CONTROL



# **ANEXOS**

## ANEXO A: CARACTERISTICAS DE LAS AERONAVES

Tabla 14 Especificaciones y datos de rendimiento Turbo Thrush

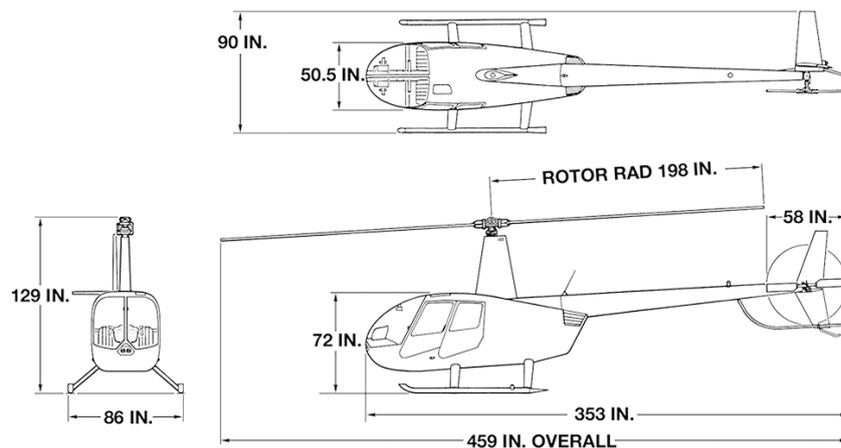
ESPECIFICACIONES PRELIMINARES Y DATOS DE RENDIMIENTO		
• Longitud	32 pies 4 pulgadas	9.85 metros
• Altura	9 pies 4 pulgadas	2.84 metros
• Envergadura	47 pies 6 pulgadas	14.47 metros
• Area de ala	365 pies cuadrados	33.90 metros cuadrados
• Ancho de Trocha	9 pies	2.74 metros
• Capacidad de combustible	228 galones	863 litros
• Peso vacío	4,900 libras	2,223 kilogramos
• Peso típico de operación	10,500 libras	4,763 kilogramos
• Capacidad de tolva (Solidos)	66 pies cúbicos	1.87 metros cúbicos
• Capacidad de tolva (Sistema de aplicación líquido)	510 galones	1930 litros
• Velocidad de trabajo	90-150 mph	145-241 kph
• Velocidad de pérdida (en aterrizaje)	57 mph	92 kph
• Velocidad a no exceder	159 mph	256 kph
• Velocidad de ascenso nivel del mar a 6,000 lbs	1,075 fpm	327.7 mpm
• Velocidad de ascenso nivel de mar a 10,500 lbs	666 fpm	203 mpm
• Distancia de despegue a 10,500 lbs	1,650 pies	503 metros
• Distancia típica de aterrizaje	600 pies	182.8 metros
• Distancia de aterrizaje con reversa	400 pies	121.9 metros
• Consumo de combustible	45-60 gph	170-227 lph
• Velocidad de crucero a 55% de potencia	150 mph	241 kph
• Autonomía a 45% de potencia, 135 mph a 7,500 pies	770 millas	1,238 kilometros

Fuente: (THRUSH, 2019)

**Tabla 15 Especificaciones del Robinson R44 Raven I**

Specifications & Dimensions	
Helicopter	R44 Raven I
Engine	Lycoming O-540, six cylinder, carbureted
Horsepower	Derated to 225 for takeoff and 205 continuous
Maximum Gross Weight	2400 lb (1089 kg)
Approximate Empty Weight (including oil & standard avionics)	1450 lb (658 kg)
Standard Fuel (29.5 gal)	177 lb (80 kg)
Auxiliary Fuel (17.0 gal)	102 lb (46 kg)
Pilot, Passengers, and Baggage (with standard fuel)	773 lb (351 kg)
Cruise Speed at Maximum Gross Weight	up to 108 kts (200 km/h)
Maximum Range (no reserve)	approx 300 nm (550 km)
Hover Ceiling IGE	6400 ft @ 2400 lb
Hover Ceiling OGE	4000 ft @ 2300 lb
Rate of Climb	over 1000 fpm
Maximum Operating Altitude	14,000 ft
Electrical System	28 volt

Fuente: (Robinson, 2017)



**Figura 5.4 Dimensiones del Robinson R44 Rave I**

Fuente: (Robinson, 2017)

## ANEXO B: CARACTERÍSTICAS DE LOS DISPOSITIVOS

Tabla 16 Características de controladores Micrologix

Boletín	1761	1763	1762	1766
Tipo	MicroLogix 1000	MicroLogix 1100	MicroLogix 1200	MicroLogix 1400
<b>Memoria</b>				
Programa de usuario/ espacio de datos	1 K	4K / 4K configurable	4 K / 2 K configurable	10 K / 10 K configurable
Registro de datos / almacenamiento de recetas	—	Registro de datos: hasta 128 kB * Recetas: hasta 64 kB	—	Registro de datos: hasta 128 kB * Recetas: hasta 64 kB
Copia de seguridad EEPROM	—	—	✓	—
Batería de respaldo	—	✓	—	✓
Módulo de memoria de respaldo	Sólo mediante programador de mano	✓	✓	✓
<b>E/S discretas</b>				
Incorporadas	Hasta 32	16	Hasta 40	32
Máximo con expansión local	—	Hasta 80	Hasta 136	Hasta 144
E/S distribuidas	—	—	—	—
<b>Funcionalidad adicional</b>				
Análogica	5 incorporadas	2 incorporadas, hasta 16 de expansión	Hasta 24 de expansión	6 incorporadas, hasta 28 de expansión
Potenciómetros de ajuste	—	2 digitales	2	2 digitales
PID	—	✓	✓	✓
Contador de alta velocidad (entradas de 24 VCC)	1 a 6,6 kHz	1 a 40 kHz	1 a 20 kHz	hasta 6 a 100 kHz
Reloj en tiempo real	—	✓	✓	✓
Movimiento simple: modulación de impulsos en anchura/salida de tren de pulsos	—	2 a 40 kHz (versión FET CC)	1 a 20 kHz (versión FET CC)	3 a 40 kHz PWM / 100 kHz PIO (versión FET CC)
Servocontrol de un eje	—	A través de PTO, inc. (FET)	A través de PTO, inc. (FET)	A través de PTO, inc. (FET)
Herramienta de acceso a datos	—	Pantalla de cristal líquido incorporada	—	Pantalla de cristal líquido incorporada
Matemática de punto flotante (coma flotante)	—	✓	✓	✓
<b>Software de programación</b>				
RSLogix 500 y RSLogix Micro	✓	✓	✓	✓
<b>Comunicaciones</b>				
Edición en línea	—	✓	—	✓
Puertos RS-232	(1) – Mini DIN de 8 pines	(1) – Mini DIN de 8 pines (combinación con puerto RS-485)	(1) – Mini DIN de 8 pines (1) – Mini DIN de 8 pines (9)	(1) – Conector D de 9 pines (no aislado) (1) – Mini DIN de 8 pines (aislado- combinado con puerto RS485)
Puertos RS-485	—	(1) – Mini DIN de 8 pines (combinación con puerto RS-232)	—	1) – Mini DIN de 8 pines (aislado- combinado con puerto RS232)
DeviceNet, dispositivos similares/esclavos	con 1761-NET-DNI	con 1761-NET-DNI	con 1761-NET-DNI	con 1761-NET-DNI
Escáner DeviceNet	—	—	—	—
Ethernet	con 1761-NET-ENI	Incorporadas y con 1761-NET-ENI	con 1761-NET-ENI	Incorporado y con 1761-NET-ENI
DH-485	con 1761-NET-AIC	Directamente desde el puerto combinado usando el 1763-NC01	con 1761-NET-AIC	Directamente desde puerto combinado usando 1763-NC01
DF1 Half-Duplex Maestro/esclavo, radio módem	Esclavo solamente	✓	✓	✓
Modbus RTU	—	Maestro/esclavo	Maestro/esclavo	Maestro/esclavo
ASCII	—	✓	✓	✓
DNP3	—	—	—	Esclavo solamente
<b>Alimentación de funcionamiento</b>				
120/240 VCA / 24 VCC	✓	✓	✓	✓
Certificaciones				
En lista de cULus, CE, Class I Div. 2				

**Tabla 17 características de los paneles HMI**

					
	KTP400 Basic	KTP700 Basic DP KTP700 Basic	KTP900 Basic	KTP1200 Basic DP KTP1200 Basic	KP300 Basic mono PN KP400 Basic color PN
<b>Modo de operación</b>	4", táctil + teclas	7", táctil + teclas	9", táctil + teclas	12", táctil + teclas	3,6", teclas 4", teclas
<b>Pantalla</b>	Pantalla ancha TFT, 65k colores, retroiluminación LED				LCD FSTN blanco y negro TFT Liquid Crystal
Tamaño (en pulgadas)	4,3"	7"	9"	12,1"	3,6" 4,3"
Resolución (An x Al en píxeles)	480 x 272	800 x 480	800 x 480	1.280 x 800	240 x 80 480 x 272
MTBF <sup>6)</sup> de la retroiluminación (en h)	20.000	20.000	20.000	20.000	50.000
Dimensiones frontales (en mm)	141 x 116	214 x 158	267 x 182	330 x 245	165 x 97 150 x 186
<b>Elementos de mando</b>	Pantalla y teclas táctiles	Pantalla y teclas táctiles	Pantalla y teclas táctiles	Pantalla y teclas táctiles	Teclas táctiles
Teclas de función (programables) /teclado del sistema	4 / -	8 / -	8 / -	10 / -	10 / • 8 / •
<b>Memoria útil</b>					
Memoria de usuario	10 MB	10 MB	10 MB	10 MB	1 MB
Memoria para opciones/recetas <sup>9)</sup>	- / 256 Kbytes	- / 256 Kbytes	- / 256 Kbytes	- / 256 Kbytes	- /40 Kbytes
Búfer de avisos	•	•	•	•	•
<b>Interfaces</b>					
Serie / MPI / PROFIBUS DP / PROFINET (Ethernet)	- / - / - / •	- / • / • / - - / - / - / •	- / - / - / •	- / • / • / - - / - / - / •	- / - / - / •
Host USB/dispositivo USB	1 / -	1 / -	1 / -	1 / -	-
Slot para CF /Multimedia /SD	- / - / -	- / - / -	- / - / -	- / - / -	- / - / -

## ANEXO C: Registro de trabajo de aeronaves

**Tabla 18 Registro de Robinson R44 Raven I generado por satloc G4**

FLOW CONTROL SETUP RECORD

Date: 01/17/19 Time: 11:51:16.20  
 Control Type: = IntelliFlow (State: ON)  
 Total Volume: = 189.00 Liters  
 Application Rate: = 22.7100 Liters/Hect  
 Valve\_cal: = 13  
 Meter\_cal: = 920.00

-----  
 SPRAY ACTIVITY (Enhanced Flow Rate = SprayON)

Job: "997" Left Back-to-Back Swath Width: = 17.00 M  
 Job: "997" Left Back-to-Back Swath Width: = 17.00 M  
 Job: "997" Right Back-to-Back Swath Width: = 17.00 M

-----

Sw #	Start Time	End Time	Line Dist m	Spray Ha	Ave ltr /Min	ltr /Sw	ltr /Ha	Ave Spd KPH	Ave Hdg Deg	Ave X-Trk m	Ave AGL m	Ave Dif Age
1	11:52:26	11:52:56	824.3	1.40	61.64	30.87	22.03	99.61	269	-0.33	0.00	ND
-3	11:54:00	11:54:29	826.2	1.40	61.59	29.44	20.96	104.92	89	-0.02	0.00	ND
-5	11:54:50	11:55:21	828.5	1.41	60.79	30.85	21.91	98.96	269	-0.24	0.00	ND
-7	11:55:48	11:56:18	829.9	1.41	59.76	29.20	20.69	102.90	89	-0.04	0.00	ND
-2	11:56:41	11:57:11	826.6	1.41	60.04	30.39	21.62	99.13	269	-0.24	0.00	ND
-4	11:57:39	11:58:08	827.3	1.41	59.58	29.67	21.10	100.29	89	-0.17	0.00	ND
-8	11:58:40	11:58:42	48.5	0.08	48.99	1.54	18.73	103.60	269	0.16	0.00	ND
-8	11:58:43	11:58:44	22.1	0.04	55.74	0.86	22.99	99.10	267	1.53	0.00	ND
-21	12:02:31	12:02:35	101.9	0.17	51.75	3.04	17.58	106.30	88	4.46	0.00	ND
-17	12:03:03	12:03:04	3.2	0.01	52.01	0.12	22.19	85.87	262	1.11	0.00	ND
-17	12:03:04	12:03:11	180.7	0.31	48.32	5.72	18.64	94.47	269	0.95	0.00	ND
-17	12:03:16	12:03:22	172.7	0.29	52.56	5.86	19.95	98.38	270	-0.31	0.00	ND
-14	12:03:49	12:03:54	138.8	0.24	52.91	4.69	19.88	103.84	89	-0.57	0.00	ND
-14	12:04:01	12:04:08	208.7	0.35	55.39	7.03	19.83	101.40	89	0.79	0.00	ND
-18	12:04:34	12:04:41	197.7	0.34	53.97	6.24	18.57	106.33	269	0.78	0.00	ND
-18	12:04:46	12:04:52	167.3	0.28	52.27	5.11	17.98	108.76	269	0.27	0.00	ND
-13	12:05:27	12:05:32	142.1	0.24	52.68	4.65	19.27	100.96	89	-0.17	0.00	ND
-13	12:05:39	12:05:46	211.6	0.36	54.70	6.90	19.19	103.58	89	0.16	0.00	ND
-16	12:06:14	12:06:20	202.8	0.34	54.08	6.23	18.07	111.45	270	0.82	0.00	ND

## ANEXO D: CALIBRACIONES REALIZADAS POR LA EMPRESA TERRY SPRAY CONSULTING S.A

**Tabla 19 Resultado de calibración del sensor de flujo avión HC-CMK**

CALIBRACION DE SENSOR DE FLUJO CON AGUA

Propietario:	Aerovic	Flowmeter marca, s/n:	101409535
Fecha:	7/oct./18	Velocidad GPS (mph):	147
Lugar:	Cristal	Swath (m):	24
Marca / modelo:	510P	Volumen Aplicación (lit/Ha):	18,92
Matrícula:	HC-CMK	Caudal total (lit/min):	179

Digitar las celdas verdes	Cal # 1		Cal # 2		Cal # 3	
Caudal (lit/min)	176		179		180	
Factor Antes	280,0		315,0		315,0	
	Tanque	Sensor	Tanque	Sensor	Tanque	Sensor
Volumen Antes (lit)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Volumen Después (lit)	190,0	213,8	194,5	193,7	196,5	196,1
Volumen Medido (lit)	190,0	213,8	194,5	193,7	196,5	196,1
Nuevo Factor	315,0		313,7		314,4	

Nuevo Factor con Agua:	<b>314,36</b>
Tolerancia (%):	±5
Dif con último Producto (%):	-10,9

Firma Responsable:	
Próxima calibración:	7/abr./19

Comentarios:

**Terry**  
Spray Consulting, S.A.

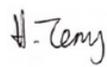
**Tabla 20 Resultado de calibración del sensor de flujo avión HC-COM**

CALIBRACION DE SENSOR DE FLUJO CON AGUA

Propietario:	Aerovic	Flowmeter marca, s/n:	13311036
Fecha:	7/oct./18	Velocidad GPS (mph):	143
Lugar:	Cristal	Swath (m):	24
Marca / modelo:	510P	Volumen Aplicación (lit/Ha):	18,92
Matrícula:	HC-COM	Caudal total (lit/min):	174

Digitar las celdas verdes	Cal # 1		Cal # 2		Cal # 3	
Caudal (lit/min)	174		174		173	
Factor Antes	288,0		320,0		320,0	
	Tanque	Sensor	Tanque	Sensor	Tanque	Sensor
Volumen Antes (lit)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Volumen Después (lit)	199,0	221,5	196,0	195,1	198,5	198,3
Volumen Medido (lit)	199,0	221,5	196,0	195,1	198,5	198,3
Nuevo Factor	320,5		318,5		319,6	

Nuevo Factor con Agua:	<b>319,56</b>
Tolerancia (%):	±5
Dif con último Producto (%):	-9,9

Firma Responsable:	
Próxima calibración:	7/abr./19

Comentarios:



**Tabla 21 Resultado de calibración del sensor de flujo Helicóptero HC-CSP**

CALIBRACION DE SENSOR DE FLUJO CON AGUA

Propietario:	Aerovic	Flowmeter marca, s/n:	71518-85
Fecha:	9/oct/18	Velocidad GPS (mph):	55
Lugar:	Banastru	Swath (m):	18
Marca / modelo:	R44 Raven I	Volumen Aplicación (lit/Ha):	22,71
Matrícula:	HC-CSP	Caudal total (lit/min):	60

Digitar las celdas verdes	Cal # 1		Cal # 2		Cal # 3	
Caudal (lit/min)	57		60		59	
Factor Antes	908,0		890,0		890,0	
	Tanque	Sensor	Tanque	Sensor	Tanque	Sensor
Volumen Antes (lit)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Volumen Después (lit)	193,5	189,6	194,5	195,7	194,5	192,8
Volumen Medido (lit)	193,5	189,6	194,5	195,7	194,5	192,8
Nuevo Factor	889,9		895,3		882,0	

	Cal # 4		Cal # 5		Cal # 6	
Caudal (lit/min)	60		59			
Factor Antes	890,0		890,0			
	Tanque	Sensor	Tanque	Sensor	Tanque	Sensor
Volumen Antes (lit)	0,0	0,0	0,0	0,0		
Volumen Después (lit)	194,5	194,3	194,6	195,3		
Volumen Total (lit)	194,5	194,3	194,6	195,3	0,0	0,0
Nuevo Factor	888,9		893,1		#¡DIV/0!	

Nuevo Factor con Agua: **888,03**  
 Tolerancia (%): ±5  
 Dif con último Producto (%): 2,2

Firma Responsable:   
 Próxima calibración: 9/abr/19

Comentarios:  
 El factor 908 es alto para protectante en agua.

