

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA

TEMA

SISTEMA DE DOSIFICACIÓN DE AZÚCAR MORENA PARA MEJORAR
LA PRODUCCIÓN DE CO₂ Y VAPOR DE AGUA EN EL CULTIVO DE
ROSAS EN INVERNADEROS

AUTOR:

DANNY PAÚL DE LA CRUZ ANRANGO

DIRECTOR:

Ing. CHRISTIAN RENAN VÁSQUEZ FALCONY, MSc.

Ibarra, 2019



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003402367
APELLIDOS Y NOMBRES:	DE LA CRUZ ANRANGO DANNY PAÚL
DIRECCIÓN:	OTAVALO-SAN PABLO DEL LAGO
EMAIL:	dodelacruz@utn.edu.ec
TELÉFONO MÓVIL:	0982487346

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	SISTEMA DE DOSIFICACIÓN DE AZÚCAR MORENA PARA MEJORAR LA PRODUCCIÓN DE CO ₂ Y VAPOR DE AGUA EN EL CULTIVO DE ROSAS EN INVERNADEROS.
AUTOR (ES):	DE LA CRUZ ANRANGO DANNY PAÚL
FECHA: AAAAMMDD	
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSTGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO EN MECATRÓNICA
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. CHRISTIAN RENAN VÁSQUEZ FALCONY, MSc.

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 29 días del mes de Julio de 2019

EL AUTOR:
(Firma) 
Nombre: Danny Paúl De la Cruz Anrango
Cedula: 1003402367



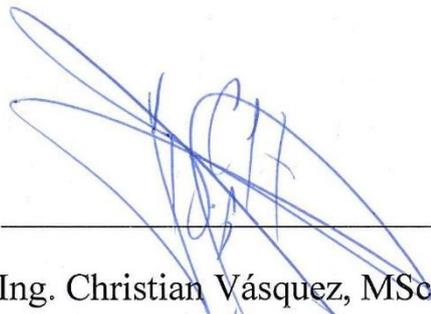
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN

En calidad de director del trabajo de grado “SISTEMA DE DOSIFICACIÓN DE AZÚCAR MORENA PARA MEJORAR LA PRODUCCIÓN DE CO₂ Y VAPOR DE AGUA EN EL CULTIVO DE ROSAS EN INVERNADEROS” presentado por el egresado Danny Paúl De la Cruz Anrango, para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica, certifico que el mencionado proyecto fue realizado bajo mi dirección.

Ibarra, 30 julio de 2019



Ing. Christian Vásquez, MSc.
DIRECTOR DE TESIS

DEDICATORIA

Dedico en primer lugar a mis padres, quienes me apoyaron siempre a pesar de las dificultades, guiándome y brindándome su amor y cariño, además, a mis dos pequeños sobrinos Adrián y Jesús, que me han inspirado a continuar con mis estudios y así demostrarles que las metas si se pueden alcanzar si uno se las propone.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis Padres que me brindaron sus bendiciones y su total apoyo para salir adelante en este arduo camino de estudiante, que resultó difícil, pero no imposible de cumplir. También a mi novia, hermanas, hermano y sobrinos, quienes me apoyaron en las buenas y en las malas permaneciendo siempre unidos como familia.

A mis docentes a, quienes supieron compartir sus enseñanzas durante mi transcurso por la universidad con paciencia y responsabilidad, compartiendo sus experiencias con la finalidad de fortalecer el vínculo de alumno a maestro.

Por último, a mi Director de Trabajo de Grado, al MSc. Christian Vásquez, quien me brindó su ayuda al aceptar ser mi tutor y brindarme parte de su sabiduría, siendo un guía durante el proceso de investigación desarrollo e implementación, su experiencia en el campo laboral y capacidades me permitieron concretar con éxito el presente proyecto.

RESUMEN

El presente documento contiene información acerca de la elaboración de un dosificador de azúcar morena para producir CO₂, debido a que no existen procedimientos adecuados para una correcta dosificación. Por tal motivo, el uso de un tornillo sin fin en la máquina permite un rango de dosificación más preciso evitando el exceso de azúcar al ingresar a la cámara de sublimación, en la cual, la temperatura debe ser monitoreada para evitar su caramelización.

Por consiguiente, cuando el proceso culmina, el CO₂ y el vapor de agua resultante es suministrado a los invernaderos mediante un soplador, que inyecta los gases dentro del ambiente a ser tratado.

Por último, los elementos que conforman el dosificador, están conectados de manera independiente y controlados por un interfaz humano maquina (HMI) la cual permite activar de manera automática las diferentes funciones del dosificador.

ABSTRACT

This document contains information about the preparation of a brown sugar dispenser to produce CO₂, actuality do not exist an adequate procedure for a correct dosage. For this reason, the use of a screw in the machine allows a more precise dosage range avoiding excess sugar when entering the sublimation chamber, in which, the temperature must be monitored to avoid caramelization.

Therefore, when the process ends, the CO₂ and the resulting water vapor is supplied to the greenhouses by means of a blower, which injects the gases into the environment to be treated.

Finally, the elements that make up the dispenser, are connected independently and controlled by a human machine interface (HMI) which allows to activate automatically the different functions of the dispenser.

ÍNDICE GENERAL

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA	II
Dedicatoria	III
Agradecimiento	VI
Resumen	I
Abstract	II
ÍNDICE GENERAL	III
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE ECUACIONES	XII
CAPÍTULO I	1
1.1. Descripción de problema	1
1.2. Objetivo General	1
1.2.1. Objetivo Específicos	1
1.3. Justificación	1
1.4. Alcance	2
CAPÍTULO II	3
2.1. Sublimadoras	3
2.1.1. Sublimadoras Textiles	3
2.2. Técnicas de dosificación	3
2.3. Tipos de dosificadores	4

2.3.1.	Dosificadores Volumétricos	4
2.3.2.	Dosificadores de banda rodante.....	5
2.4.	Driver	7
2.5.	Interfaz humano máquina	7
2.6.	Sensores de temperatura.....	8
2.7.	Sistema de control ON/OFF.....	8
2.8.	Combustión de la sacarosa.....	9
2.9.	Quemadores	9
2.10.	Efectos de <i>CO2</i> en invernaderos.....	9
2.11.	Características del dosificador de sacarosa (azúcar morena).....	10
CAPÍTULO III		11
3.1.	Diseño del Sistema de Dosificación	11
3.1.1.	Introducción.....	11
3.1.2.	Diseño y selección del sistema para la dosificación	11
3.1.3.	Diagrama funcional del sistema de dosificación.....	12
3.1.4.	Selección de elementos para la construcción	17
3.1.5.	Diseño de la Tolva	21
3.1.6.	Propiedades del material almacenado.....	24
3.1.7.	Clasificación de la tolva y silo.....	24
3.1.8.	Cálculo de presiones.....	25
3.1.8.1.	Presión horizontal, vertical y de fricción.....	26
3.1.8.2.	Cargas debido a la descarga	27

3.1.8.3. Espesor de la tolva	27
3.2. Análisis de elementos finitos	28
3.2.1. Verificación por resistencia de materiales	28
3.3. Simulación de esfuerzos en la tolva.....	29
3.4. Selección y análisis de la estructura base	32
3.5. Diseño del sistema de dosificador del producto	37
3.5.1. Diseño del Tornillo sin Fin	37
3.5.2. Simulación del Tornillo sin Fin.....	42
3.6. Diseño del eje.....	43
3.6.1. Simulación del eje	44
3.7. Sistema eléctrico	46
3.7.1. Selección de componentes electrónicos	46
3.8. Manufactura.....	51
3.8.1 Construcción de la tolva.	51
3.8.2 Construcción de la cámara de sublimación de la sacarosa.	52
3.8.3 Construcción del eje y Tornillo sin fin.	52
3.8.4 Chasis de la sublimadora.....	53
3.9 Ensamblaje de la sublimadora	53
3.9.1 Ensamblaje del sistema de dosificación	53
3.9.2 Sistema de sublimación y dosificación de CO2	54
3.10 Sistema Eléctrico.....	54
3.10.1 Control ON-OFF del dosificador.....	55

3.11	Interfaz humano máquina (HMI)	55
3.11.1	Procesos de dosificación.	56
3.11.2	Proceso de pre-dosificación	56
3.11.2	Proceso de dosificación automática	57
3.11.3	Proceso de dosificación manual	58
CAPÍTULO IV		59
4.1.	Pruebas de funcionamiento y validación	59
4.1.1	Diseño mecánico	59
4.1.2	Pruebas de dosificación	59
4.1.2	Niveles de CO₂ en el invernadero	61
CONCLUSIONES		63
RECOMENDACIONES		64
REFERENCIAS		65
ANEXOS		67
Anexo 1. Código de programación.		67
Anexo 2. Tablas de código ASCII		71
Anexo 3. Manual de CP04		72
Anexo 4. Planos.		73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estados de la materia	3
Figura 2. Dosificador de tornillo	4
Figura 3. Dosificador de compuerta rotativa.....	5
Figura 4. Dosificador de banda rodante	5
Figura 5. Dosificador gravimétrico de banda.....	6
Figura 6. Dosificador de pérdida de peso.....	6
Figura 7. Driver	7
Figura 8. Interfaz humano máquina	7
Figura 9. Termocupla	8
Figura 10. Control On-Off	8
Figura 11. Diagrama funcional del dosificador.....	12
Figura 12. Descomposición funcional del dosificador.....	12
Figura 13. Casa de la Calidad	13
Figura 14. Aporte de los RT.....	15
Figura 15. Silo.....	23
Figura 16. Presiones	25
Figura 17. Cargas dentro de la tolva	28
Figura 18. Fuerzas que actúan en la tolva	30
Figura 19. Tensión de Von Misses en la tolva	30
Figura 20. Factor de seguridad de la tolva.	31
Figura 21. Dinámica de fluidos por computadora.....	32
Figura 22. Cargas en la estructura.....	34
Figura 23. Tensión Von Misses en la estructura	34
Figura 24. Factor de seguridad.....	35

Figura 25. Factor de seguridad 85% mallado.....	36
Figura 26. Cargas en el tornillo sin fin.....	42
Figura 27. Tensión de Von Misses en el tornillo sin fin.	42
Figura 28. Factor de seguridad en el tornillo sin fin.	43
Figura 29. Diagrama de cuerpo libre del eje	43
Figura 30. Cargas sobre el eje.	45
Figura 31. Tensión de Von Misses en el eje.	45
Figura 32. Factor de seguridad en el eje.	46
Figura 33. Stepper Driver TB6600.....	47
Figura 34. Diagrama Driver TB6600	48
Figura 35. PLC	50
Figura 36. Quemador atmosférico.....	51
Figura 37. Tolva.....	51
Figura 38. Cámara de sublimación.....	52
Figura 39. Eje y tornillo sin fin.	52
Figura 40. Chasis.....	53
Figura 41. Sistema de dosificación	54
Figura 42. Sistema de sublimación.	54
Figura 43. Diagrama eléctrico,.....	55
Figura 44. Interfaz del dosificador.	56
Figura 45. Proceso de dosificación	56
Figura 46, Proceso de pre-dosificación	57
Figura 47. Proceso de dosificación automática.....	57
Figura 48. Proceso de dosificación manual.....	58
Figura 49. Dosificador	59

Figura 50. Dosificación de la sacarosa.....	60
Figura 51. Niveles de CO ₂ en el invernadero.....	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Requerimientos del Cliente	13
Tabla 2. Matriz Morfológica	14
Tabla 3. Requerimientos del diseñador	14
Tabla 4. Valores de ponderación	16
Tabla 5. Aporte de los RT.	16
Tabla 6. Resultado del piso de la casa de la calidad.....	17
Tabla 7. Criterios de ponderación	18
Tabla 8. Orientación de dosificación.....	18
Tabla 9. Procesos de captación de energía.	18
Tabla 10. Proceso de regulación de energía	19
Tabla 11. Transporte de energía	19
Tabla 12. Proceso de sublimación.....	19
Tabla 13. Proceso de dosificación	20
Tabla 14. Criterios de ponderación del material	20
Tabla 15. Propiedades mecánicas AISI-316.....	21
Tabla 16. Muestreo de la sacarosa.....	22
Tabla 17. Propiedades del material	24
Tabla 18. Valores k_s y μ para presiones.....	26
Tabla 19. Condiciones de frontera	29
Tabla 20. Criterios de ponderación de la estructura.....	32
Tabla 21. Criterios de convergencia.....	35
Tabla 22. Tensión Von Misses 85% mallado.....	36
Tabla 23. Tipos de cargas.....	37
Tabla 24. Velocidad según el diámetro del tornillo sin fin	38

Tabla 25. Tipos de materiales.....	39
Tabla 26. Criterios de ponderación del motor	47
Tabla 27. Características de motor a pasos	47
Tabla 28. Criterios de ponderación del controlador	49
Tabla 29. Características del PLC Eopus-CP04.....	49
Tabla 30. Selección del quemador	50
Tabla 31. Mediciones de la sacarosa	60

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Ley de Hess	9
Ecuación 2. Densidad del producto	22
Ecuación 3. Fórmula del volumen de un recipiente	22
Ecuación 4. Volumen total de la tolva	23
Ecuación 5. Altura de la tolva	23
Ecuación 6. Altura total de la Tolva.....	24
Ecuación 7. Capacidad de almacenamiento del silo.....	25
Ecuación 8. Presión vertical máxima	26
Ecuación 9. Presión horizontal máxima	27
Ecuación 10. Presión de fricción máxima	27
Ecuación 11. Carga equivalente horizontal	27
Ecuación 12. Carga de rozamiento equivalente	27
Ecuación 13. Carga total dentro de la tolva.....	28
Ecuación 14. Fuerza de tracción periférica	28
Ecuación 15. Espesor teórico de la tolva.....	28
Ecuación 16. Flujo volumétrico dentro de la tolva	31
Ecuación 17. Paso del tornillo sin fin.....	38
Ecuación 18. Volumen en el plano helicoidal	38
Ecuación 19. Velocidad de giro del tornillo sin fin.....	39
Ecuación 20. Potencia de accionamiento del tornillo sin fin	39
Ecuación 21. Fuerza producida por la sacarosa	40
Ecuación 22. Torque necesario para remover la sacarosa.....	40
Ecuación 23. Potencia necesaria para remover la sacarosa.....	40
Ecuación 24. Fuerza ejercida por la sacarosa.....	41

Ecuación 25. Torque producido en la superficie de las aspas	41
Ecuación 26. Diámetro mínimo del eje	44

CAPÍTULO I

1.1. Descripción de problema

El cultivo de rosas en Ecuador ha tenido una gran incidencia en la economía ecuatoriana, desde la década de los 80 cuando inició su auge de exportación. Existen procedimientos que aporta al crecimiento de la rosa, una de estas es la inyección de CO_2 y vapor de agua dentro de los invernaderos. El proceso de dosificación de CO_2 tiende a prevenir enfermedades como la Botrytis cinérea durante el crecimiento de la rosa, evitando el uso de químicos (fumigación) para eliminar este tipo de plagas comunes en los invernaderos.

En algunos invernaderos se está utilizando una máquina artesanal de dosificación de CO_2 , la cual no logra producir el CO_2 y vapor de agua de manera adecuada, debido al problema de caramelización de la azúcar morena a causa de una dosificación irregular de la misma.

Por consiguiente, es necesario determinar el proceso ideal para la dosificación uniforme de azúcar morena con la finalidad de optimizar la producción de CO_2 y vapor de agua en el cultivo de rosas en invernaderos.

1.2. Objetivo General

Construir un sistema de dosificación para una sublimadora de azúcar morena utilizada en la producción de CO_2 y vapor de agua para el cultivo de flores en invernaderos.

1.2.1. Objetivo Específicos

- Determinar las condiciones de uso de una sublimadora en invernaderos.
- Determinar los requisitos del sistema.
- Diseñar los aspectos eléctrico y mecánico del sistema de dosificación.
- Construir el sistema de dosificación.
- Validar el sistema de dosificación.

1.3. Justificación

El proyecto es implementado por la necesidad de obtener un mejor proceso de producción de CO_2 y vapor de agua a partir de la azúcar morena para aportar en la fotosíntesis de las rosas.

Los beneficiarios directos de esta máquina serán las empresas florícolas porque el tiempo de dosificación disminuye ahorrando dinero, donde los beneficiarios indirectos serán los obreros que la operen en la producción de rosas.

El aporte de este proyecto sirve como referencia en futuras innovaciones en la implementación de máquinas destinadas a la floricultura; dando cabida a la implementación del proceso automatizado sustentable para el cultivo de rosas.

1.4. Alcance

Diseñar y construir un dosificador de azúcar morena ha implementarse en una sublimadora existente cuya funcionalidad será forma automática y manual. Además, se elaborarán los manuales de operación y mantenimiento, y la guía de detección de averías.

CAPÍTULO II

2.1. Sublimadoras

Las sublimadoras son máquinas que funcionan mediante el cambio de estado de la materia como es la sublimación directa o también conocida como volatización, donde un sólido pasa al estado gaseoso obviando el estado líquido y viceversa (sublimación inversa). Este proceso se logra mediante la aplicación de una determinada temperatura y presión para lograr el cambio de estado como se muestra en *Figura 1*.



Figura 1. Estados de la materia

Fuente: (Josell7, 2010)

Existen varios tipos de máquinas sublimadoras, las mismas que son usadas en diferentes campos de la industria, tales como; textil y florícola.

2.1.1. Sublimadoras Textiles

Este proceso se realiza aplicando temperaturas superiores a los 180 °C esto convierte la tinta en gas además de usar una tela con un 60% de poliéster que está en contacto con el material sublimable seguidamente se expande permitiendo el ingreso de la tinta a través de la tela ubicándose en el fondo del material a sublimar. Este intercambio de gas de la impresión al material a sublimar (tela de poliéster) es gracias a la presión ejercida entre la tinta y el objeto sublimable evitando que la tinta se vaporice al ambiente y la transferencia no se concluiría. Al terminar el proceso y al enfriarse la tela cierra su estructura y la tinta vuelve al estado sólido que es la sublimación inversa. De esta manera, la tinta forma parte de la estructura de la tela.

2.2. Técnicas de dosificación

La dosificación es un proceso controlado de distribución de productos sólidos o líquidos para obtener un producto final, mediante el uso de elementos mecánicos y eléctricos.

Dentro de la selección de dosificadores se debe tomar en cuenta varios factores:

- La sustancia a manipular (sólidos secos o en polvo, líquido, gas).
- Precisión de los elementos a manipular.
- Distribución del elemento a manipular.
- Cantidad de dosis en la distribución del elemento a manipular.
- Modo de operación.

2.3. Tipos de dosificadores

2.3.1. Dosificadores Volumétricos

Cuentan con una tolva para su alimentación que incluye un agitador de aspas para una alimentación constante para evitar conglomeración que provoquen una dosificación irregular, por tal motivo es necesario realizar una calibración constante si el elemento volumétrico a manipular varia para evitar problemas en su fluidez y el rango de dosificación, (Torres, 2006).

- **Dosificadores de Tornillo**

Este tipo de dosificador tiene como elemento principal un tornillo sin fin ubicado en la parte inferior de la tolva cuya finalidad es proporcionar una cantidad volumétrica en cada giro como se muestra en la *Figura 2*.

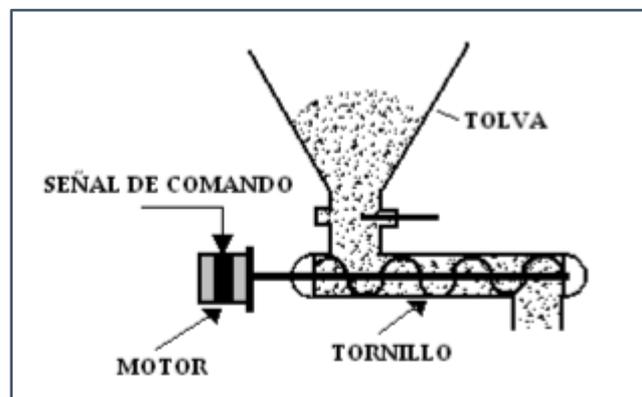


Figura 2. Dosificador de tornillo

Fuente: (Torres, 2006)

Este tipo de método de dosificación es el más utilizado por la cantidad volumétrica que proporciona mas no por su exactitud. Su accionamiento es proporcionado por un sistema de engranajes, motor- reductor o un variador de frecuencia en donde el elemento volumétrico es proporcional a la velocidad del motor siendo de manera continua o en intervalos de tiempo.

- **Dosificador de compuerta rotativa**

El diseño de este dosificador carece de precisión a comparación de la de tornillo sin fin, por el motivo que usa una compuerta que rota sobre un eje suministrando el elemento volumétrico como se muestra en la *Figura 3*.

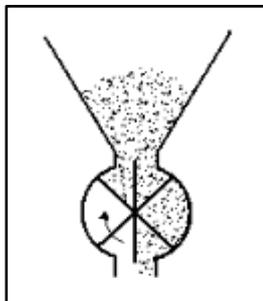


Figura 3. Dosificador de compuerta rotativa

Fuente: (Torres, 2006)

Su accionamiento se lo realiza mediante un motor-reductor o un variador de frecuencia que acciona la compuerta para dar inicio al proceso de dosificación.

2.3.2. Dosificadores de banda rodante

Este tipo de dosificador se basa en la distribución de una sustancia volumétrica a través de uso de una banda rodante en donde se debe tomar en cuenta 2 aspectos; la velocidad en la que la banda transporta la materia y la cantidad que sale por la compuerta contenida en la tolva.

- **Dosificador de banda rodante**

Es un método de dosificación simple cuya desventaja es trabajar con elementos sólidos de gran volumen debido a que pueden causar congestión a la salida de la tolva de alimentación como se muestra en la *Figura 4*.

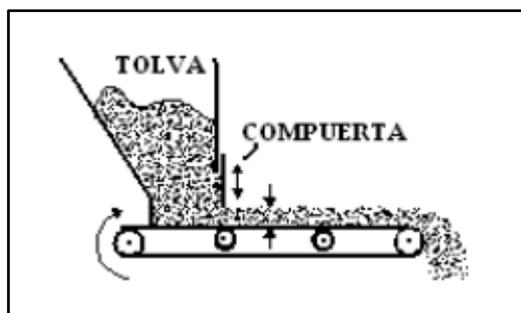


Figura 4. Dosificador de banda rodante

Fuente: (Torres, 2006)

a) Dosificadores gravimétricos de banda

Es un método mucho más preciso que los volumétricos debido a que su volumen no influye directamente en la distribución, en la cual se incluye una balanza que monitorea de manera continua la distribución del elemento volumétrico como se muestra en la *Figura 5*.

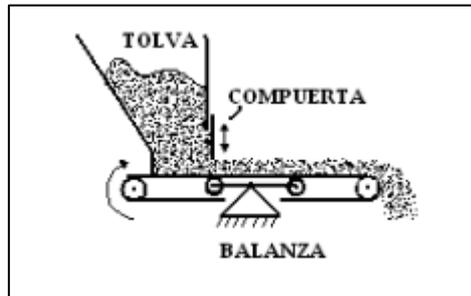


Figura 5. Dosificador gravimétrico de banda

Fuente: (Torres, 2006)

Para determinar la cantidad de producto en la banda se debe controlar la velocidad de la banda y la apertura de la compuerta para controlar la cantidad para realizar el proceso de dosificación.

b) Dosificadores de pérdida de peso

Este método de dosificación está formado por la unión de un dosificador volumétrico de compuerta rotativa y un dosificador de tornillo en la cual la parte de medición se la realiza en la tolva como se muestra en la *Figura 6*.

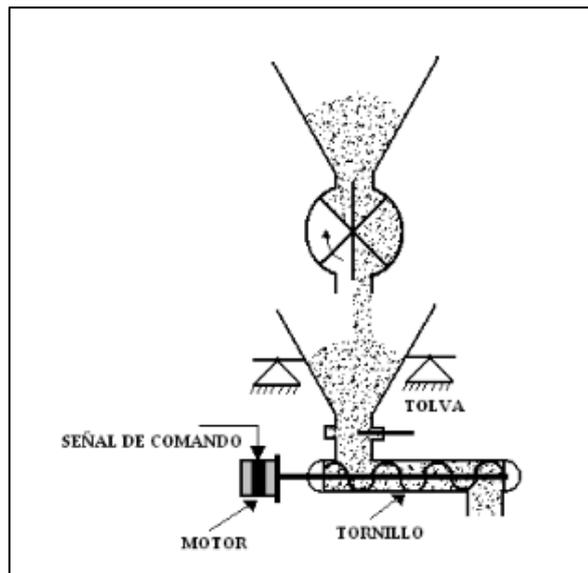


Figura 6. Dosificador de pérdida de peso

Fuente: (Torres, 2006)

2.4. Driver

Un driver es un dispositivo electrónico que regula el flujo de electricidad asegurando el voltaje y la corriente adecuada independientemente de los cambios constantes en las propiedades eléctricas proporcionados desde el controlador hacia un actuador como se muestra en la *Figura 7*.

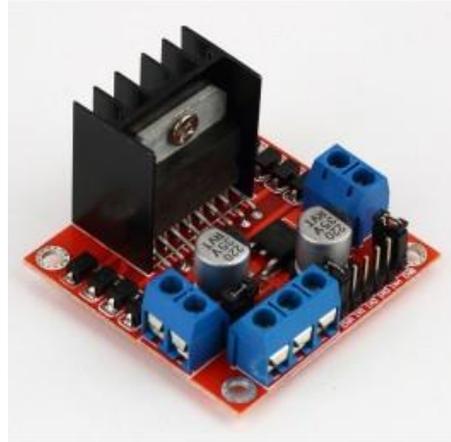


Figura 7. Driver

Fuente: *(electrónico, 2019)*

2.5. Interfaz humano máquina

Es la principal herramienta con la cual los operadores y los supervisores de la línea coordinan y controlan los procesos industriales y de fabricación en la planta. Es decir, es la interfaz entre el proceso y los operadores con la finalidad de coordinar y controlar los métodos industriales.



Figura 8. Interfaz humano máquina

Fuente: <https://bit.ly/2XQDHP5>

2.6. Sensores de temperatura

Son sensores de temperatura eléctricos usados a nivel industrial, emplea dos alambres de hierro y cobre con níquel, unidos en un extremo, al aplicar temperatura se produce un fenómeno termoeléctrico en unión de los metales conocido como efecto Sebeck el cual consiste en la conversión directa de la diferencia de temperatura a voltaje eléctrico y viceversa del orden de los milivolts el cual aumenta con la temperatura aplicada siendo interpretado por un controlador como se muestra en la *Figura 9*.



Figura 9. Termocupla

Fuente: (*Electronica, 2019*)

2.7. Sistema de control ON/OFF

Este tipo de control, usa un algoritmo simple para revisar y comprobar si la variable de proceso está por encima o por debajo de un punto de inicio establecido de acuerdo al tipo de aplicación, en la *Figura 10*, se observa que, en términos prácticos, la variable manipulada o la señal de control del controlador cambia entre “totalmente ON” o totalmente OFF, sin estados intermedios, permitiendo arrancar o terminar un proceso dentro de la industria.

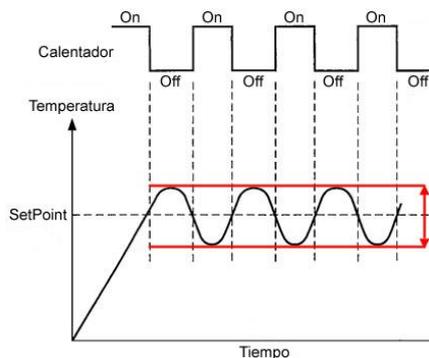


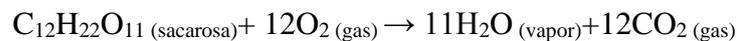
Figura 10. Control On-Off

Fuente: (*Electronica, 2019*)

2.8. Combustión de la sacarosa

La sacarosa está compuesta por glucosa y fructosa, no posee un aroma característico, donde su composición química es $C_{12}H_{22}O_{11}$, dicha sustancia al someterse a una temperatura de $186^{\circ}C$, se produce un cambio de estado mediante la fusión a un jarabe espeso, conforme la temperatura va incrementándose, su color cambia hasta producirse la carbonización y la desintegración total de la sacarosa en H_2O y CO_2 .

Su proceso se describe como un ajuste a la reacción de combustión en donde debe existir un mismo número de átomos de cada tipo en donde debe aparecer los estados de agregación de cada una de las sustancias que lo conforman, obteniendo el resultado siguiente:



Ecuación 1. Ley de Hess

2.9. Quemadores

El quemador es un dispositivo donde se realiza la combustión u oxidación de un gas con la finalidad de producir calor el cual necesita un sistema de ignición para producir la flama, dichos quemadores se clasifican en 2 tipos:

- **Quemadores atmosféricos**

Los cuales producen la llama gracias a la presión atmosférica que sufre el aire que entra en él. Sólo se usan para combustibles gaseosos ya sea gas licuado de petróleo (GLP) o butano.

- **Quemadores mecánicos**

El aire para la combustión es introducido a la fuerza mediante un ventilador, el cual es regulado de forma escalonada, progresiva o modulante. El gas de la combustión entra mediante inyectores, mientras que el líquido entra mediante pulverización.

2.10. Efectos de CO_2 en invernaderos

El CO_2 es un elemento fundamental para el desarrollo de una planta, se encuentra en la atmosfera de 300 a 400 ppm aproximadamente, que en combinación con agua y la luz natural o artificial se produce la fotosíntesis, produciendo glucosa que sirve para el crecimiento de la planta debido a que el 42 % de la estructura que conforma a una planta, está compuesta por carbono (C), y oxígeno que es expulsado nuevamente al ambiente como subproducto de dicho proceso.

En los invernaderos es necesario mantener una fuente de producción de CO_2 , esto se lo realiza mediante inyectores que funcionan a través de bombonas a base de combustión de propano o de otras fuentes como es la sublimación del azúcar que aporta el CO_2 y vapor de

agua necesario para mantener una temperatura y humedad relativa estable dentro de un invernadero,

Los rosales o florícolas tienen aproximadamente 1000 ppm de CO₂ que aumenta su productividad y calidad teniendo como otros beneficios la resistencia a los niveles de salinidad. La cantidad de CO₂ en el ambiente es demasiado bajo para una correcta actividad fotosintética, debido a que existe oxígeno en el aire en una proporción del 21% se produce la foto respiración que es un proceso inverso de la fotosíntesis.

Este proceso de inyección de CO₂ puede realizarse durante cualquier estación del año durante las primeras horas del alba o a primeras horas de la noche, en donde las estomas no presentan estrés debido al exceso de temperatura y luz, lo que produce un mejor aprovechamiento de la rosa para llevar a cabo la fotosíntesis, caso contrario se recomienda ventilar el invernadero de manera natural o forzada y suspender la inyección de CO₂ para evitar que se pierda hacia el exterior. (Yong, 2004).

2.11. Características del dosificador de sacarosa (azúcar morena)

El equipo debe permitir la dosificación de sacarosa con precisión y estabilidad a lo largo del tiempo, permitiendo modificar el caudal del producto a dosificar durante la operación permitiendo calibrar / comprobar el caudal másico dosificado. A continuación, se detallan diferentes requisitos comúnmente empleados:

- El sistema debe suministrar 12kg de sacarosa durante el proceso de sublimación.
- Rango de dosificación: entre 0,5-12 kg/h, valorándose la posibilidad de dosificación a caudales inferiores a 0,5kg siempre que se asegure una precisión mínima.
- No se requiere protección contra explosión.

CAPÍTULO III

3.1. Diseño del Sistema de Dosificación

3.1.1. Introducción

Después de estudiar y analizar los conceptos que son necesarios para el desarrollo del proyecto, se procede a determinar el método de dosificación más adecuado de acuerdo a los requerimientos, incluyendo la implementación, funcionamiento, mantenimiento, costo y las características del elemento a dosificar.

Por tal motivo en este capítulo se realiza el diseño de cada elemento que conforma a un dosificador, realizando los modelos que permitan validar su funcionamiento.

3.1.2. Diseño y selección del sistema para la dosificación

Para el diseño del sistema de dosificación es necesario de un sistema de almacenamiento, en el cual se deposita el elemento a dosificar mediante el uso de un tornillo sin fin u otros sistemas de transportes, con la finalidad de tener el producto listo en su interior al dar inicio al proceso de dosificación.

El dosificador a emplearse manipula un producto alimenticio sacarosa, por lo cual el sistema de almacenamiento deberá cumplir con los siguientes requerimientos proporcionados por la empresa Florícola Rosas del Monte:

- Almacenar 12 Kg del producto, valor estimado para cumplir los requerimientos producción de CO₂ en la florícola siendo un total de 640000 m², dependiendo de los bloques destinados a su uso.
- Soportar el peso total del producto sin deformarse.
- Permitir el flujo constante del producto a suministrar sin estancamientos.
- Desmontable para su mantenimiento y limpieza.
- Su construcción debe ser de un material que no reaccione químicamente con el producto.
- El sistema eléctrico debe poseer una fuente continua de alimentación para su funcionamiento.
- El controlador debe basarse en código abierto con la finalidad de ser modificado a futuro para posibles adaptaciones y evitar conflictos debido a las licencias.
- El interfaz humano maquina debes ser amigable con el usuario para proporcionar un correcto uso de los sistemas del dosificador.

3.1.3. Diagrama funcional del sistema de dosificación

Una vez determinados los parámetros que conforman el sistema de dosificación se debe especificar el proceso a realizarse con la finalidad de especificar su funcionamiento como se muestra en la *Figura 11*.

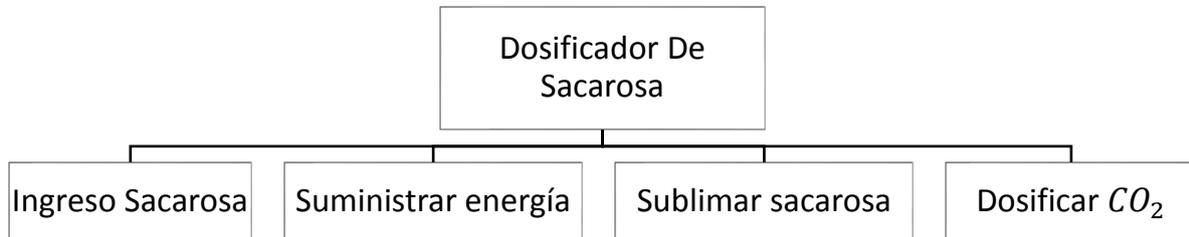


Figura 11. Diagrama funcional del dosificador

• Descomposición funcional

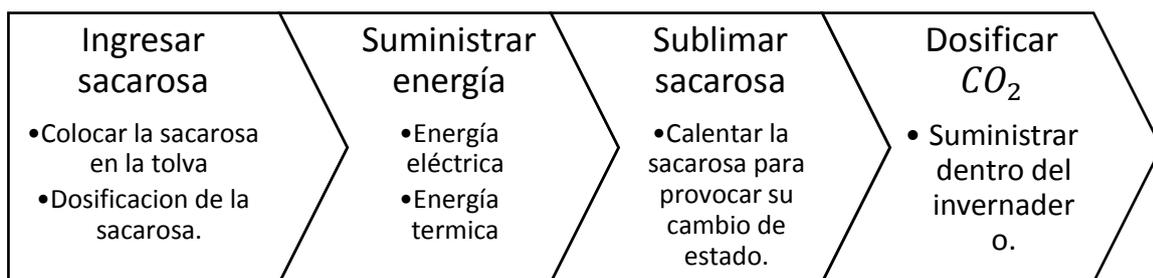


Figura 12. Descomposición funcional del dosificador

• Casa de la Calidad

Dentro de la selección de los materiales se realiza el despliegue de la función QFD, *Quality Function Deployment* por sus siglas en inglés, donde se aplica el método de la casa de la calidad en donde se toma en cuenta la voz del cliente proporcionando un desglose de pasos para la selección de materiales y procedimientos a seguir, además de ser usada comúnmente en el desarrollo de productos o servicios dentro del ámbito de ingeniería. (Belt, 2018) como se muestra en la *Figura 13*.

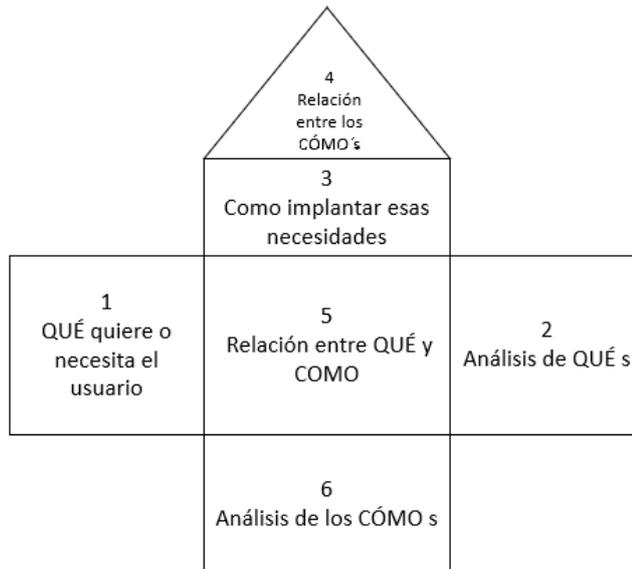


Figura 13. Casa de la Calidad

Fuente: (Yacuzzi, 2018)

En el núcleo del QFD se relaciona los requerimientos de los clientes (RC), datos que fueron obtenidos mediante encuestas al cliente, donde se obtuvo las características técnicas (CT) necesarias para satisfacer las necesidades del nuevo producto como se muestra *Tabla 1*.

Requerimientos del Cliente (Que's)
<i>Ligera</i>
<i>Automática</i>
<i>Económica</i>
<i>Ergonómica</i>
<i>Maniobrable</i>
<i>Mantenimiento</i>
<i>Durabilidad</i>
<i>Seguridad</i>

Tabla 1. Requerimientos del Cliente

En la *Figura 11* los RC definen la calidad o parámetros que el cliente utiliza para describir el producto y sus características deseables, mientras que las CT son proporcionadas por el diseñador del nuevo producto.

Una vez establecidos los *RC* se procede a realizar la matriz morfológica que incluye la forma de dosificación ya sea de manera vertical u Horizontal en donde la opción vertical es la más viable según los *RC* como se muestra en la *Tabla 2*.

	Orientación		Azul= Vertical		Naranja= Horizontal		
	Vertical	<i>Horizontal</i>	1	2	3	4	5
Ligera	4	3					
Automática	4	4					
Económica	4	2					
Ergonómica	4	2					
Maniobrable	4	3					
Mantenimiento	4	3					
Durabilidad	5	5					
Seguridad	5	5					

Tabla 2. Matriz Morfológica

Una vez terminada la matriz morfológica se procede a proporcionar posibles soluciones o mejoras en el desarrollo del sistema de dosificación de sacarosa, estos son proporcionados por el diseñador del dosificador ponderando los materiales y componentes que incluirá el nuevo dosificador como se muestra en la *Tabla 3*.

Características Técnicas (Como 's)	Captar energía	Regular energía	Transportar energía	Sublimación	Forma de suministro	Material

Tabla 3. Requerimientos del diseñador

Fuente (Belt, 2018).

En la *Tabla 3*. Se aprecia los parámetros de las características técnicas (CT) proporcionadas por diseñador del dosificador, los cuales se tomó en cuenta la descomposición funcional del sistema.

Concluida la inclusión de las CT se procede a proporcionar el aporte que proporcionan las mismas y se correlacionan uno con otro para el beneficio del dosificador de sacarosa. (Yacuzzi, 2018).

- ▲ El parámetro maximizara el dosificador.
- ▼ El parámetro minimizara el dosificador.
- X El parámetro será neutro.
- ++ Correlación positiva fuerte.
- + Correlación positiva.
- ■ Correlación negativa.

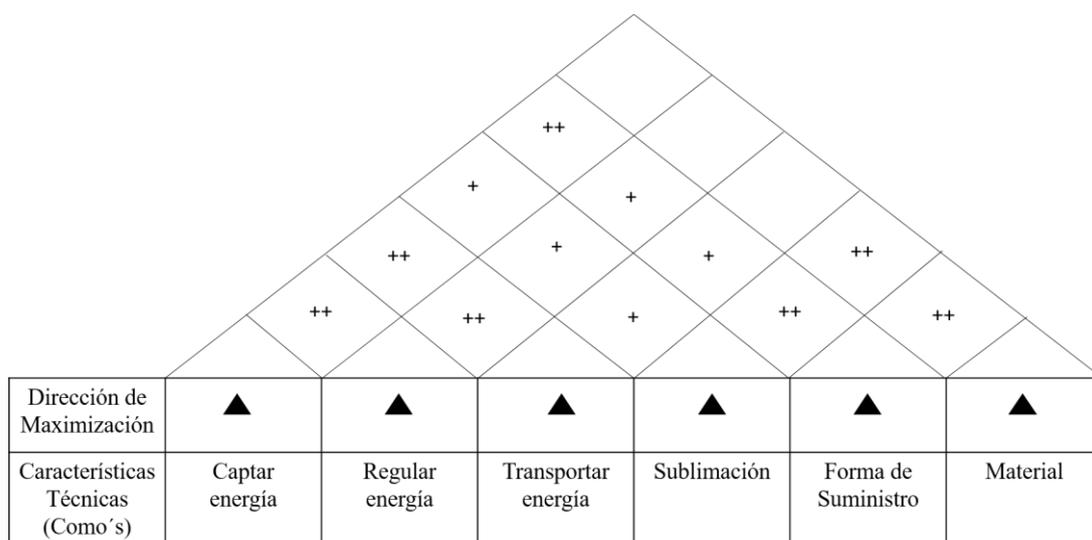


Figura 14. Aporte de los RT.

Fuente (Belt, 2018)

En la *Figura 14* se aprecia las correlaciones efectuadas de acuerdo a las encuestas realizadas, para lo cual, se las coloco un indicador de maximización debido a que las CT aportaran solo ventajas en desarrollo del producto.

- ▲ Indicador de maximización de CT en el diseño

Realizado el respectivo análisis de las CT se procede a completar el núcleo de la matriz conformados por las intersecciones entre las filas de los RC y las columnas de las CT, la cual, indica la correlación entre los requerimientos de los clientes (el "qué") y las características técnicas capaces de satisfacerlas (el "cómo"). Esta correlación expresa las necesidades del cliente consideradas por las CT determinados, o, en otras palabras, cuánto afecta a cada RC una CT específica. (Yacuzzi, 2018).

Símbolos y su valor

Θ	Relación fuerte	9
O	Relación Media	3
\blacktriangle	Baja Relación	1

Tabla 4. Valores de ponderación

Fuente (Belt, 2018)

Es usual utilizar los símbolos y ponderaciones asociadas de la *Tabla 1*, para establecer una correlación con los datos técnicos y estadísticos derivados de encuestas o diseños experimentales. Fuente (Yacuzzi, 2018).

Los valores se evalúan de forma vertical de acuerdo a los parámetros dados por el cliente permitiendo relacionar y obtener los parámetros de ingeniería más relevantes para proceder a la ponderación para su selección como se muestra en la *Tabla 5*.

CT "Como 's"	Captar energía	Regular energía	Transporte de energía	Sublimación	Forma de suministro	Materia l
RC "Qué 's"						
Ligera	\blacktriangle	\blacktriangle	\blacktriangle	O	O	Θ
Automática	O	Θ	Θ	O	O	
Económica	O	O	Θ	O	O	O
Ergonómica						Θ
Maniobrable						Θ
Mantenimiento				Θ	Θ	O
Durabilidad	\blacktriangle	\blacktriangle	\blacktriangle	O	O	Θ
Seguridad	Θ	Θ	Θ	Θ	Θ	Θ

Tabla 5. Aporte de los RT.

Fuente (Belt, 2018)

Las operaciones realizadas en la *Tabla 1* representan el núcleo de la casa de calidad que permite obtener información de cuál es el parámetro de ingeniería más relevantes dentro del piso de la casa de la calidad y los que se deben tratar para su selección adecuada tomando en cuenta los que tienen un valor elevado y proceder a la ponderación de cada elemento.

CT "Como 's"	Captar Energía	Regula r energía	Transport e de energía	Sublimació n	Forma de suministr o	Materi al
Objetivo o valor limite	0	0	0	0	0	0
Nivel de dificultad 0= mínimo 10= máximo	5	5	5	5	5	5
Peso Relativo	11	13,2	16,1	16,08	16,08	26

Tabla 6.Resultado del piso de la casa de la calidad

Fuente (Belt, 2018)

Dentro del piso de la casa de la calidad se encuentra el nivel de dificultad, este se relaciona con los parámetros establecidos por el diseñador, es decir, muestra la dificultad para cumplir un objetivo, siendo calificado entre 0 (fácil de realizar) y 10(Difícil de realizar) dependiendo del parámetro de diseño. (Yacuzzi, 2018).

Dentro del peso relativo se observa el resultado final de las CT las cuales muestran que los valores más altos requieren más recursos para su elaboración e implementación para lo cual se procede a establecer valores para su ponderación.

3.1.4. Selección de elementos para la construcción

Dentro de la selección de los materiales mecánicos y electrónicos se introducen a un proceso de ponderación en base a criterios de diseño, el cual consiste en calificar recibiendo un valor numérico con su propia interpretación, proporcionando un desglose de pasos para la selección de alternativa a seguir, además de ser usada comúnmente en el desarrollo de productos o servicios dentro del ámbito de ingeniería como se muestra en la *Tabla 7*. (Días, 2019)

<i>Significado</i>	<i>Calificación</i>	<i>Ponderación</i>
<i>Insatisfactorio</i>	0	0% - 35%
<i>Regular</i>	1	36% - 50%
<i>Bueno</i>	2	51% - 75%
<i>Muy bueno</i>	3	76% - 89%
<i>Optimo</i>	4	90% - 100%

Tabla 7. Criterios de ponderación

Fuente (Días, 2019)

- **Orientación**

<i>Criterio</i>	<i>Horizontal</i>	<i>Vertical</i>
<i>Estructura y elementos Mecánicos</i>	1	2
<i>Elementos de Automatización</i>	1	3
<i>Dimensiones</i>	1	4
<i>Suma</i>	3	9

Tabla 8. Orientación de dosificación

- **Captar Energía**

<i>Criterio</i>	<i>Red eléctrica</i>	<i>Baterías</i>
<i>Disponibilidad</i>	4	2
<i>Elementos Electrónicos</i>	3	2
<i>Costo</i>	3	3
<i>Peso</i>	3	2
<i>Suma</i>	13	11

Tabla 9. Procesos de captación de energía.

- **Regular Energía eléctrica**

<i>Criterio</i>	<i>Reguladores</i>	<i>Circuitos Integrados</i>
<i>Disponibilidad</i>	4	3
<i>Reguladores de voltaje</i>	3	2
<i>Costo</i>	3	2
<i>Resistencia térmica</i>	3	3
<i>Suma</i>	<i>13</i>	<i>10</i>

Tabla 10. Proceso de regulación de energía

- **Transporte de Energía**

<i>Criterio</i>	<i>Cable sólido</i>	<i>Cable flexible</i>
<i>Disponibilidad</i>	4	4
<i>Manipulación y conexión en borneras</i>	2	4
<i>Costo</i>	3	3
<i>Resistencia térmica</i>	3	3
<i>Suma</i>	<i>12</i>	<i>14</i>

Tabla 11. Transporte de energía

- **Sublimación**

<i>Criterio</i>	<i>Combustión de GLP</i>	<i>Inducción</i>
<i>Disponibilidad</i>	4	3
<i>Elementos de control de temperatura</i>	3	1
<i>Costo</i>	3	1
<i>Aislamiento</i>	3	3
<i>Suma</i>	<i>13</i>	<i>8</i>

Tabla 12. Proceso de sublimación

- **Dosificación de CO₂**

<i>Criterio</i>	<i>Aire comprimido</i>	<i>Soplador de Aire</i>
<i>Disponibilidad</i>	2	3
<i>Elementos de control del flujo de aire</i>	3	3
<i>Costo</i>	1	4
<i>Suma</i>	6	10

Tabla 13. Proceso de dosificación

- **Selección de los materiales del dosificador.**

Para la selección del material de la tolva y estructura se incluyen los materiales que ofrecen propiedades mecánicas fiables y de gran calidad tomando en cuenta la resistencia a las altas temperaturas, resistencia a la corrosión y no reaccionar químicamente con el material a dosificar, para ello se usa aceros inoxidable, tomando en cuenta lo anteriormente mencionado se realiza la ponderación para proceder a el análisis de elementos finitos.

<i>Criterio</i>	<i>Acero al carbón</i>	<i>Acero inoxidable</i>
<i>Disponibilidad</i>	3	3
<i>Costo</i>	3	3
<i>Resistencia térmica</i>	4	4
<i>Resistencia a la corrosión</i>	3	4
<i>Reacción química</i>	3	4
<i>Límite de fluencia</i>	3	4
<i>Módulo de elasticidad</i>	3	4
<i>Suma</i>	22	26

Tabla 14. Criterios de ponderación del material

Los resultados obtenidos muestran como la opción más relevante es el acero inoxidable, por consecuente, se selecciona el tipo AISI-316, a continuación se detalla las propiedades mecánicas en la *Tabla 15*:

<i>Tipo de Aleación</i>	<i>Acero al Cromo-Níquel-Molibdeno.</i>
<i>Límite de fluencia ($\frac{kN}{mm^2}$)</i>	460
<i>Módulo de elasticidad ($\frac{kN}{mm^2}$)</i>	190
<i>Coefficiente de Poisson</i>	0.27
<i>Densidad ($\frac{g}{m^3}$)</i>	7,9
<i>Dilatación Térmica (K)</i>	$1,6 \cdot 10^{-5}$
<i>Soldabilidad</i>	<i>Muy buena</i>

Tabla 15. Propiedades mecánicas AISI-316

Fuente: (L.Mott, 2006)

3.1.5. Diseño de la Tolva

Para obtener la densidad de la sacarosa, se lo realiza mediante un volumen fijo, es decir, se toman varias muestras de azúcar y se realizan mediciones del peso del producto que puede contener. Para un recipiente cilíndrico con las siguientes medidas: Alto 0.05 m, y un diámetro de 0.05 m, dando un volumen de $0.0001307 m^3$ y 0,014 kg. (MOYA BEJARANO, 2016)

Mediciones De muestras de Azúcar Morena

<i>Mediciones</i>	<i>Mediciones con recipiente</i>	<i>Mediciones sin recipiente</i>
1	102	88
2	103	89
3	105	91
4	116	92
5	108	94
6	107	93
7	109	95
8	102	88
9	103	89
10	105	91
<i>Suma Total</i>	1050	910

	<i>Resultados</i>	
<i>Media</i>	104,97	90,97
<i>Varianza</i>	6,22	6,22
<i>Desviación Estándar</i>	2,49	2,49
<i>Dato menor</i>	102	95
<i>Dato mayor</i>	109	91
<i>Mediana</i>	105	91

Tabla 16. Muestreo de la sacarosa
Fuente: (MOYA BEJARANO, 2016)

Realizadas las mediciones del peso de la sacarosa contenida en el recipiente y restando el peso del recipiente se obtienen los datos mostrados en la tabla. (MOYA BEJARANO, 2016)

$m = 0,091$ kg (media de la muestra sin el recipiente).

$$\rho P = \frac{ms}{V} = 696.021 \frac{kg}{m^3}$$

$$\rho = \frac{m}{V} = 5.315 \frac{kN}{m^3}$$

Ecuación 2. Densidad del producto

donde,

ρ es la densidad del producto.

ρP es la densidad promedio del producto.

m es la masa calculado.

ms es el promedio de masas calculados.

V es el volumen del recipiente contenedor.

Tomando en cuenta la densidad obtenida de la azúcar morena se calcula el volumen a ocupar por 12 Kg .

$$V = \frac{m}{\rho} = 0.017m^3$$

Ecuación 3. Fórmula del volumen de un recipiente

De acuerdo al tipo de elemento en este caso sacarosa la tolva a usarse es una sección cónica a 65° de inclinación, debido a que la compresión gradual es mayor a la que ofrece una tolva de sección cuadrada. (Cruz, 2011)

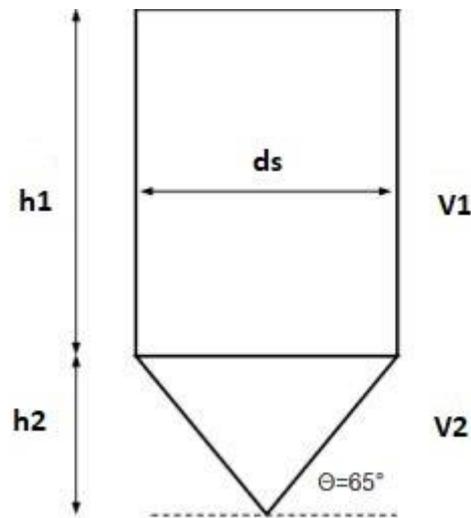


Figura 15. Silo.

Fuente: (Cruz, 2011)

El volumen geométrico de la tolva viene dado por las siguientes ecuaciones:

$$V1 = \frac{\pi * ds^2 * h1}{4} = 0.006 m^3$$

$$V2 = \frac{\pi * \tan(65^\circ) * ds^2}{244} = 0.015 m^3$$

$$Vt = V1 + V2 = 0.022 m^3$$

Ecuación 4. Volumen total de la tolva

donde,

Vt es el volumen total de la tolva = 0.022 m³,

Ds es el diámetro mayor de la tolva = 0.45m,

h1 es la altura del cilindro de la tolva = 0.05m

Se toma en cuenta la relación de esbeltez de $re = 1,2$ para determinar las dimensiones de la tolva:

$$h = re * D = 0,456 m;$$

$$h2 = \frac{ds * \tan(65^\circ)}{2} = 0,407 m;$$

Ecuación 5. Altura de la tolva

por lo tanto:

$$ht = h1 + h2 = 0,457 \text{ m}$$

Ecuación 6. Altura total de la Tolva

Una vez determinadas las dimensiones se cumple con los requerimientos establecidos para el almacenamiento del dosificador, pero por motivo de seguridad se sobredimensionan los valores obtenidos al inmediato superior con el fin de garantizar la seguridad de los usuarios quedando de la siguiente manera:

$$\text{Diametro mayor } (Ds) = 0,40\text{m.}$$

$$\text{Diametro menor } (Dm) = 0,044 \text{ m.}$$

$$\text{Altura } (h) = 0,46 \text{ m.}$$

$$\alpha = 65^\circ.$$

3.1.6. Propiedades del material almacenado

Para proceder al cálculo de las cargas que actúan sobre la tolva se debe tomar en cuenta las propiedades del material almacenado mostradas en la *Tabla 12*:

<i>Densidad</i>	$Ds = 5,315 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$
<i>Coefficiente de rozamiento en las paredes</i>	$\mu = 0,45$
<i>Relación de presión horizontal</i>	$ks = 0,5$
<i>Propiedades Acero AISI-316</i>	$\sigma F = 460 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2} \quad E = 190 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2}$

Tabla 17. Propiedades del material

Fuente: (Certificacion, 2003)

3.1.7. Clasificación de la tolva y silo

Para clasificar el sistema se debe en primer lugar determinar su capacidad en función a su tamaño, la geometría y el patrón de flujo de descarga del material contenido dentro de la tolva, en donde, el tamaño y la geometría dependen del volumen, la forma de descarga y las propiedades del material almacenado. Por lo general el depósito está conformado por un cilindro ubicado de forma vertical con un fondo de paredes inclinadas de diferentes secciones, que en este caso será de sección circular.

La relación entre la altura del silo y su diámetro influye en las cargas que produce el material almacenado y se los clasifica de la siguiente manera, (Cruz, 2011):

$$\frac{ht}{ds} > 1.5 \text{ Esvelto}$$

$$\frac{ht}{ds} < 1.5 \text{ Compacto}$$

Remplazando los datos en la ecuación se obtiene:

$$\frac{ht}{ds} = 1.204;$$

Donde a el sistema se lo toma como un silo compacto.

Una vez determinado el tipo de silo que corresponde a nuestro sistema se procede a calcular su capacidad de carga para determinar la clase a la que pertenece:

$$Cs = \pi * \left(\frac{ds}{2}\right)^2 * ht * Ds = 0.276 \text{ kN}$$

Ecuación 7. Capacidad de almacenamiento del silo.

Donde Cs es la capacidad de almacenamiento del silo.

ds es el diámetro superior del silo

ht es la altura total del silo

Ds es la densidad de la sacarosa

El silo puede estar clasificado en Clase 1, con capacidad menor a 1000 kN, (Cruz, 2011)

3.1.8. Cálculo de presiones

Para el cálculo de las presiones se debe tomar en cuenta que cuando el material comienza a fluir ejerce presiones sobre las paredes del contenedor a diferencia de cuando el material se encuentra en estado estacionario, manifestándose ciertos tipos de presiones en el transcurso de la descarga del material como se muestra en la *Figura 16*.

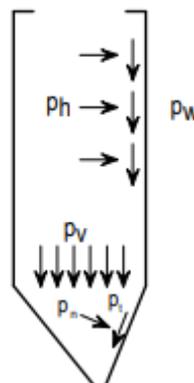


Figura 16. Presiones

Fuente: (Cruz, 2011)

3.1.8.1. Presión horizontal, vertical y de fricción

El material almacenado suele presentar propiedades distintas en momentos distintos dando lugar a cambios de presión. Por lo tanto, deben tomarse en cuenta teniendo presentes varias condiciones como sus propiedades para obtener el valor de carga más adverso. La presión más desfavorable se obtiene cuando K_s presenta el valor máximo y el mínimo. La carga de fricción en la pared se da cuando μ y K_s presentan ambos valores máximos.

Para tener en cuenta la viabilidad de las propiedades de los materiales con un cierto grado de granularidad, y poder obtener valores que representan las propiedades extremas de los materiales se deben de aplicar los valores de conversión de 0.9 y 1.15 a los valores de μ y k_s , de este modo para calcular las presiones máximas se emplearan las siguientes combinaciones, (Certificacion, 2003)

<i>Ph Maximo</i>	$k_s = 1.15$	$\mu_1 = 0.9$
<i>Pv Maximo</i>	$k_s = 0.9$	$\mu_1 = 0.9$
<i>Pw Maximo</i>	$k_s = 1.15$	$\mu_1 = 1.15$

Tabla 18. Valores k_s y μ para presiones.

Fuente: (Cruz, 2011)

Donde se obtiene las siguientes expresiones:

$$\mu_1 = \mu * 0,9 = 0,405$$

$$k_{s1} = K_s * 0,9 = 0,45$$

Donde μ_1 es el coeficiente de rozamiento en las paredes

k_{s1} es la relación de presión horizontal

Una vez obtenidos estos valores se procede calcular dichas cargas:

$$A = \pi * \left(\frac{ds}{2}\right)^2 = 0,113 \text{ m}^2$$

$$U = 2 * \pi * \left(\frac{ds}{2}\right) = 0,194 \text{ m}$$

$$P_v = \frac{D_s * A}{\mu_1 * k_{s1} * U} * \left(1 - e^{-ht * k_{s1} * \frac{\mu_1 * U}{A}}\right) = 1,619 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Ecuación 8. Presión vertical máxima

$$\mu_2 = \mu * 1,15 = 0,518$$

$$k_{s2} = K_s * 0,9 = 0,45$$

$$P_h = \frac{D_s * A}{\mu_2 * k_{s2} * U} * \left(1 - e^{-ht * k_{s2} * \frac{\mu_2 * U}{A}}\right) = 1,462 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Ecuación 9. Presión horizontal máxima

$$\mu_3 = \mu * 1,15 = 0,518$$

$$ks_3 = K_s * 1.15 = 0,575$$

$$P_w = \frac{D_s * A}{\mu_3 * ks_3 * U} * \left(1 - e^{-ht * ks_3 * \frac{\mu_3 * U}{A}} \right) = 1,292 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Ecuación 10. Presión de fricción máxima

Donde P_v es la presión vertical

P_h es la presión horizontal

P_w es la presión de fricción.

A es la sección transversal de la pared vertical.

U . es el perímetro interior.

D_s es la densidad de la sacarosa.

μ_1 es el coeficiente de rozamiento.

ks_1 es la relación de presión horizontal.

ht es la altura total

3.1.8.2. Cargas debido a la descarga

Las presiones debido a las descargas se componen de dos tipos de cargas, en donde se incluyen los coeficientes de 1,3 para la carga horizontal y 1,1 para la carga de rozamiento. (Certificación, 2003).

$$P_{he} = ch * P_h = 0.85 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Ecuación 11. Carga equivalente horizontal

$$P_{we} = cw * P_w = 0.423 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Ecuación 12. Carga de rozamiento equivalente

Donde, P_{he} es la carga equivalente horizontal. .

P_{we} es la carga de rozamiento equivalente.

ch es el coeficiente de carga horizontal.

cw es el coeficiente de carga para el rozamiento.

3.1.8.3. Espesor de la tolva

Terminado el proceso del cálculo de cargas se procede a sumar para obtener el espesor de las paredes de la tolva. El factor de seguridad a utilizarse es de 2

$$Pf = Ph + Pw + Pv + Phe + Pwe = 3,939 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Ecuación 13. Carga total dentro de la tolva

$$Th = Fsg * Pf * \frac{ds}{2} = 1,497.10^3 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2}$$

Ecuación 14. Fuerza de tracción periférica

$$sch = \frac{th}{\sigma_f} = 0,003 \text{ mm}$$

Ecuación 15. Espesor teórico de la tolva

Donde Pf es la carga total dentro de la tolva.

Th es la fuerza de tracción periférica

sch es el espesor teórico de la tolva.

3.2. Análisis de elementos finitos

En el proceso de diseño se debe realizar el análisis de elementos finitos de los componentes que formaran parte del sistema de dosificación, para el cual se resume en los resultados obtenidos a continuación:

3.2.1. Verificación por resistencia de materiales

La tensión de compresión vertical en la base de la tolva es igual a la sumatoria de todas las cargas verticales que actúan sobre las paredes que la componen, donde las únicas fuerzas en actuar sobre ellas son las presiones de rozamiento del material almacenado. La compresión axial en la base de la tolva e igual a la suma de todas las presiones de rozamiento calculadas anteriormente. (Cruz, 2011)

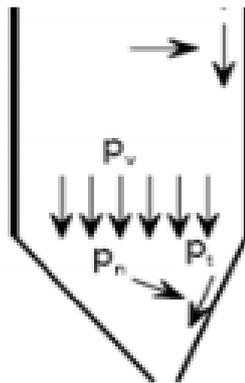


Figura 17. Cargas dentro de la tolva

Fuente: (Cruz, 2011)

$$Phmx = Ds * ht = 2,431 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$r = \frac{ds}{2} = 0,19m$$

$$\sigma_1 = \frac{Phmx * r}{sch} = 141.976 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_2 = \frac{Phmx * r}{2 * sch} = 70,988 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau = \frac{\sigma_1}{2} = 70,988 \frac{N}{mm^2}$$

Donde $Phmx$ es la presión horizontal máxima.

R es el radio del diámetro superior de la tolva.

σ_1 y σ_2 son los esfuerzos principales.

Momento cortante

sch es el espesor de la pared de la tolva.

Aplicando la teoría de falla de Von Misses se obtiene el siguiente resultado.

$$\sigma_f = 460 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - (\sigma_1 * \sigma_2)} = 122,955 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{eq} < \sigma_f$$

Donde σ_f es el límite de fluencia del acero inoxidable AISI 316.

σ_{eq} es el esfuerzo equivalente teórico q produce sobre el acero AISI 316.

De lo cual se concluye que el esfuerzo equivalente no supera al límite de fluencia del acero inoxidable AISI 316 siendo una confirmación de los cálculos realizados mostrándonos la viabilidad en el diseño.

3.3. Simulación de esfuerzos en la tolva

Para proceder a la respectiva simulación de los elementos diseñados es necesario determinar las condiciones de frontera donde se especifica las zonas fijas y zonas en las que se aplican las cargas como se muestra en la *Tabla 19*.

<i>Pieza</i>	<i>Zonas fijas</i>	<i>Zonas de Cargas</i>
<i>Tolva</i>	Superficie cilíndrica superior (Flechas verdes)	Superficie cónica interna sometida a 117,72 N (Flechas violetas)

Tabla 19. Condiciones de frontera

La *Figura 17* simboliza las presiones internas máximas que va a tolerar la tolva en toda la superficie seleccionada producida por la sacarosa.

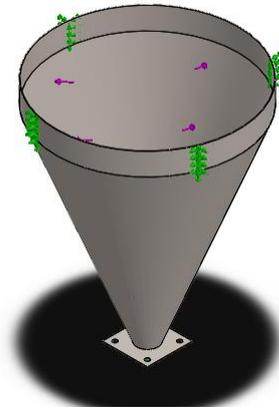


Figura 18. Fuerzas que actúan en la tolva

En la *Figura 18* se aprecia los resultados de la simulación de las fuerzas que actúan en la tolva, cabe recalcar que la simulación realizada fue en base a los elementos disponibles en el medio comercial 1 mm, donde se observa las zonas con los esfuerzos mayores, el cual tiene un valor de $7.525 \cdot 10^4 \frac{N}{m^2}$ mismo que no supera a la resistencia del material. $1,724 \cdot 10^8 \frac{N}{m^2}$

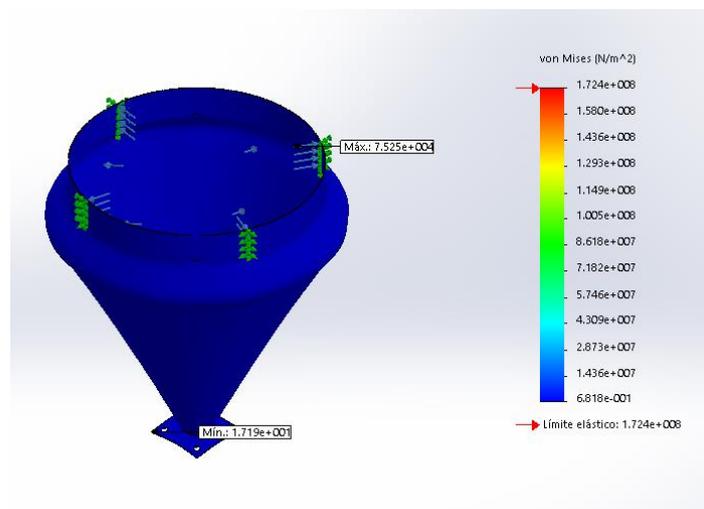


Figura 19. Tensión de Von Misses en la tolva

a *Figura 19* da razón al análisis anterior debido a que el factor de seguridad mínimo de 2 es mostrado en toda la tolva, por la razón de que no se encuentra bajo grandes cargas en toda su superficie, dando validez a el diseño.

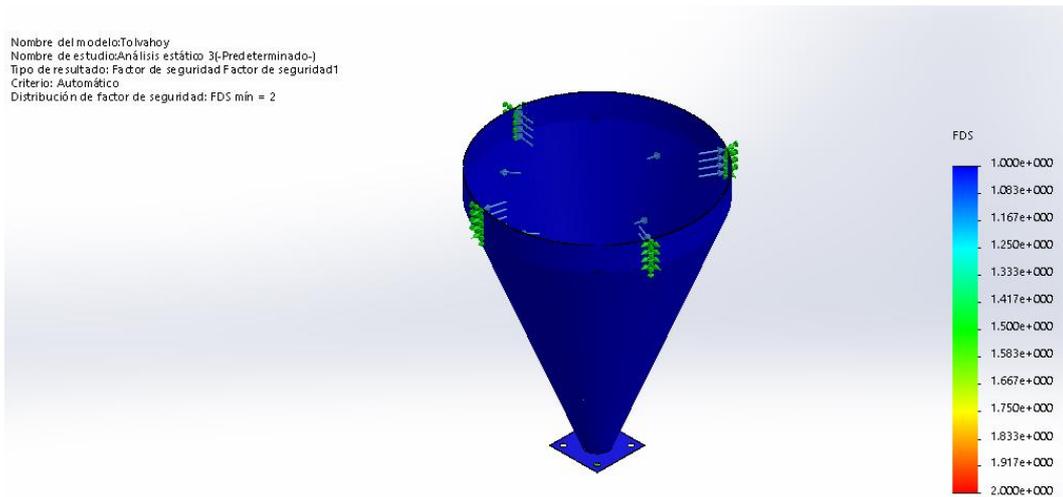


Figura 20. Factor de seguridad de la tolva.

Considerando los resultados obtenidos dentro de la simulación del análisis de movimiento, se procede a realizar la dinámica de fluidos por computadora con la finalidad de determinar la velocidad de descarga de la sacarosa, en donde, se la tomó como fluido añadiendo su densidad promedio obtenida en la Tabla 14

El flujo de sólidos a través de un orificio depende de la capacidad de las partículas para dilatar en la región de la abertura. El flujo se producirá si la fuerza de cizalladura (deslizamiento entre partículas) ejercida por el material excede la resistencia a la cizalladura del polvo cerca de la salida y se realiza con la siguiente ecuación. (Blanco, 2019)

$$\dot{m} = \rho P * Dm^{2.5} * g^{0.5} * \left(\frac{1 - \cos(65^\circ)}{2 * \sin(65^\circ)} \right)^{0.5} = 0,676 \frac{kg}{s}$$

Ecuación 16. Flujo volumétrico dentro de la tolva

En la *Figura 16* se evidencia el flujo de la sacarosa la cual ocupa todo el volumen de la tolva en donde se debe encontrar la velocidad de descarga, para ello se ingresa el resultado obtenido al software, el cual proporciona el siguiente resultado como velocidad de descarga.

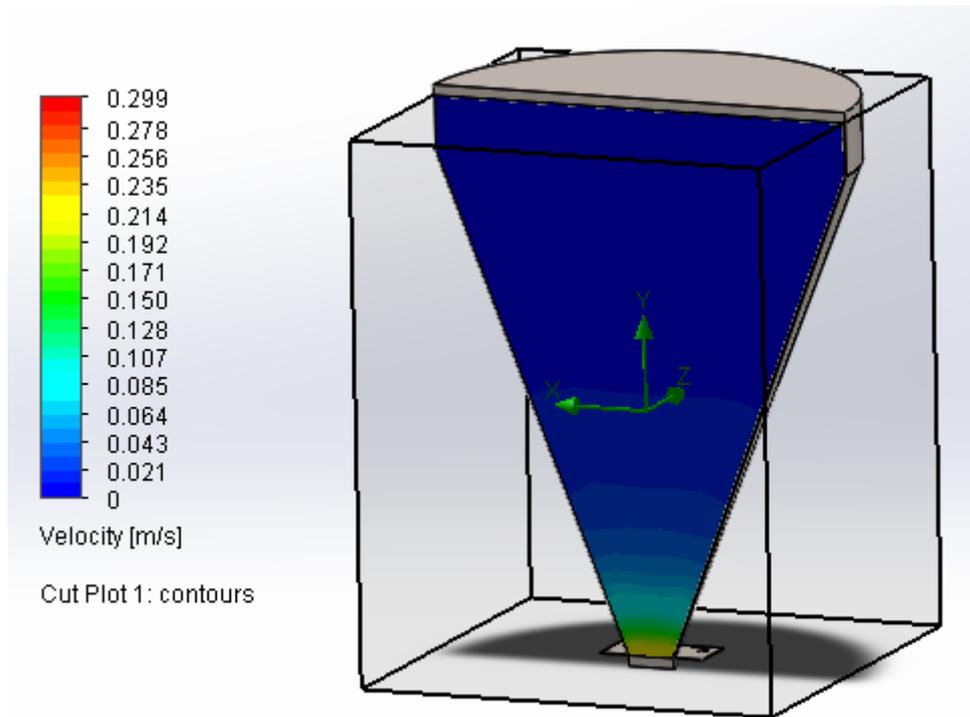


Figura 21. Dinámica de fluidos por computadora.

3.4. Selección y análisis de la estructura base

Para proceder a el análisis de la estructura base se debe seleccionar el tipo de perfil el cual servirá de soporte para los demás sistemas del dosificador.

<i>Criterio</i>	<i>Barra sólida</i>	<i>Sección circular</i>	<i>Sección cuadrada</i>
		<i>hueca</i>	<i>hueca</i>
<i>Disponibilidad</i>	3	3	4
<i>Costo</i>	2	2	4
<i>Peso</i>	2	4	4
<i>Resistencia a la corrosión</i>	4	4	4
<i>Manufactura</i>	3	3	4
<i>Suma</i>	14	16	20

Tabla 20. Criterios de ponderación de la estructura

Fuente: (Días, 2019)

Para la construcción de toda la estructura la más óptima es la sección cuadrada hueca inoxidable de 25 x 25 x 1 mm AISI-316.

Los soportes de la tolva será 4 tubos de sección cuadrada hueca con la capacidad de soportar $0,118kN$ que es el peso total del material a ser dosificado y la masa de la tolva los cuales serán calculados por pandeo. (Cruz, 2011).

Datos:

Carga total: $Ct = 0,118kN$

Carga por columnas: $Cc = \frac{Ct}{4} = 0,029kN$

Longitud: $L1 = 0,7m$

Fijación: Empotrado-Articulado $k1 = 0,7$

Peso de la tolva: $Ctlv = 0.03084 kN$

Propiedades del Aero inoxidable AISI 316:

Altura: $Ht = 0,025m$

Área: $At = 1,448. 10^{-6}m^2$

Módulo de elasticidad: $Et = 190 GPa$

Límite de fluencia: $\sigma f = 460 Mpa$

Espesor: $sch = 0,001m$

Momento de inercia: $Ix = \frac{L1^4 - (L1 - sch)^4}{12} = 1,141. 10^{-4}m^4$

Radio de giro $rg = \sqrt{\frac{Ix}{At}} = 8876 mm$

Factor de fijación: $kf = 1$

Relación de esbeltez: $Ix = \frac{k1 * Le}{rg} = 0,079$

Constante de la columna: $Cc = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * Et}{\sigma f}} = 83,01$

Carga Critica: $Ccr = At * \sigma f * \left(1 - \frac{\sigma f * re^2}{4 * (\pi^2 * Et)}\right) = 0,796 kN$

Factor de seguridad: $Fsc = \frac{Ccr}{Ct + Ctlv} = 5,3$

El resultado de los cálculos se muestra un alto nivel de confiabilidad en el análisis de tubo cuadrado inoxidable de 25 x 25 x 1 mm AISI-316. El cual para validar dicho resultado será sometido a su respectiva simulación por software como se muestra en la *Figura 22*.

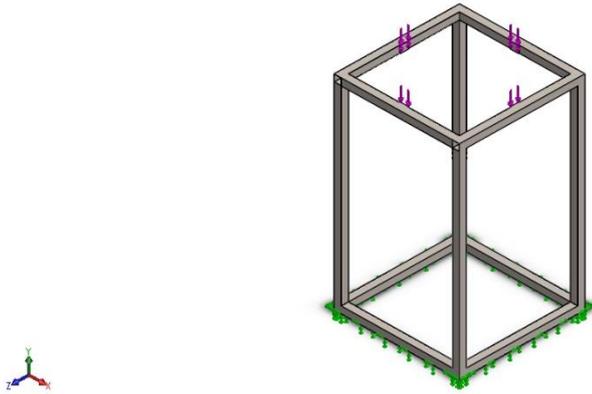


Figura 22. Cargas en la estructura.

La tolva se apoyará en los cuatro puntos donde se encuentran concentradas la carga crítica de $0,796 \text{ kN}$, obtenida como resultado de los cálculos, permitiendo obtener un resultado aproximado a la realidad.

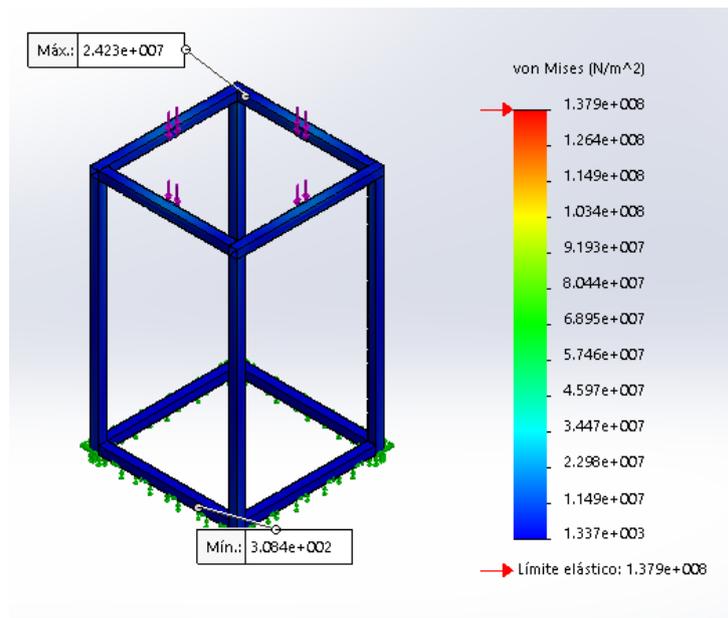


Figura 23. Tensión Von Misses en la estructura

En la *Figura 18* se muestra los resultados de la simulación de las fuerzas que actúan en la estructura, donde se observa las zonas que se encuentran con esfuerzos mayores, el cual tiene un valor de $2,423 \cdot 10^7 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ mismo que no supera a la resistencia del material. $1,379 \cdot 10^8 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$.

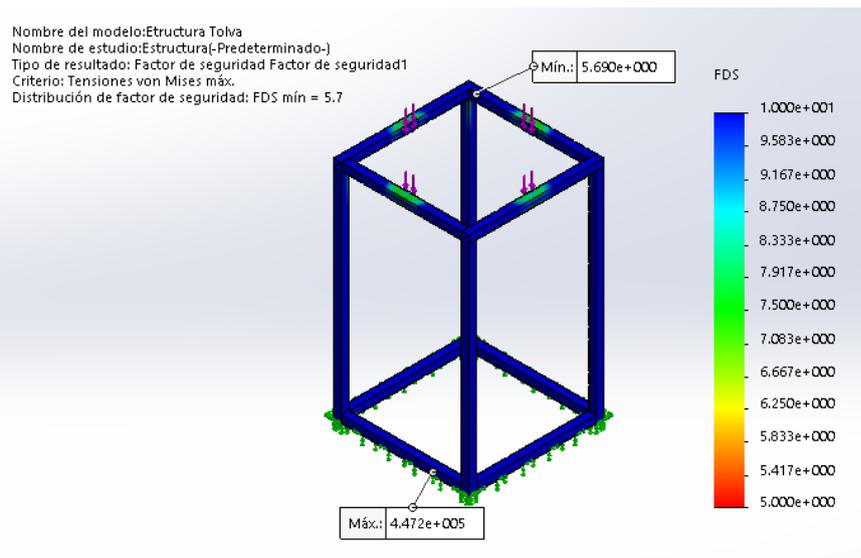


Figura 24. Factor de seguridad

La *Figura 19* da razón al análisis anterior debido a que en la imagen se observa el factor de seguridad mínimo de 5.7, es mostrado en toda la estructura, por la razón de que no se encuentra bajo grandes cargas en toda su superficie, aun así no tiene parecido con el resultado obtenido analíticamente por lo cual se procede a realizar un análisis de convergencia.

Dentro de este análisis se generaron refinamientos de mallas de elementos finitos con el fin de realizar un estudio de convergencia por carga, el porcentaje de la densidad de la malla se muestra en la tabla 12, donde la convergencia de del factor de seguridad fue variando al modificar la densidad de la misma, donde para cada análisis se calcularon las diferencias porcentuales de los resultados numéricos con respecto al analítico, en donde el error debe ser menor al 5% para satisfacer la viabilidad en el diseño. (Nino J, 2017).

ANÁLISIS DE CONVERGENCIA

DENSIDAD DEL MALLADO	Tensión (Von Misses)		Factor de seguridad	Error (%)
	Máxima	Mínima		
60%	$2,387 \cdot 10^7$	$2,383 \cdot 10^2$	6	7
70%	$2,373 \cdot 10^7$	$2,183 \cdot 10^2$	5,7	4
80%	$2,347 \cdot 10^7$	$9,909 \cdot 10^2$	5,5	2
85%	$2,605 \cdot 10^7$	$1,454 \cdot 10^2$	5,3	0

Tabla 21. Criterios de convergencia

Fuente: (Nino J, 2017)

La *Figura 23* muestra la convergencia del método analítico con la simulación, dando valides en el diseño al coincidir los resultados al modificar la densidad de la malla.

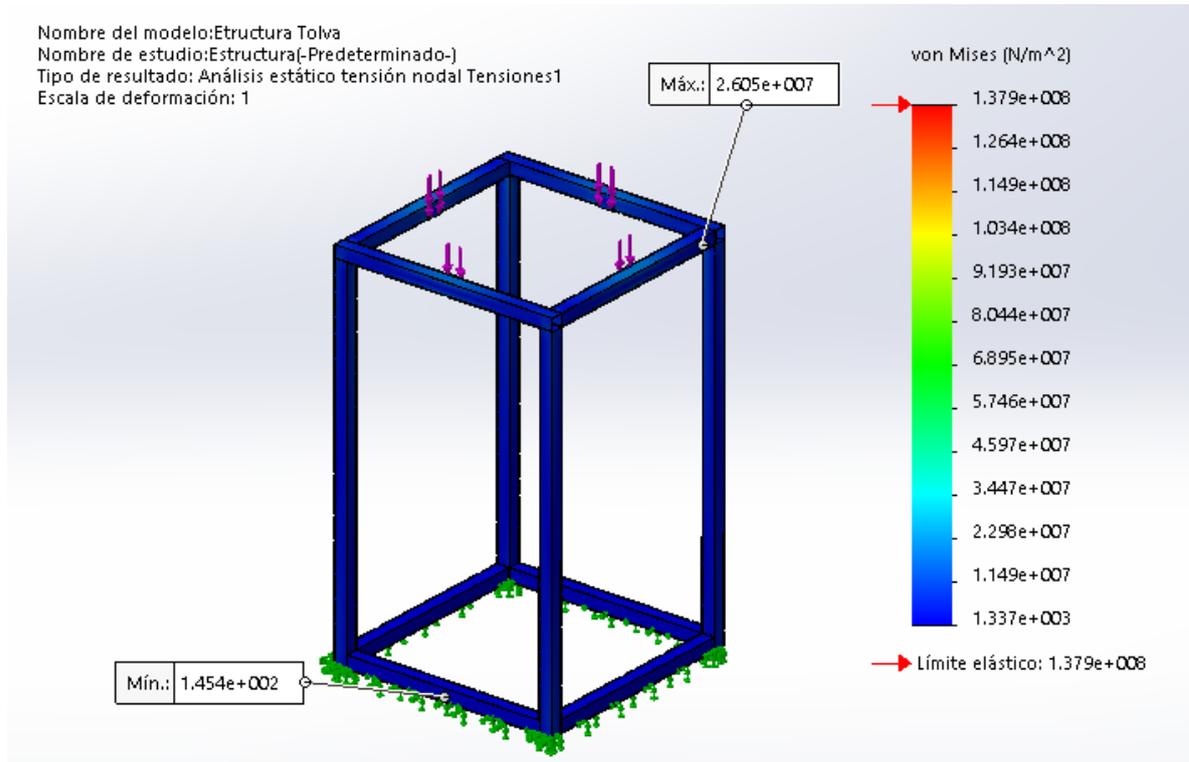


Tabla 22. Tensión Von Misses 85% mallado

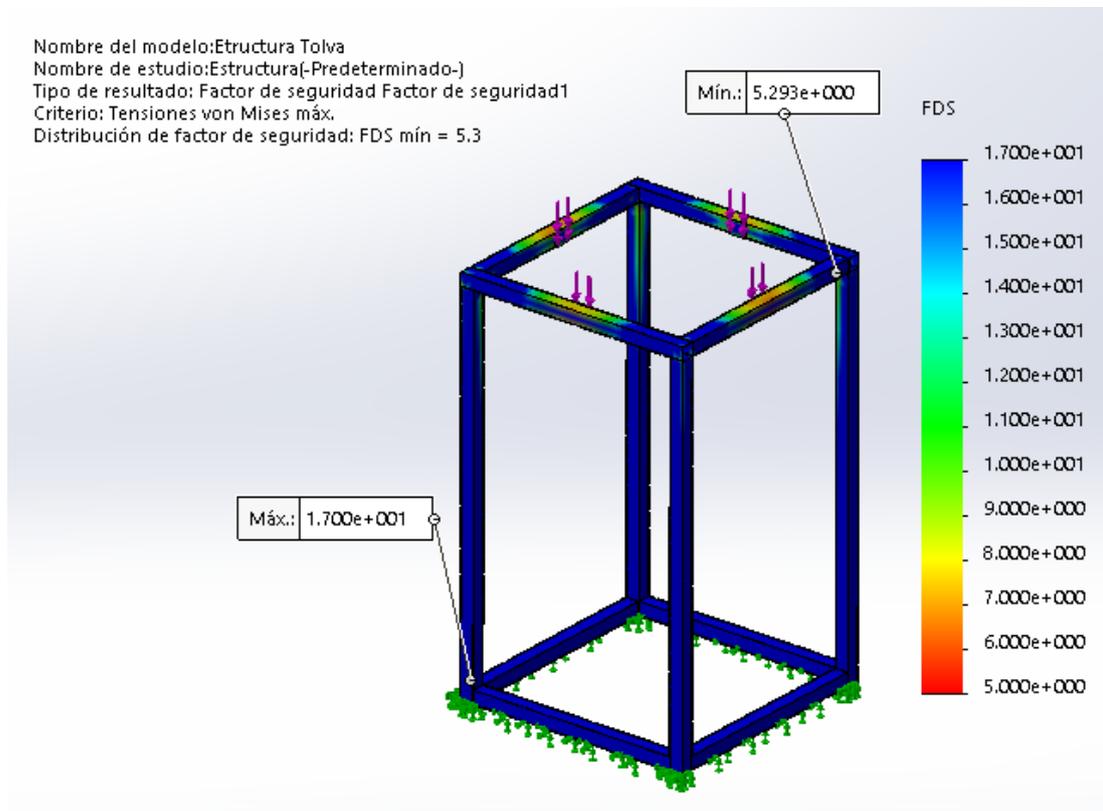


Figura 25. Factor de seguridad 85% mallado.

3.5. Diseño del sistema de dosificador del producto

El sistema de dosificación está conformado por un tornillo sin fin acoplado a un motor por un eje, el cual proporcionara la potencia necesaria para girar al mencionado tornillo sin fin para que se produzca la dosificación de manera regulable.

Debido a que se manipulara un producto alimenticio con la maquina dosificadora (Sacarosa), el sistema dosificador debe cumplir con los siguientes requerimientos:

- El material de los componentes del sistema dosificador no debe reaccionar químicamente con el producto.
- El material de los componentes del sistema dosificador no debe impedir la proliferación de contaminantes biológicos.
- Los componentes del sistema dosificador deben ser desmontables para su limpieza y mantenimiento.
- Los componentes del sistema de dosificación se deben fijar apropiadamente a los elementos de la maquina dosificadora, para garantizar su movimiento continuo en todo el sistema.

3.5.1. Diseño del Tornillo sin Fin

Para el desarrollo de aplicaciones de sistemas de transportadores accionados por tornillo sin fin existe las normas CEMA (Conveyour Equipment Manufacture Associoation) Asociación Americana de constructores de Equipos para Manejo de Materiales, los cuales actualmente proporcionan los parámetros necesarios para diseño de los transportadores de tornillo sin fin. (Larronde, 2001)

Dentro de las normas CEMA para el diseño del tornillo sin fin, sugiere la estimación de valores para dimensionamiento del tornillo con la finalidad de obtener la potencia y torque para accionarlo, donde la sacarosa se encuentra dentro del grupo 4 debido a que son materiales semi abrasivos o poco abrasivos, granulares o pequeños tamaños en mezcla con polvos con un peso específico que se sitúa entre $0,8 - 1,6 \frac{T}{m^3}$. (Larronde, 2001) como se muestra en la *Tabla 23*.

<i>Tipo de carga</i>	<i>Coefficiente de relleno λ</i>
<i>Pesadas y abrasivas</i>	0,125
<i>Pesadas poco abrasivas</i>	0,25
<i>Ligeras poco abrasivas</i>	0,32
<i>Ligeras no abrasivas</i>	0,4

Tabla 23. Tipos de cargas

Fuente: (Larronde, 2001)

Es de gran importancia determinar el tipo de material con el cual se está trabajando para poder establecer una relación entre las velocidades proporcionadas y los parámetros del tornillo a diseñarse con la finalidad de obtener una velocidad de giro estimada para el sistema.

<i>Diámetro Del tornillo mm</i>	<i>Velocidad máxima (rpm) según la clase de material</i>				
	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
100	180	120	90	70	30
200	160	110	80	65	30
300	140	100	70	60	25

Tabla 24. Velocidad según el diámetro del tornillo sin fin

Fuente: (Larronde, 2001)

Para realizar el cálculo con el diámetro del tornillo sin fin con el diámetro estimado de 0,044 m diámetro, se toma el valor mínimo de la tabla 13 y se relaciona con el diámetro del tornillo a diseñarse y se obtiene la velocidad máxima de giro que el sistema puede realizar.

$$\begin{array}{l}
 100mm \quad 70rpm \\
 44mm \quad n = \frac{70 \text{ rpm} * 44 \text{ mm}}{100 \text{ mm}} = 30,8 \text{ rpm}
 \end{array}$$

Una vez establecido el diámetro estimado, se procede calcular el paso del tornillo sin fin debido a que es un factor importante para el diseño del mismo:

$$S = \frac{D_{TF}}{2} = 0,022m;$$

Ecuación 17. Paso del tornillo sin fin

Donde S es el paso del tornillo sin fin a usarse para el proceso de dosificación.

Para el cálculo del volumen de llenado del plano helicoidal, el factor a tomar en cuenta es el producto a dosificarse y a el tipo de carga que le corresponde, en este caso, la sacarosa se encuentra dentro del grupo de carga ligeras poco abrasivas con un coeficiente de relleno de 0,32.

$$Vh = \lambda \frac{\pi \cdot D_{TF}^2 * S}{4} = 4,866 \cdot 10^{-4} m^2;$$

Ecuación 18. Volumen en el plano helicoidal

Donde Vh es el volumen en el plano helicoidal.

λ es el coeficiente de relleno de la sección del canalón.

D_{TF} es el diámetro del tornillo sin fin.

S es el paso del tornillo sin fin.

Una vez obtenido el volumen dentro del plano helicoidal del tornillo sin fin se procede a calcular la velocidad de desplazamiento del tornillo sin fin, el cual, desplazara la sacarosa en la dirección longitudinal del eje del tornillo que depende del paso calculado y de la velocidad de giro. (Larronde, 2001)

$$Vt = \frac{S \cdot n}{60} = 0,001 \frac{m}{s};$$

Ecuación 19. Velocidad de giro del tornillo sin fin

En donde Vt es a velocidad de giro del tornillo sin fin.

S es el paso del tornillo sin fin.

n son las *rpm* máximas del sistema dosificador.

La capacidad para transportar el material con un tornillo sin fin se obtiene a partir del cálculo del flujo masivo quedando de siguiente manera:

$$Q = \dot{m} = 0,676 \frac{kg}{s}$$

Donde Q es el flujo del material transportado,

<i>Tipo de Material</i>	<i>Coficiente C_o</i>
<i>Harina, serrín, productos granulados</i>	1,2
<i>Turba, sosa, polvo de carbón</i>	1,6
<i>Antracita, carbón, sal de roca</i>	2,5
<i>Yeso, arcilla seca, tierra fina, cemento, cal, arena</i>	4

Tabla 25. Tipos de materiales

Fuente: (Larronde, 2001)

Para vencer la inercia provocada por los componentes del sistema, se debe calcular la potencia de accionamiento P_{ts} , donde, se utiliza la siguiente ecuación: (Larronde, 2001)

$$P_{ts} = \frac{Q * (C_o * Lt)}{367} * g = 0,003 W$$

Ecuación 20. Potencia de accionamiento del tornillo sin fin

donde,

P_{ts} es la potencia de accionamiento del tornillo sin fin.

Q es el flujo del material transportado.

C_o representa a el coeficiente de resistencia del material a ser transportado.

Lt es la longitud del tornillo sin fin.

g es la constante de la gravedad.

El sistema de dosificación requiere de 2 potencias adicionales para realizar un correcto proceso de dosificación, en donde, el peso y la fuerza de arrastre de la sacarosa son factores que se debe tomar en cuenta para evitar estancamientos del producto, por tal motivo, se implementara aspas con la finalidad de remover el contenido interno de la tolva.

Para el cálculo de la primera potencia extra se lo realiza de forma normal, incluyendo la masa de la sacarosa y la masa total de los elementos del dosificador. (Larronde, 2001)

$$F_1 = M_T * g$$

$$F_1 = (M_{Sistema} + M_{Tolva}) * g = 0,226 \text{ kN}$$

Ecuación 21. Fuerza producida por la sacarosa

Donde F_1 es la fuerza producida por la sacarosa.

M_T es la masa total.

g es la constante de la gravedad.

$$r = \frac{D_{TF}}{2} 0,022 \text{ m}$$

Una vez encontrado la masa y la fuerza del sistema, se procede el cálculo del torque necesario para remover la sacarosa:

$$T_1 = F_1 \cdot r = 5,856 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Ecuación 22. Torque necesario para remover la sacarosa

Donde T_1 es el torque necesario para remover la sacarosa,

F es la fuerza producida por la sacarosa.

r es el radio del eje.

Calculado el torque se procede a encontrar la potencia con respecto a la masa de la sacarosa incluyendo su velocidad angular que son elementos necesarios para la selección del motor:

$$\omega_1 = \frac{150 \text{ rpm}}{\text{min}} * \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 15,707 \text{ rad/s}$$

$$P_1 = T_1 \cdot \omega_1 = 91,992 \text{ W}$$

Ecuación 23. Potencia necesaria para remover la sacarosa

Donde P_1 es la potencia necesaria para remover la sacarosa.

T_1 es el torque.

ω_1 es la velocidad angular.

Para realizar el cálculo de la segunda potencia se toma en cuenta la presión proporcionada por la sacarosa en la superficie de las aspas, para ello se debe calcular el perímetro que va a estar en contacto con la sacarosa.

$$Pm_{as} = 2 * \pi \frac{D}{4} = 0,597 m$$

Una vez obtenido el perímetro se procede a calcular la presión sobre la superficie de las aspas provocada por la presencia de la sacarosa.

$$Ps_{as} = \rho * Pm_{as} = 3.173.10^3 \frac{N}{m^2}$$

Después de determinar dicha presión, se calcula la fuerza producida por los rascadores tomando en cuenta el área que va a estar en contacto con la sacarosa siendo de $0.002. m^2$.

$$F_2 = Ps_{as} * A_r = 6,345 N$$

Ecuación 24. Fuerza ejercida por la sacarosa

Donde F_2 es la fuerza ejercida por la sacarosa.

Ps_{as} es la presión sobre la superficie de las aspas.

A_r es el área de los rascadores.

Para el cálculo del torque se multiplicará F_2 por el radio r que describe el rango medio de la circunferencia mayor de las aspas que se encuentran dentro de la tolva donde tiende a variar el radio con respecto a la altura.

$$T_2 = F_2 * r = 1,206 N.m$$

Ecuación 25. Torque producido en la superficie de las aspas

Donde,

T_2 es el torque producido en la superficie de las aspas.

F_2 es la fuerza ejercida por la sacarosa.

r es el radio de la tolva.

El resultado obtenido es de una sola aspa, debido a que el sistema contara con tres aspas para evitar estancamientos, es necesario implementar otra quedando resultado de la siguiente manera:

$$T_2 = 3,617 Nm$$

El cálculo de la Potencia 2 se lo realizara de igual forma que la primera:

$$P_2 = T_2 * \omega_2 = 75,748 W$$

Una vez realizado el cálculo de las potencias y torques, datos que se cómo el torque y la potencia necesaria para accionar todo el sistema dosificador:

$$T_f = T_1 + T_2 = 9,473 Nm$$

$$P_f = P_{ts} + P_1 + P_2 = 167,743 W$$

3.5.2. Simulación del Tornillo sin Fin

La *figura 26* simboliza las cargas máximas que se van a tolerar en el tornillo sin fin en toda la superficie seleccionada producida por la sacarosa.

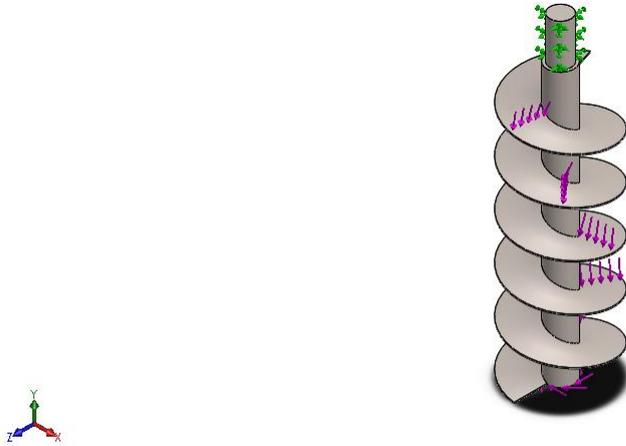


Figura 26. Cargas en el tornillo sin fin.

En la *figura 27* se muestra los resultados de la simulación de las fuerzas que actúan en la superficie del tornillo sin fin aplicándole el torque obtenido de $7,635 Nm$ obtenido en los cálculos, donde observa las zonas que se encuentran con esfuerzos mayores, el cual tiene un valor de $6.877 \cdot 10^7 \frac{N}{m^2}$ mismo que no supera a la resistencia del material. $1,379 \cdot 10^8 \frac{N}{m^2}$

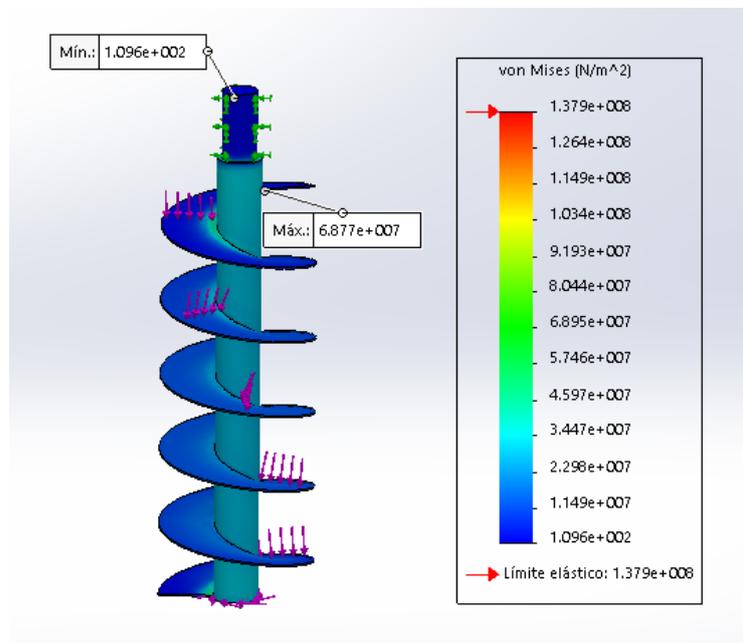


Figura 27. Tensión de Von Misses en el tornillo sin fin.

La *figura 28* da razón al análisis anterior debido a que el factor de seguridad obtenido es de 2, por la razón de que no se encuentra bajo grandes cargas en toda su superficie, dando validez a el diseño.

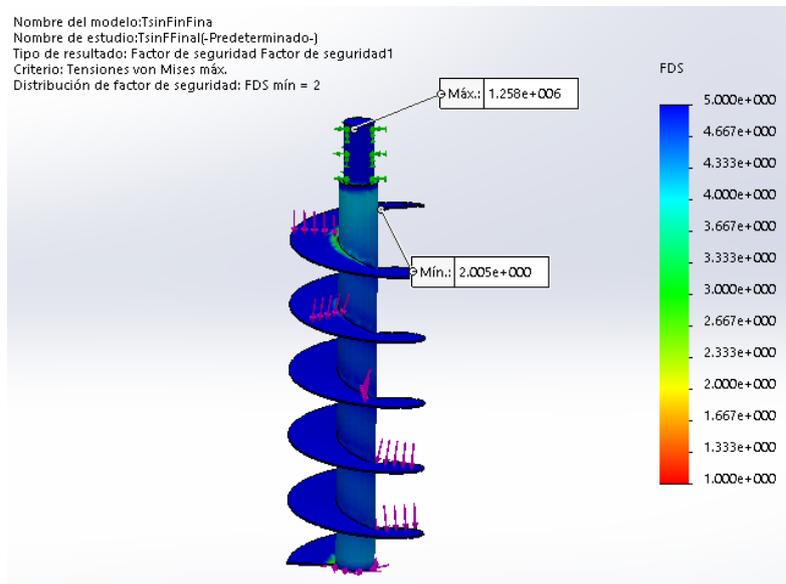


Figura 28. Factor de seguridad en el tornillo sin fin.

3.6. Diseño del eje

Para la implementación de un eje se debe tomar en cuenta el elemento de sujeción al que se va acoplar, lo cual producirá una carga axial, un torque producido por el servomotor, y el peso distribuido uniformemente a lo largo del mismo eje. Por lo que el eje dosificador será considerado como una viga apoyado en uno de sus extremos con las tres cargas mencionadas. (L.Mott, 2006).

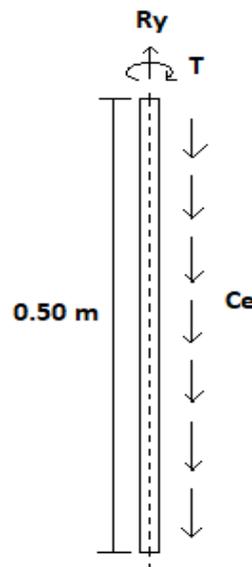


Figura 29. Diagrama de cuerpo libre del eje

El torque que debe proporcionar el motor fue calculado como un aproximado al torque real que ofrece un motor.

$$T = 7,635 \text{ Nm}$$

El elemento de sujeción proporcionara poco o ningún efecto de falla en el eje, por lo cual, se establece que está sometido solo a torsión, donde el esfuerzo cortante por torsión es casi uniforme y servirá para calcular el diámetro mínimo para el eje del sistema de dosificación. (Diámetro de un eje sometido a esfuerzos (L.Mott, 2006))

$$D_e = \sqrt[3]{\frac{32n}{\pi} \sqrt{\left[\frac{K_t M}{S_n}\right]^2 + \frac{3}{4} \left[\frac{T}{S_y}\right]^2}}$$

Como se mencionó anteriormente, el esfuerzo se lo considera cortante, torsional y constante en toda la superficie de la barra, además las concentraciones afectan muy poco o nada a el potencial de falla por lo cual no se necesitan del factor de concentración de esfuerzos, además en el caso del mezclador no hay fuerzas transversales que provoquen flexión, por lo cual la ecuación de diámetro de un eje sometido a esfuerzos se expresaría de la siguiente manera. (L.Mott, 2006)

$$D_e = \sqrt[3]{\frac{32(2)}{\pi} \sqrt{\frac{3}{4} \left[\frac{T}{S_y}\right]^2}}$$

Ecuación 26. Diámetro mínimo del eje

Donde, D_e Diámetro mínimo del eje.

T es el torque calculado a producir un motor CC.

S_y Límite de fluencia.

F_s Factor de seguridad

El factor de seguridad será igual a 2, debido a que es usado en diseños típicos donde hay una confianza promedio en los datos de resistencia del material y de las cargas. (L.Mott, 2006)

$$D_e = 0,008 \text{ m}$$

3.6.1. Simulación del eje

La *Figura 30* representa las cargas máximas que se van a tolerar en el eje en toda la superficie seleccionada producida por la sacarosa permitiendo obtener resultados que favorezcan al diseño realizado.

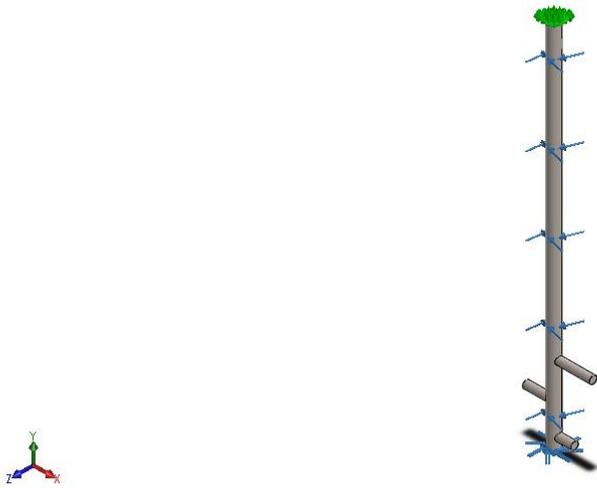


Figura 30. Cargas sobre el eje.

En la *figura 31* se observa los resultados de la simulación de las fuerzas que actúan en el eje, donde es evidente las zonas con esfuerzos mayores, el cual tiene un valor de $5,297 \cdot 10^7 \frac{N}{m^2}$ mismo que no supera a la resistencia del material. $1,379 \cdot 10^8 \frac{N}{m^2}$

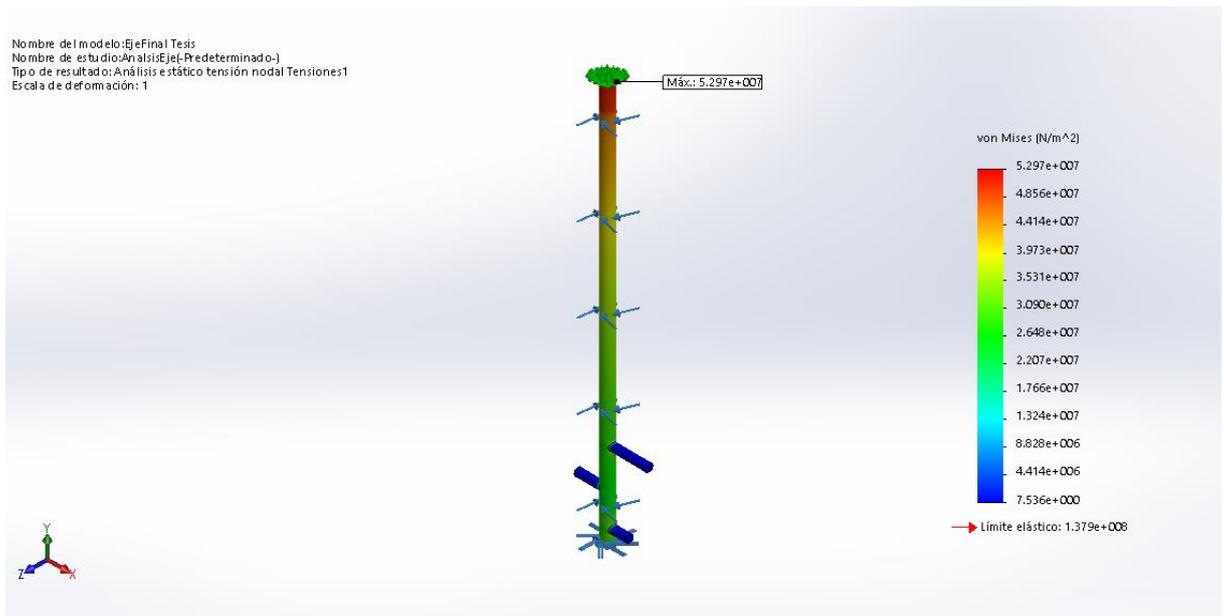


Figura 31. Tensión de Von Mises en el eje.

La *Figura 32* da validación a el análisis anterior debido a que el factor mínimo de seguridad obtenido es de 2,6, por la razón de que no se encuentra bajo grandes cargas y torsión en toda su superficie, dando validez a el diseño.

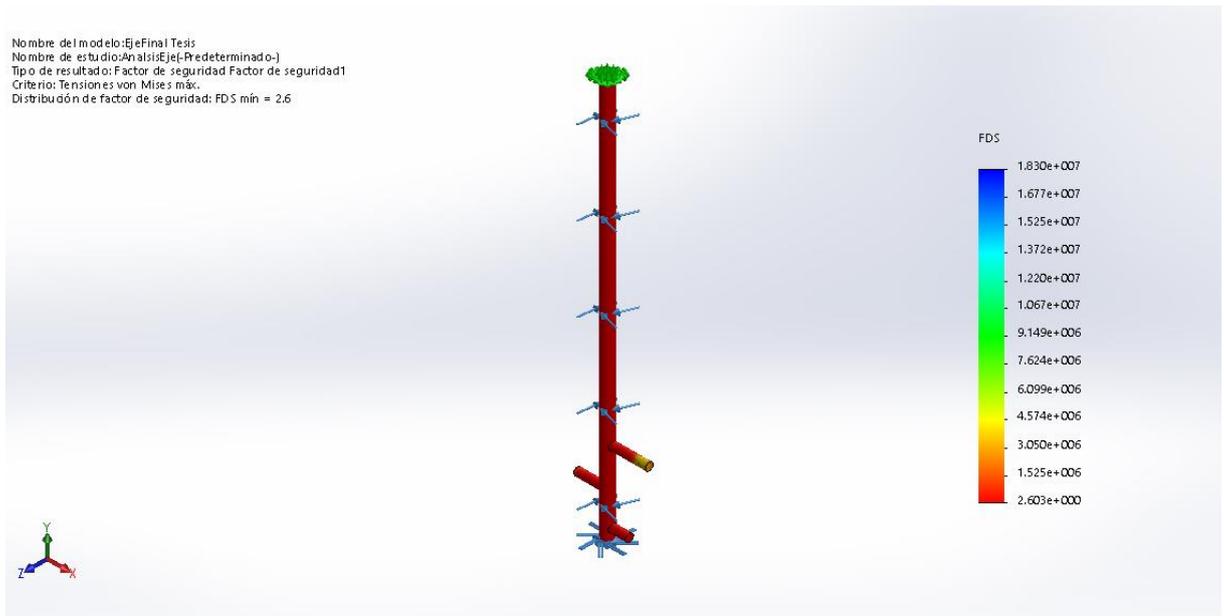


Figura 32. Factor de seguridad en el eje.

3.7. Sistema eléctrico

Después de obtener los elementos que conformarán la parte mecánica se procede a la selección de los elementos eléctricos y electrónicos que tendrán el objetivo del controlar los actuadores de todo el dosificador

3.7.1. Selección de componentes electrónicos

a) Selección del motor

Realizado el fundamento teórico de los componentes electrónicos se procede a la selección del motor el cual debe cumplir con los requisitos de diseño calculados en el capítulo III, por tal motivo se establecen 3 opciones para la selección sometidas a evaluación con la finalidad de no sobredimensionar el diseño y evitar el exceso de elementos como se muestra en la *Tabla 26*.

<i>Criterio</i>	<i>Motor AC</i>	<i>Servo-motor</i>	<i>Motor a pasos</i>
<i>Disponibilidad</i>	3	4	4
<i>Costo</i>	1	3	4
<i>Resistencia altas temperaturas</i>	2	4	4
<i>Elementos de control</i>	2	4	4
<i>Peso</i>	1	3	4
<i>Precisión</i>	3	4	4
<i>Angulo de giro</i>	4	2	5

Torque	5	3	3
Suma	20	27	32

Tabla 26. Criterios de ponderación del motor

Los resultados obtenidos mediante la ponderación sugieren 2 opciones entre un servo-motor y un motor a pasos, de los cuales la opción más viable es el motor a pasos debido a su precisión y el torque que puede ofrecer además de su programabilidad para realizar diferentes acciones, por tal motivo el motor seleccionado es el Motor paso a paso 57HS102DF06, cuyas características se especifican en la *Tabla 27*.

Tabla 27. Características de motor a pasos

Número de serie	57HS102DF06
Longitud (mm)	100
Angulo de paso	1,8
Resistencia (Ω)	0,66
Corriente (A)	4
Voltaje (V)	2,64
Torque (N.cm)	1000
Inercia (g.cm ³)	5000
Cables	4
Peso (g)	1410

Para el accionamiento del motor a pasos es necesario la implementación de un driver para su correcto accionamiento como lo es el Stepper Driver TB6600, al ser un driver de corriente para motores bipolares paso a paso, es ideal para máquinas CNC o proyectos en que se requiera un driver fiable, robusto y económico.



Figura 33. Stepper Driver TB6600.

A continuación, se detallan las características del driver:

- Alto rendimiento y eficiencia.
- La tensión de alimentación de 20 V CC a 42V CC.
- La corriente de salida de 0,2 A 5A.
- Adecuado para motores de 2 fases y 4-fase.
- Entrada de señal de aislamiento opto electrónico de alta velocidad.
- El chip PWM sinusoidal bipolar chopper asegura una vibración baja y alta eficiencia.
- Micro pasos seleccionables de 1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16.
- Admite los modos CW / CCW y PUL / DIR.
- Protección de cortocircuito, sobre voltaje, sobre corriente y temperatura. Protección del PC, motores, etc.
- Caja de aluminio para la refrigeración y proteger la tarjeta del controlador de ser dañado por la suciedad, polvo u otros líquidos.

b) Diagrama de conexión del driver BT-6600

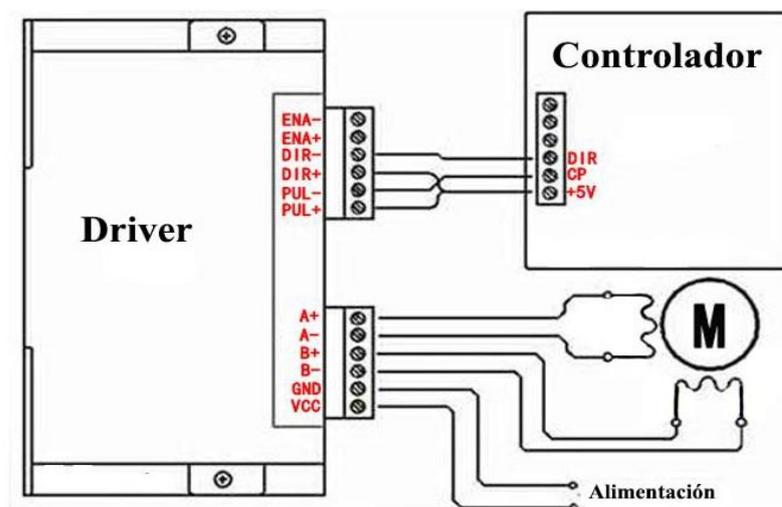


Figura 34. Diagrama Driver TB6600

Fuente: (MarkerShop, 2019)

c) Selección del controlador

Para el funcionamiento de todos los elementos ya sean mecánicos y eléctrico es necesario implementar un controlador el cual tendrá la misión de accionar y desactivar todos los elementos anteriormente mencionados, para ello se toma a consideración algunos tipos de controladores con la finalidad de someterlos al proceso de ponderación para seleccionarlo de acuerdo a los requerimientos del sistema eléctrico.

<i>Criterio</i>	<i>Arduino</i>	<i>Raspberry</i>	<i>PLC</i>
<i>Disponibilidad</i>	5	5	5
<i>Costo</i>	5	5	3
<i>Resistencia al ruido eléctrico</i>	3	3	5
<i>Programación</i>	4	4	4
<i>Precisión</i>	4	4	5
<i>Resistencia a altas temperaturas</i>	3	3	5
<i>Suma</i>	24	24	27

Tabla 28. Criterios de ponderación del controlador

Fuente: (Días, 2019)

Conforme a los criterios de ponderación el más apto es el PLC (*Controlador Lógico Programable*) por tal motivo se implementará el PLC Eopus-CP04 el cual se basa en un software de código abierto satisfaciendo los requerimientos del sistema. A continuación, se detallan las características del Controlador como se muestra en la *Tabla 29*.

<i>Descripción</i>	<i>Valor</i>
<i>Potencia</i>	12 VDC 1200 mA (CPU-5W) 24 VDC 700 mA (CPU-5W) Periféricos externos 5V- 2 ^a
<i>Entradas</i>	3 análogas (12 bits, 0-10V) 8 digitales tipo N
<i>Salidas</i>	1 análoga (12 bits, 0-10V) 7 digitales, 4 relé, 3 transistor
<i>Comunicación</i>	1 puerto de programación 3 puertos com.
<i>Temperatura</i>	10°C-60°C

Tabla 29. Características del PLC Eopus-CP04

Fuente: (FERMUINO, 2018)

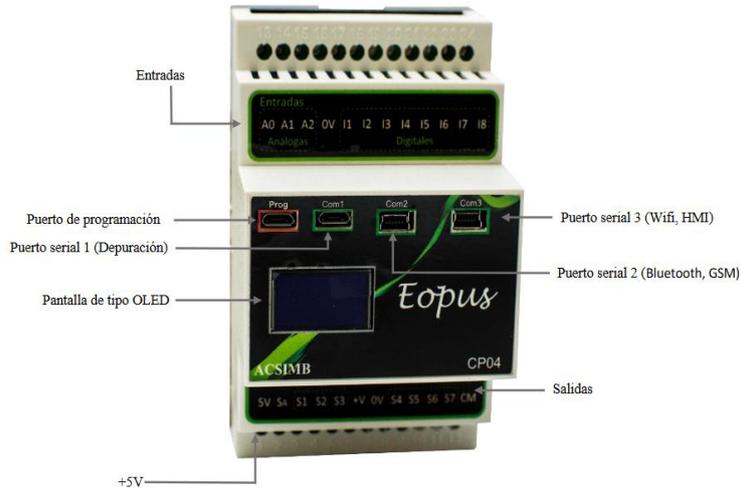


Figura 35. PLC

Fuente: (FERMUINO, 2018)

d) Selección del quemador.

Para producir la sublimación de la sacarosa es necesario proporcionar una temperatura de ebullición igual o superior a los 186°C, por tal motivo se debe elegir la más óptima tomando en cuenta los siguientes criterios de ponderación:

<i>Criterio</i>	<i>Quemador mecánico</i>	<i>Quemador atmosférico</i>
<i>Disponibilidad</i>	3	5
<i>Costo</i>	1	4
<i>Regulación</i>	4	4
<i>Elementos mecánicos</i>	1	4
<i>Elementos de control</i>	1	4
<i>Alcance de altas temperaturas</i>	5	4
<i>Suma</i>	15	25

Tabla 30. Selección del quemador

El resultado obtenido mediante el proceso de ponderación muestra la viabilidad del quemador atmosférico debido a que la mezcla de gas y aire se encuentran expuestos a la presión atmosférica del ambiente en donde se realiza la combustión, debido a que el chorro de GLP atraviesa el cuello del inyector produciéndose el efecto Venturi en donde se crea un vacío donde se mezcla con el aire del ambiente y finalmente un mecanismo de ignición produce la flama en el dispositivo.

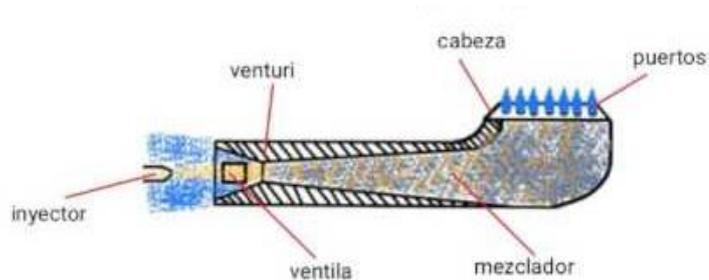


Figura 36. Quemador atmosférico.

Fuente: (Sema, 2019)

e) Dosificación del CO₂

Una vez concluida el proceso de sublimación de la sacarosa el CO₂ debe ser suministrado dentro del invernadero, donde, en la *Tabla 8* muestra que la viabilidad en la dosificación debe ser mediante el uso de un soplador de aire el cual tiene la misión de transportar la sacarosa dosificada desde la tolva mediante el tornillo sin fin hacia la zona de sublimación para producirse el CO₂ y el vapor de agua dentro del invernadero.

3.8. Manufactura

3.8.1 Construcción de la tolva.

La tolva es la encargada de soportar y almacenar la sacarosa para su dosificación, para ello el proceso de elaboración se basa en el doblado de una lámina de acero inoxidable AISI-316 de acuerdo a los parámetros de diseño y unida mediante suelda para determinar la forma cónica y es sujeta a una estructura prismática de tubos de sección cuadrada en el mismo tipo de acero inoxidable.



Figura 37. Tolva

3.8.2 Construcción de la cámara de sublimación de la sacarosa.

La cámara de sublimación está destinada a soportar grandes temperaturas debido a que para lograr el proceso anteriormente mencionado se utiliza la combustión de gas LP el cual circula por 2 flautas o quemadora atmosféricos en la parte inferior, por tal motivo dicha caldera está aislada con fibra de vidrio para permitir la máxima conservación de calor y evitar accidentes a los usuarios.



Figura 38. Cámara de sublimación.

3.8.3 Construcción del eje y Tornillo sin fin.

Para la construcción del mecanismo dosificador se lo realizó en 2 partes la primera va conectada a el rotor de un motor a pasos y el otro extremo a el tornillo sin fin mediante el uso de 2 pernos de sujeción conocidos como prisioneros en cada extremo.

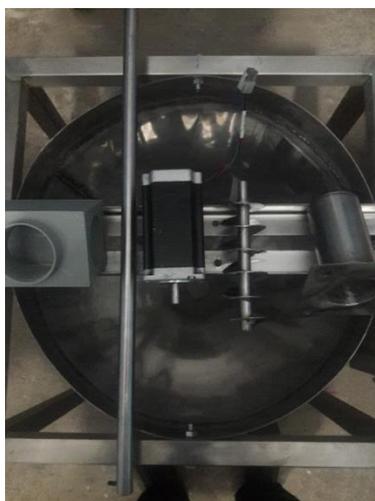


Figura 39. Eje y tornillo sin fin.

3.8.4 Chasis de la sublimadora.

Es la estructura donde van a descansar los demás sistemas de la sublimadora es decir el sistema eléctrico mecánico y cámara de sublimación.



Figura 40. Chasis.

3.9 Ensamblaje de la sublimadora

3.9.1 Ensamblaje del sistema de dosificación

El sistema de dosificación está conformado por la tolva, eje, tornillo sin fin y motor a pasos, el cual tiene la función de almacenar y suministrar la sacarosa de manera regulable o constante hacia el ducto de sublimación impulsado por aire mediante un soplador eléctrico.

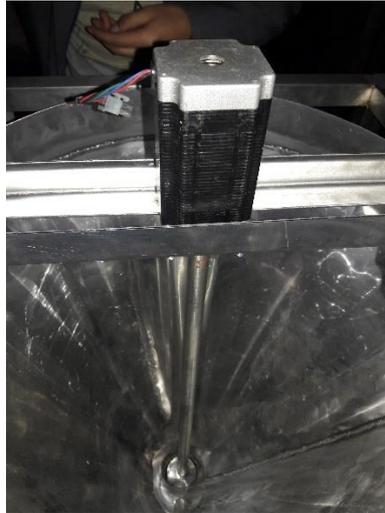


Figura 41. Sistema de dosificación

3.9.2 Sistema de sublimación y dosificación de CO₂

Este sistema tiene el objetivo de sublimar la sacarosa permitiendo su cambio de estado para producir el CO₂ y vapor de agua el cual será suministrado al invernadero mediante el flujo de aire producido por el soplador.

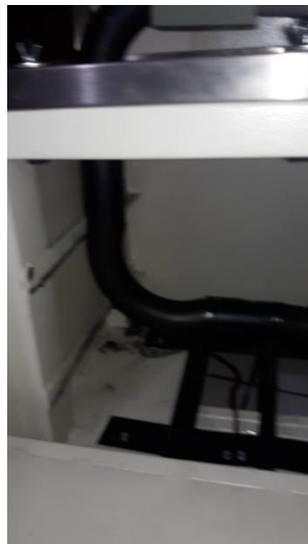


Figura 42. Sistema de sublimación.

3.10 Sistema Eléctrico

El sistema eléctrico está conformado por un controlador lógico programable el cual gobierna las funciones del dosificador, a continuación, se muestra el diagrama de conexiones.

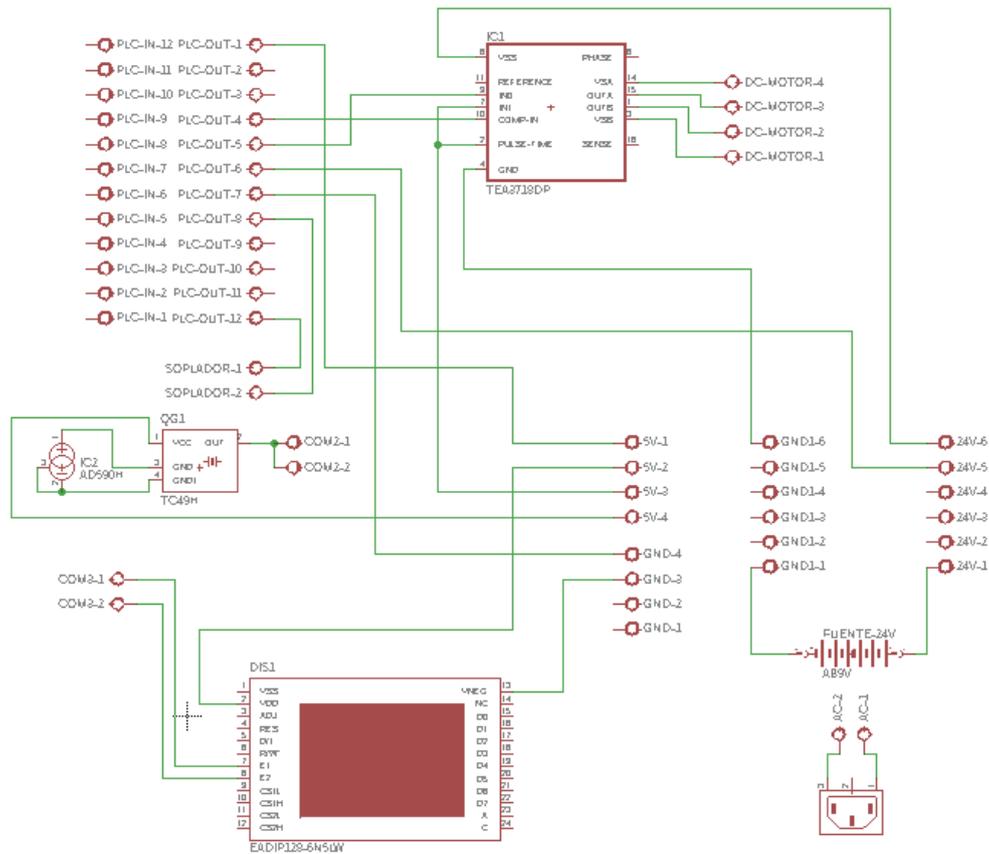


Figura 43. Diagrama eléctrico,

3.10.1 Control ON-OFF del dosificador

El accionamiento del motor a pasos viene dado por la lectura de la termocupla ubicada en el horno, esta al detectar la temperatura de 350 °C se activa, permitiendo que el mecanismo del tornillo sin fin dosifique la sacarosa hacia la cámara de sublimación, caso contrario al superar los 450°C el proceso se detiene hasta refrigerar la cámara mediante el soplador de aire.

3.11 Interfaz humano máquina (HMI)

Para el desarrollo de la interfaz se implementó las normas ISA-101 la cual define los modelos y la terminología en el desarrollo de un interfaz humano maquina y los procesos de trabajo recomendables para operar con eficiencia a lo largo de su ciclo de vida útil. La norma proporciona el diseño, construcción y la forma de operar y mantener HMI efectivas que resulten más seguras, en todas las condiciones de funcionamiento.



Figura 44. Interfaz del dosificador.

3.11.1 Procesos de dosificación.

En la *Figura 44* se puede observar el proceso por el cual se seleccionan los procesos de pre-dosificación, dosificación manual y automática mediante la interfaz HMI.

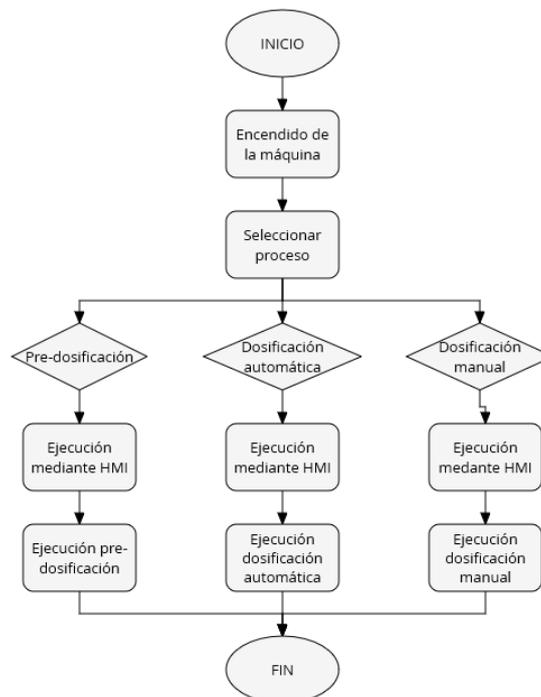


Figura 45. Proceso de dosificación

3.11.2 Proceso de pre-dosificación

Se puede observar las etapas a seguir durante el proceso de pre-dosificación, después de colocar la sacarosa en la tolva.

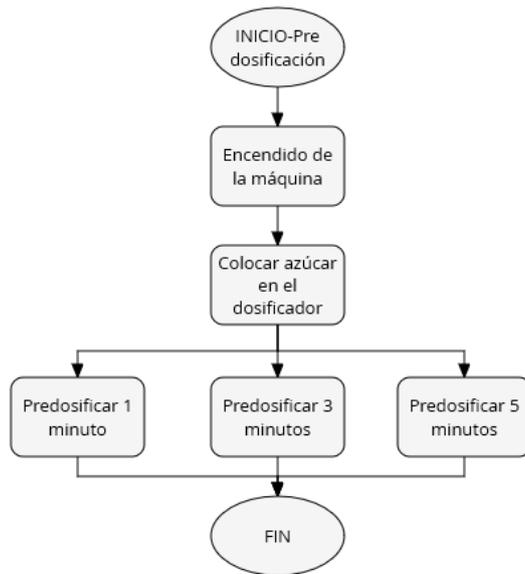


Figura 46. Proceso de pre-dosificación

3.11.2 Proceso de dosificación automática

Se puede apreciar las etapas a seguir durante el proceso de dosificación automática, seguidamente de colocar la sacarosa en la tolva.

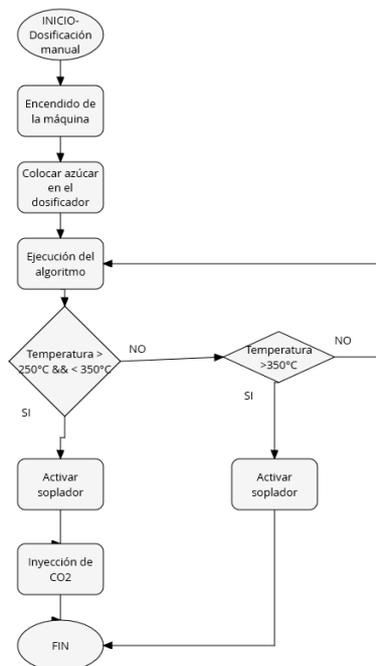


Figura 47. Proceso de dosificación automática

3.11.3 Proceso de dosificación manual

Se puede apreciar las etapas a seguir durante el proceso de dosificación manual, seguidamente de colocar la sacarosa en la tolva.

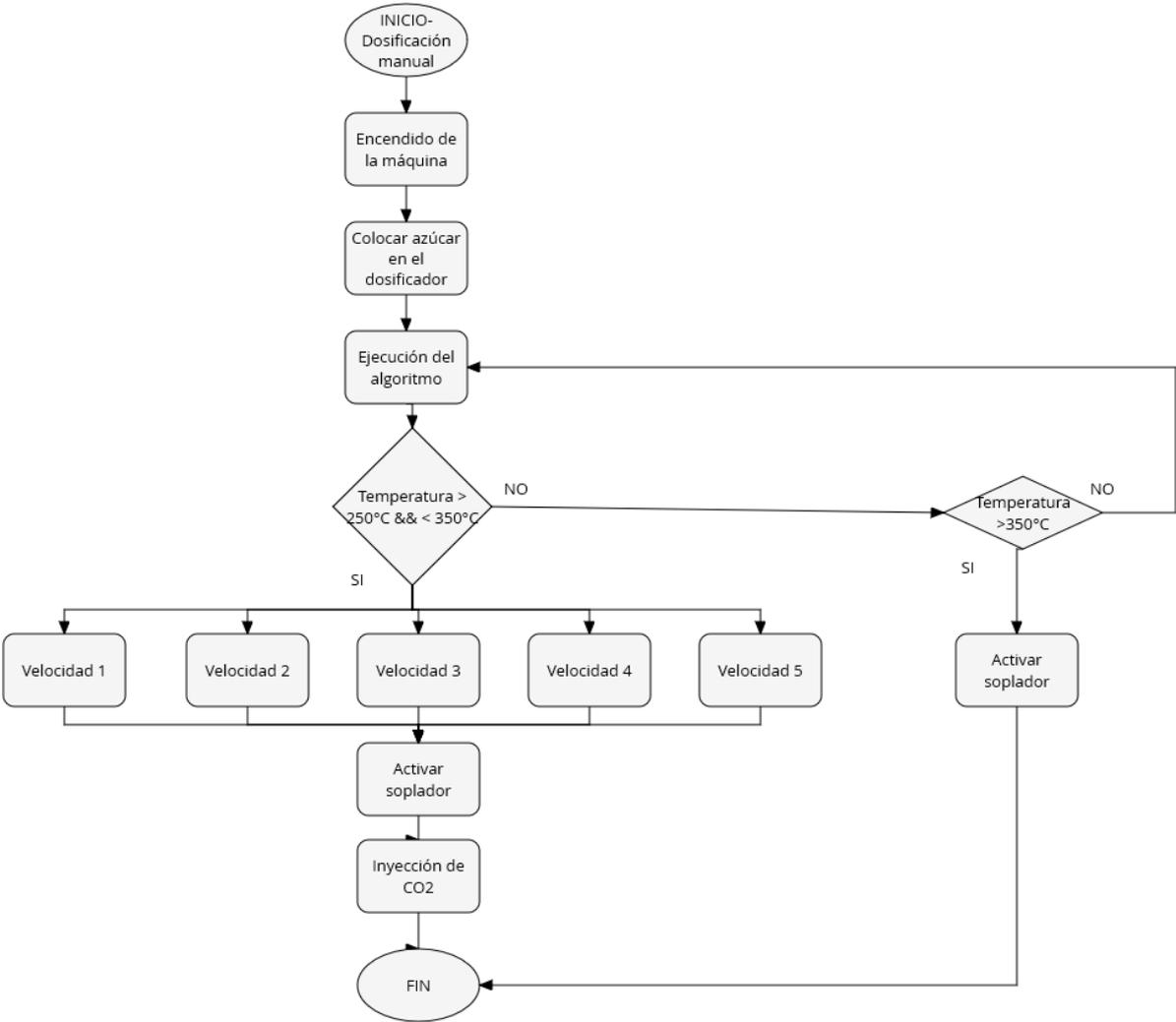


Figura 48. Proceso de dosificación manual

CAPÍTULO IV

4.1. Pruebas de funcionamiento y validación

4.1.1 Diseño mecánico

El diseño de la estructura mecánica que conforma el dosificador cumple con los requerimientos establecidos, permitiendo que la estructura en general sea fácil de desmontar para su mantenimiento como se aprecia en la figura.



Figura 49. Dosificador

4.1.2 Pruebas de dosificación

Una vez concluida el ensamblaje de todos los componentes del dosificador, se procede a realizar sus respectivas pruebas en las cuales se mide la cantidad de sacarosa dosificada en cada revolución del tornillo sin fin, obteniendo los siguientes resultados:

<i>Nro. de revoluciones</i>	<i>Cantidad de sacarosa (gr)</i>
1	4
2	8,4
3	12,2
4	16,4
5	20,2

Tabla 31. Mediciones de la sacarosa

Para obtener una cantidad constante de CO₂ y vapor de agua es necesario dosificar 400 gr de sacarosa mismos que son enviados mediante intervalos de tiempo de 2 segundos para evitar estancamientos dentro de la sección de empuje de la sacarosa e interrumpir el flujo de aire proporcionado por el soplador a la cámara de sublimación.



Figura 50. Dosificación de la sacarosa.

La temperatura es medida por la termocupla ubicada dentro de la cámara de sublimación dando paso a los procesos anteriormente mencionados.

4.1.2 Niveles de CO₂ en el invernadero

El proceso de inyección de CO₂ hacia el ambiente del invernadero lo realiza el soplador del dosificador el mismo que proporciona la cantidad de 1131 ppm de CO₂ promedio como resultado de la combustión de la sacarosa, pudiéndose comprobar visualmente dentro de los invernaderos cuando el gas resultante ocupa el 50% del ambiente interior del invernadero.

<i>Bloques</i>	<i>Niveles de CO₂</i>
1	902
2	840
3	1122
4	1663
<i>Total</i>	

Tabla 32. Promedio de mediciones de CO₂

Para un correcto proceso de dosificación el ambiente del invernadero debe estar libre de corrientes de aire razón por la cual, se cierra todas cortinas y puertas con la finalidad de concentrar el CO₂ y evitar que escape hacia el exterior.



Figura 51. Niveles de CO₂ en el invernadero.

CONCLUSIONES

- Se determino las condiciones de uso de una sublimadora y las ventajas que ofrece el CO_2 dentro de los invernaderos permitiendo establecer los requisitos del sistema óptimos para su elaboración.
- El diseño del dosificador se basa en el Eurocódigo apartado 1, el cual resultó factible, porque, presenta un adecuado proceso de diseño e implementación estructural, para el dimensionamiento del dosificador de sacarosa y garantizar una correcta combustión de la misma.
- La selección de los componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos fueron los más idóneos, debido a que el dispositivo cumple con las especificaciones de diseño, permitiendo operar durante el tiempo de sublimación sin causarse la ignición del sistema de sublimación.
- El sistema permite dosificar 12 kg de sacarosa en el lapso de 45 a 60 minutos, tiempo el que dura en cumplir el proceso de sublimación dentro de los invernaderos a ser tratados con CO_2 .
- EL sistema puede ser operado por una o dos personas debido a su peso reducido y elementos de automatización, facilitando el proceso de sublimación cumpliendo con el mismo nivel de CO_2 que los sistemas convencionales en los invernaderos
- La escasez de fuentes bibliográficas para el diseño de sublimadoras en base a la combustión de azúcar morena, causo ciertos niveles de complejidad dentro del desarrollo de la máquina

RECOMENDACIONES

- Continuar con el estudio acerca del control de temperatura dentro de la cámara de combustión de la sacarosa para establecer la temperatura de sublimación óptima en la máquina.
- Implementar un sistema que permita operar con gas industrial, además de su aislamiento con la finalidad de evitar fugas para poder ser comercializado en otros tipos de invernaderos.
- El dosificador presenta estancamientos debido a la humedad que posee la sacarosa, para ello se recomienda implementar un sistema de pre-secado dentro de la sección de la tolva aprovechando el calor generado por la cámara de combustión de la sacarosa.
- Se sugiere considerar un sistema de control de lazo cerrado, permitiendo una mejor retroalimentación en el rendimiento de los distintos procesos, evitando una correcta combustión de la sacarosa.

REFERENCIAS

- Belt, Q. G. (10 de 11 de 2018). *QFD ONLINE*. Obtenido de <http://www.qfdonline.com/>
- Blanco, C. (15 de 5 de 2019). *Scribd*. Obtenido de Scribd: <https://es.scribd.com/doc/240285712/Flujo-de-Solidos-en-Tolvas>
- Certificacion, A. E. (2003). *Bases del cálculo de Estructuras*. Madrid: AENOR.
- Cruz, F. A. (2011). *DISEÑO DE CONSTRUCCIONES SOLDADAS*. Peru.
- Días, N. J. (9 de 05 de 2019). *UNITEC*. Obtenido de UNITEC: <http://www.unitec.edu.ve/materiasenlinea/upload/T1954-5-1.pdf>
- FAJARDO, C. H. (2006). *DISEÑO, MODELAMIENTO Y SIMULACIÓN DE MÁQUINA DOSIFICADORA DE*. Bogota.
- FERMUINO. (2018). Eopus. *Eopus*, 15.
- Josell7. (20 de Enero de 2010). *Vikidia*. Obtenido de es.wikidia.org: https://es.wikidia.org/wiki/Estado_de_la_materia
- L.Mott, R. (2006). Diseño de Elementos de Maquina. En R. L.Mott, *Diseño de Elementos de Maquina*. Mexico: Pearson Educación.
- Larronde, A. M.-E. (2001). *Transportadores y Elevadores*. Zaragoza: Reverte.
- MarkerShop. (27 de 4 de 2019). *MakerShop*. Obtenido de MakerShop: <https://makershopbcn.com/producto/stepper-driver-tb6600-es>
- MOYA BEJARANO, C. P. (2016). *Diseño de un dosificador semiautomático por tornillo sin fin para Uchu Jacu en la Organización Unopac de la Parroquia Ayora del Cantón Cayambe*. Ibarra.

- Nino J, G.-R. J.-P.-C. (2017). ESTUDIO DE CONVERGENCIA POR ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS EN TEJIDO ÓSEO CORTICAL. *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica.* , 19.
- Sema, G. (02 de 07 de 2019). *Curso Aula Digital*. Obtenido de Curso Aula Digital: <http://cursosauladigital.blogspot.com/>
- Spadaro, J. (2016). *Printspace3D*. Recuperado el 17 de Mayo de 2017, de <https://www.printspace3d.com/cartesian-vs-delta-printers-work/>
- Technologies, 3. M. (s.f.). Hybrid Stepper Motors. *3x Motion*, 16.
- Torres, E. M. (2006). *Diseño y construcción de un prototipo con sistema SCADA aplicado al control de microclima y dosificación del producto almacenado en silos* . Quito: Universidad Politecnica Salesiana.
- Yacuzzi, E. (10 de Diciembre de 2018). *QFD: CONCEPTOS, APLICACIONES Y NUEVOS DESARROLLOS*. Obtenido de Universidad del CEMA: <https://ucema.edu.ar/publicaciones/download/documentos/234.pdf>
- Yong, A. (2004). EL CULTIVO DEL ROSAL Y SU PROPAGACIÓN. *Cultivos Tropicales* , 53-67.

ANEXOS

Anexo 1. Código de programación.

```
// Tesis Dosificador
// Autor : Danny De la Cruz
uint32_t Actualizar_Oled_timer,Contador,filt;
uint16_t Temp1,Temp2;
#include "Funciones.h"
#include "Drivers_PLC.h"
#include <Stepper.h>
//uint32_t SalidaAnalog;
int PUL= PB0; //Salida para la señal de pulso
int DIR= PB9; //define Direction de la salida
int dato0;
int dato1;
int dato2;
int dato3;
int dato4;
int dato5;
int sumadordatos;

uint8_t dato=0;
uint8_t ActualizarStepper;
Stepper mps(2048,DIR, PUL);
Stepper mps1(2048,DIR, PUL);
Stepper mps2(2048,DIR, PUL);
Stepper mps3(2048,DIR, PUL);
Stepper mps4(2048,DIR, PUL);
Stepper mps5(2048,DIR, PUL);

void AnalogasCom2_Init(){
  pinMode(2, INPUT_ANALOG);//serial2 TX
  pinMode(3, INPUT_ANALOG);//serial2

}

uint16_t LEER_ANALOGA_4 (){
  return analogRead(2);
}

void setup() {
```

```

PLC_Init();
Serial1.begin(115200);
Serial3.begin(9600);

//delay(30);
//display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C); // initialize with the I2C addr 0x3D (for the
128x64)
mps.setSpeed(100);
mps1.setSpeed(40);
mps2.setSpeed(80);
mps3.setSpeed(100);
mps4.setSpeed(150);
mps5.setSpeed(200);

}
void loop() {
if (millis()>Actualizar_Oled_timer)//actualiza OLED cada 1000 ms
{
  Actualizar_Oled_timer=millis()+5000;
  Contador++;
  dato5=dato4; //
  dato4=dato3; //
  dato3=dato2; //
  dato2=dato1; //
  dato1=dato0;
  dato0=Temp1; //Linealización del Termopar
  Temp1=LEER_ANALOGA_4 ()/7; //
  sumadordatos=(dato0+dato1+dato4+dato3+dato2+dato5+Temp1)/7; //
  Temp2=sumadordatos; //
  Actualizar_OLED(); //

  Serial3.print("tmp1.val="); //
  Serial3.print(Temp2); //Imprimir temperatura en l pantalla Nextion
  Serial3.print("\xFF\xFF\xFF"); //
  delay(30); //

}

```

```

if(Serial3.available(>0){
dato = Serial3.read();
ActualizarStepper=1;

// if(Temp1>450){
// RELAY1_ON;
// }
// else{
// RELAY1_OFF;
// }

//////////////////// Pre-dosificacion

//////////////////// para 1 minuto
if(dato=='a'){
mps.step(2048*97);
delayMicroseconds(400);
}

//////////////////// para 3 minutos
if(dato=='b'){
mps.step(2048*288);
delayMicroseconds(400);
}

//////////////////// para 5 minutos
if(dato=='c'){
mps.step(2048*485);
delayMicroseconds(400);
}

//////////////////// Dosificacion automatica

if(dato=='d'&&Temp1>350){
mps1.step(-2048*10);
delayMicroseconds(400);
RELAY1_ON;
delay(5000);
RELAY1_OFF;
delay(10000);
RELAY1_ON;
delay(20000);
RELAY1_OFF;
}

```

```
//////////////////////////////////////Dosificacion manual
```

```
if(dato=='j'){
  RELAY1_ON;
}
if(dato=='k'){
  RELAY1_OFF;
}

    if(dato=='e' && Temp1>350){
//  RELAY1_ON;
//  delay(5000);
  mps1.step(-2048*10);
  delayMicroseconds(350);
//  RELAY1_OFF;
}

    if(dato=='f' && Temp1>350){
//  RELAY1_ON;
//  delay(5000);
  mps2.step(-2048*10);
  delayMicroseconds(400);
//  RELAY1_OFF;
}

    if(dato=='g' && Temp1>350){
  //RELAY1_ON;
  //delay(5000);
  mps3.step(-2048*10);
  delayMicroseconds(400);
  // RELAY1_OFF;
}

    if(dato=='h' && Temp1>350){
  //RELAY1_ON;
  // delay(5000);
  mps4.step(-2048*10);
  delayMicroseconds(400);
  // RELAY1_OFF;
}

    if(dato=='i' && Temp1>350){
  // RELAY1_ON;
```

```

//delay(5000);
mps5.step(-2048*10);
delayMicroseconds(400);
// RELAY1_OFF;
}
}
}

```

Anexo 2. Tablas de código ASCII

ASCII Hex Símbolo	ASCII Hex Símbolo	ASCII Hex Símbolo	ASCII Hex Símbolo
0 0 NUL	16 10 DLE	32 20 (space)	48 30 0
1 1 SOH	17 11 DC1	33 21 !	49 31 1
2 2 STX	18 12 DC2	34 22 "	50 32 2
3 3 ETX	19 13 DC3	35 23 #	51 33 3
4 4 EOT	20 14 DC4	36 24 \$	52 34 4
5 5 ENQ	21 15 NAK	37 25 %	53 35 5
6 6 ACK	22 16 SYN	38 26 &	54 36 6
7 7 BEL	23 17 ETB	39 27 '	55 37 7
8 8 BS	24 18 CAN	40 28 (56 38 8
9 9 TAB	25 19 EM	41 29)	57 39 9
10 A LF	26 1A SUB	42 2A *	58 3A :
11 B VT	27 1B ESC	43 2B +	59 3B ;
12 C FF	28 1C FS	44 2C ,	60 3C <
13 D CR	29 1D GS	45 2D -	61 3D =
14 E SO	30 1E RS	46 2E .	62 3E >
15 F SI	31 1F US	47 2F /	63 3F ?
ASCII Hex Símbolo	ASCII Hex Símbolo	ASCII Hex Símbolo	ASCII Hex Símbolo
64 40 @	80 50 P	96 60 `	112 70 p
65 41 A	81 51 Q	97 61 a	113 71 q
66 42 B	82 52 R	98 62 b	114 72 r
67 43 C	83 53 S	99 63 c	115 73 s
68 44 D	84 54 T	100 64 d	116 74 t
69 45 E	85 55 U	101 65 e	117 75 u
70 46 F	86 56 V	102 66 f	118 76 v
71 47 G	87 57 W	103 67 g	119 77 w
72 48 H	88 58 X	104 68 h	120 78 x
73 49 I	89 59 Y	105 69 i	121 79 y
74 4A J	90 5A Z	106 6A j	122 7A z
75 4B K	91 5B [107 6B k	123 7B {
76 4C L	92 5C \	108 6C l	124 7C
77 4D M	93 5D]	109 6D m	125 7D }
78 4E N	94 5E ^	110 6E n	126 7E ~
79 4F O	95 5F _	111 6F o	127 7F

Anexo 3. Manual de CP04

Term	Nom	Descripción	Rangos
1	5V	Voltaje +5V	+5VDC
2	SA	Salida Análoga	0-10V
3	S1	Salida de transistor 1	12-24 VDC
4	S2	Salida de transistor 2	12-24 VDC
5	S3	Salida de transistor 3	12-24 VDC
6	+V	Alimentación de módulo de control (+V)	12-24 VDC
7	0V	Alimentación de módulo de control (GND)	0V
8	S4	Salida de relé 1	220 VAC
9	S5	Salida de relé 2	220 VAC
10	S6	Salida de relé 3	220 VAC
11	S7	Salida de relé 4	220 VAC
12	CM	Común salida relé	220 VAC
13	A0	Entrada 1 de voltaje/ NTC (10K Ω)	0-10V
14	A1	Entrada 2 de voltaje/ NTC (10K Ω)	0-10V
15	A2	Entrada de corriente	0-20mA
16	0V	GND común entradas	0V
17	I1	Entrada digital 1	+5 VDC
18	I2	Entrada digital 2	+5 VDC
19	I3	Entrada digital 3	+5 VDC
20	I4	Entrada digital 4	+5 VDC
21	I5	Entrada digital 5	+5 VDC
22	I6	Entrada digital 6	+5 VDC
23	I7	Entrada digital 7	+5 VDC
24	I8	Entrada digital 8	+5 VDC
Prog.	Prog	Puerto de programación (micro USB)	+5VDC
Com1	Com1	Puerto serial 1 TTL (micro USB)	+5VDC
Com2	Com2	Puerto serial 2 TTL (mini USB)	+5VDC
Com3	Com3	Puerto serial 3 TTL (mini USB)	+5VDC

Anexo 4. Planos.