



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS TÉCNICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**MEMORIA TÉCNICA DEL DISEÑO DE UN DESHIDRATADOR DE
FRUTAS CON UNA CAPACIDAD DE 50 KILOGRAMOS CADA LOTE**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
MECATRÓNICA**

ANDREA ESTEFANÍA GARZÓN SANTAMARÍA

DIRECTOR: Luis Andrade, PhD

D. M. Quito,

2022

*Dedico a mi madre por su motivación y apoyo incondicional.
La inteligencia consiste no sólo en el conocimiento, sino también en la destreza de aplicar
los conocimientos en la práctica.
Aristóteles*

Agradecimientos

Agradezco a mi madre, porque todo lo que he conseguido se lo debo a ella que me enseñó que nada es imposible, por todo su esfuerzo, dedicación y amor incondicional. Te agradezco por estar en cada momento de mi vida y acompañarme siempre en cada una de mis metas. A mi familia por su apoyo, y por último a mí, por esa dedicación que he entregado para cumplir mi meta.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	Tema	1
2.	Objetivos	1
2.1.	General	1
2.2.	Específicos	1
3.	Problema	1
4.	Hipótesis	2
5.	Estudio de máquinas deshidratación de frutas	3
5.1.	Deshidratación	3
5.2.	Proceso para deshidratar frutas	4
5.3.	Deshidratadores de fruta	5
5.4.	Estudio del producto	8
5.5.	Proceso de deshidratación	10
6.	Normas en el ámbito alimenticio	11
6.1.	Normativa de higiene para las frutas y hortalizas deshidratadas	11
6.2.	Equipos, infraestructura y utensilios	11
6.3.	Normativa de materiales	13
7.	Diseño Mecánico	13
7.1.	Análisis de alternativa de la forma geométrica de la bandeja	14
7.2.	Dimensionamiento de Bandejas	16
7.3.	Caudal Requerido	21
7.4.	Selección de resistencia eléctrica	28
7.5.	Selección de ruedas de carga	38
8.	Sistema de control	39
8.1.	Selección de componentes eléctricos para el control del deshidratador	40
9.	Simulación pantalla HMI	54
10.	Demostración del controlador de temperatura	62
11.	Análisis de costos	63
12.	Conclusiones	67

13. Recomendaciones 69

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Deshidratador	7
2. Clasificación de la fruta	8
3. Proceso de deshidratación	11
4. Diseño del deshidratador	14
5. Marco de bandeja	18
6. Distancia entre bandejas	19
7. Camara de deshidratacion	20
8. Posicion inferior	26
9. Posición vertical parte trasera	26
10. Ubicación de los ventiladores en la cámara de deshidratación	27
11. Alternativa 1: Thermolon	28
12. Alternativa 2: Lana de vidrio	28
13. Resistencia térmica equivalente	30
14. Capas de paredes del deshidratador	36
15. Resistencia eléctrica	37
16. Características de rueda de carga	39
17. Diagrama del sistema de control del deshidratador	40
18. Contactor tripolar SIRIUS tamaño S0	42
19. Disyuntor	43
20. Relé térmico	44
21. Luz piloto	44
22. Sirena	45
23. Paro de emergencia	46
24. Final de carrera	47
25. Sistema de control de temperatura	47
26. Controlador de temperatura	48
27. PLC S7-1200	51
28. HMI KTP400 Basic	53

29. Fuente de alimentación SITOP	54
30. Menú de la HMI	55
31. Pantalla detallada de manzana	56
32. Diagrama de flujo del sistema de control	58
33. Diagrama de flujo de subfunción de Inicio Temporizador	59
34. Diagrama de flujo de subfunción de Adquisición y almacenamiento de datos	60
35. Diagrama de base de datos	60
36. Tablero de datos en node-red	61
37. Tabla de almacenamiento de datos en archivo excel	61
38. Gráfica de estabilidad de la temperatura vs. tiempo	62
39. Gráfica de estabilidad durante el proceso	63
40. Gráfica de temperatura de operación a temperatura ambiente	63

ÍNDICE DE TABLAS

1. Procesos de deshidratación	4
2. Ventajas y desventajas de los procesos de deshidratación	4
3. Máquinas de deshidratación industrial	6
4. Características del deshidratador	7
5. Contenido nutricional de las frutas	9
6. Vitaminas y minerales de las frutas	9
7. Propiedades físicas de la fruta	10
8. Análisis de Alternativa 1	15
9. Análisis de Alternativa 2	15
10. Datos de la piña	16
11. Dimensión de Bandeja	18
12. Calor sensible	22
13. Calor de evaporación	23
14. Calor útil	23
15. Flujo másico del aire en el proceso	24
16. Velocidad en la cámara de deshidratación	25
17. Características del ventilador	25
18. Análisis de Alternativa 1	27
19. Análisis de Alternativa 2	27
20. Alternativa 1: Thermolon	29
21. Alternativa 2: Lana de vidrio	29
22. Número de Reynolds	31
23. Coeficiente de convección interna	32
24. Datos para el número de Rayleighcon	33
25. Convección natural	33
26. Conductividad térmica del materia y producto	34
27. Coeficiente global de transferencia de calor	34
28. Pérdidas de calor por diferentes factores	37

29. Calor neto requerido	37
30. Análisis de resultados	38
31. Peso del deshidratador	38
32. Características del contactor	42
33. Características del contactor	42
34. Características del contactor	42
35. Disyuntor eléctrico	43
36. Características de luz piloto	45
37. Características de final de carrera	46
38. Controlador de Temperatura	48
39. Termocuplas	49
40. Analisis de Alternativa 1	49
41. Análisis de Alternativa 2	50
42. Análisis de Alternativa 3	50
43. Entradas de mando	51
44. Salidas de mando	51
45. Características técnicas del PLC SIEMENS SIMATIC S7-1200	52
46. Características HMI KTP400 Basic	53
47. Consumo de corriente de los componentes de 24 VDC	53
48. Análisis de costo de material estructural	64
49. Análisis de costo de PLC	64
50. Análisis de costo de HMI	64
51. Análisis de costo de resistencia eléctricas	65
52. Análisis de costo de controlador de temperatura	65
53. Análisis de costo de ventilador	65
54. Análisis de costo	66
55. Costo de consumo en un mes	67

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Catálogo de ángulo en acero inoxidable DIPAC	74
---	----

Anexo B: Catálogo de malla de acero inoxidable perforada	75
Anexo C: Ficha técnica del ventilador seleccionado	76
Anexo D: Tabla de propiedades del aire [20]	77
Anexo E: Diagrama de Moody [20]	78
Características técnicas de resistencia eléctrica	79
Anexo G: Código de programación en TIA PORTAL V17.	80
Anexo H: Diagrama de flujo	84
Anexo I: Plano Electrónico	85
Anexo J: Planos Mecánicos	86
Anexo K: Manual de operación	87

DESHIDRATADOR DE FRUTAS

1. Tema

Diseño de un deshidratador de frutas con una capacidad de 50 kilogramos cada lote

2. Objetivos

2.1. General

Diseñar de un deshidratador de frutas con una capacidad de 50 kilogramos cada lote.

2.2. Específicos

- Documentar los procesos de deshidratación de frutas.
- Dimensionar y seleccionar los elementos mecánicos para el deshidratador.
- Plantear un sistema de control de temperatura en el deshidratador de frutas.
- Simular un HMI para el control de deshidratación de frutas que permita la interacción con el operador.
- Generar una base de datos con temperatura y tiempos de deshidratación de las frutas para mantener un historial.

3. Problema

La empresa Carli Snacks Cía. Ltda., es una empresa dedicada a la elaboración de alimentos como bocaditos de cereales extruidos, tubérculos como papas y chifles sometidos a fritura. Las exigencia actuales de tener diversidad de producto hace que la empresa inicie el desarrollo de productos deshidratados para incorporar a sus líneas de producción. En la actualidad las personas buscan productos saludables que contengan todos los nutrientes indispensables para mantener una adecuada alimentación, la empresa busca satisfacer

al cliente y dar una solución a este problema tratando de utilizar nuevos procesos en sus líneas de fabricación como es la deshidratación, que ayude a obtener productos que mantengan todas las características nutritivas y un proceso inocuo que obtenga productos que no hayan sido degradados por condiciones de proceso como la temperatura y la humedad y así resolver este problema para lo cual se investiga un proceso que ayude a obtener estos productos deseados y a la vez obtener rentabilidad y una productividad adecuadas que vayan de la mano con la rapidez que se pueda atender a los clientes. El estudio de equipos y procesos adecuados de deshidratación permitirán responder cualitativa y cuantitativamente la elaboración los productos deseados. A elegir productos deshidratados que se obtengan más rápidamente y a la vez sistematizar los controles de temperatura que ayuden a obtener en menos tiempo mayor cantidad de productos saludables requeridos por el cliente.

Al sistematizar el proceso de deshidratación se soluciona además la prolongación del periodo de vida o tiempo de duración del producto, facilitando la comercialización y que el proceso sea más rentable para la empresa tomando en cuenta que la automatización de los equipos ayudan a obtener más producto en menos tiempo.

4. Hipótesis

Se optimiza el proceso de deshidratación utilizando el equipo que controla la temperatura ayudando a desprender la humedad con la temperatura controlada y así obtener un producto deshidratado estandarizando que mantiene los parámetros nutricionales de frutas, esto para obtener 50 kg cada lote de producto. Así se considera el tiempo del proceso de la fruta que se deshidrata. Actualmente los métodos tradicionales de secado al ambiente se toman más de 3 a 5 días para disminuir la humedad de las frutas, los cuales son sometidos a condiciones no higiénicas puesto que generalmente lo realizan en bastidores con malla y lo exponen al sol. El deshidratador de frutas dispone una interfaz Hombre-Máquina por sus siglas en inglés (HMI) para lo cual indica en la pantalla el ícono de la fruta que se desea deshidratar. Al seleccionar la fruta comienza el funcionamiento de la máquina calentando a la temperatura establecida. El tiempo de deshidratación depende de la humedad que contiene la fruta y también de la temperatura del proceso.

5. Estudio de máquinas deshidratación de frutas

5.1. Deshidratación

La conservación por deshidratación se basa en proceso de eliminación de humedad esto es la reducción del contenido de agua de los productos lo que conduce a cambiar las condiciones de conservación de alimentos; con la deshidratación se baja la actividad del agua por ende la actividad microbiológica se elimina.

La deshidratación controlada y parametrizada debidamente ayuda a establecer uniformidad en el producto y el porcentaje de humedad baja haciendo que el producto se conserve mejor. Al deshidratar es muy importante el contacto de la superficie del producto, la inyección del aire caliente a una temperatura constante y se puede obtener en función del contenido de humedad del producto y la humedad que se desprende en el aire es muy importante controlar tiempo y la temperatura para mantener un equilibrio isotérmico [1].

El proceso deshidratación se entiende que es la extracción de líquido (agua) donde pueden desarrollarse microorganismos que dañen al producto por eso es muy importante la deshidratación ya que extrae el agua de los diferentes productos (quitando el agua o humedad, medio en el cual se desarrollan microorganismos) y manteniendo los sólidos del producto en características tales que se conserve el producto a más largo tiempo y manteniendo los nutrientes; siendo la deshidratación una manera de conservar los productos alimenticios.

Los parámetros de control en la deshidratación son: el tiempo, temperatura, humedad inicial y humedad final. El control del tiempo de deshidratación es importante pues cualquier variación afecta o modifica la superficie de los productos y un control adecuado evita formar una costa gruesa o emparedecimiento por una sobre exposición. En el proceso de deshidratación se considera también la humedad con la que se desarrolla la deshidratación es decir la pérdida de agua por calentamiento denominando técnicamente pérdida por calentamiento mientras se lo realice en menos tiempo se obtiene un producto con más nutrientes.

La deshidratación controlada y parametrizada debidamente ayuda a establecer uniformidad en el producto. Los controles estandarizados de temperatura y tiempo ayudan a que la difusión interna sea homogénea y que el producto tenga una buena apariencia [2].

5.2. Proceso para deshidratar frutas

Existen varias formas de deshidratación de frutas en la tabla 1 se presenta un cuadro con los diferentes métodos de deshidratación.

Tabla 1: Procesos de deshidratación

Deshidratación osmótica	Deshidratación solar	Deshidratador eléctrico
El proceso deshidratación osmótica a presión atmosférica radica en sumergir la fruta en una solución azucarada (la cual ejerce la deshidratación osmótica) la utilización de sacarosa como soluto para el proceso de deshidratación de frutas es muy costoso y menos saludable [3].	El proceso por deshidratación solar es la forma más antigua para el secado de frutas ,utiliza la energía del sol para deshidratar eso se lo realiza exponiendo la fruta directamente al sol y menos inocua. [4, 5].	El proceso por deshidratación eléctrica es la generación de aire caliente el cual circula por una cámara que en el interior se encuentra los productos a deshidratar y se mantiene inocuidad [6].

En tabla 2 se presentan ventajas y desventajas de cada uno de los procesos de deshidratación explicados en la tabla 1

Tabla 2: Ventajas y desventajas de los procesos de deshidratación

Deshidratación osmótica	Deshidratación solar	Deshidratador eléctrico
<p>Ventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Retira el agua y evita el crecimiento de microorganismo. ■ Se mantiene la coloración de la frutas. <p>Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Periodo de las frutas deshidratadas es más largo. ■ Costo operativos muy altos ■ Costo de insumos altos 	<p>Ventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Bajo costo de fabricación. ■ No contamina el medio ambiente. <p>Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Requiere mucho tiempo de deshidratación. ■ El proceso necesita de exposición directa al sol para deshidratar posible contaminación por estar expuesto al ambiente. 	<p>Ventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Se puede establecer a temperatura y tiempo uniforme. ■ Tiempo corto de producción obteniendo mayor productividad. ■ El producto mantiene sus características organolépticas y nutricionales <p>Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Alto consumo de energía

5.3. Deshidratadores de fruta

Debido a que existen diferentes procesos de deshidratación se usan diferentes tipo de máquinas como son los deshidratadores solares, los que aprovechan la radiación del sol para remover la humedad de las frutas, este tipo de máquinas usa una rejilla por la cual pasa un flujo de aire que por medio de los rayos solares se calienta y circula por la cámara de secado donde se encuentra la fruta para la evaporación del agua contenida en la fruta, pero generalmente se los realizan a intemperie quedando fuera de control posibles contaminaciones provenientes del ambiente, y no mantiene inocuidad, a diferencia de los deshidratadores eléctricos que son similares a un horno aplica aire caliente dentro de la cámara de secado obteniendo el producto deshidratado en menor tiempo y protegidos de cualquier posible contaminación proveniente del ambiente. En la tabla 3 se presentan máquinas industriales de deshidratación solar y máquinas deshidratadoras eléctricas.

Tabla 3: Máquinas de deshidratación industrial

Tipos de máquina	Principio de funcionamiento	Capacidad Dimensiones	Dimensiones	Máquina
Deshidratador solar [7]	Deshidrata los frutos por medio del sol al momento en que los rayos del sol están intensos	500 kg lote	2x1x0.082m	
Deshidratador solar [8]	El deshidratador solar 23 °C aprovecha la energía solar, elimina el agua por la circulación de aire caliente en bandejas expuestas al sol	100 kg lote	2x2.5x1.4 m	
Deshidratador eléctrico [9]	El deshidratador utiliza una resistencia de calor de alta potencia la cual es controlada por un PLC	1200 kg lote	4.8x2.5x2.2m	
Deshidratador de resistencia térmica [10]	Es un deshidratador eléctrico el cual para generar el aire caliente se enciende la resistencia y se la regula según el producto a trabajar	1000 kg lote	1.42x0.7x0.88 m	
Deshidratador eléctrico [11]	Es un horno de secado el cual genera aire caliente para deshidratar	300 kg lote	2.36x3.2x2 m	

El modelo de la máquina a considerar es un deshidratador eléctrico el cual genera aire

caliente optimizando el proceso en menor tiempo, a continuación, se presenta las características de la máquina seleccionada :

- Rango de tiempo de deshidratación de 0 a 15 h, con un rango de temperatura de 40 a 90 °C.
- Resistencia térmica con ventiladores para la circulación de aire caliente.
- Dispone de visores en las puertas de vidrio templado para observar el secado interior.

En la tabla 4 se presentan las características técnicas y en la figura 1 se presenta el deshidratador que se va a diseñar.

Tabla 4: Características del deshidratador

Voltaje	110V/220V
Potencia	5850 W
Capacidad	100 kg lote
Temperatura	40-90 °C



Figura 1: Deshidratador [10]

5.4. Estudio del producto

Frutos

Las frutas obtenidas en el campo son consideradas como un alimento nutritivo para los seres humanos su sabor es dulce-ácido, actualmente se deshidratan como aperitivos o bocaditos saludables lo que permite llegar a sitios más remotos con productos que no han sido sometidos a una conservación química sino más bien retirando la humedad y sea más manejables en el transporte puedan conservar sus propias características sin preservantes que afecten a la salud de los consumidores y que el tiempo de vida es prolongado. A continuación, en la figura 2 se presenta la clasificación de algunas frutas que pueden ser deshidratadas en el equipo [12].



Figura 2: Clasificación de la fruta

Las frutas son consideradas uno de los alimentos más importantes para la dieta humana debido a sus aportes de fibra, vitaminas y minerales en productos frescos o deshidratados; en la tabla 5 tenemos componentes como agua, hidratos de carbono, proteína, fibra y valor energético de algunas frutas. En la tabla 6 tenemos las vitaminas que aportan las frutas al organismo de los seres humanos [13].

Tabla 5: Contenido nutricional de las frutas [12, 13]

Frutas	Agua (%)	Proteína (%)	Hidratos de carbono (%)	Fibra (%)	Valor energético (kJ/100g)
Manzana	85	0.3	12	1.0	200
Cereza	84	0.7	13	0.5	270
Melocotón	86	0.7	11	0.7	175
Fresa	88	0.9	8	1.4	155
Plátano	75	1.1	21	1.0	255
Naranja	88	1.0	9	0.5	165
Piña	89	0.9	0.99	6.3	40

Tabla 6: Vitaminas y minerales de las frutas [14]

Frutas	Calcio (mg)	Hierro (mg)	Vitamina A (UI)	Tiamina (mg)	Riboflavina (mg)	Niacina (mg)	Vitamina C (mg)
Manzana	7	0.3	90	0.03	0.02	0.1	4
Cereza	12	0.018	1283	0.7	0.08	0.5	60
Melocoton	9	0.2	1330	0.02	0.05	1	7
Fresa	21	1	60	0.03	0.07	0.6	60
Plátano	11	1	190	0.04	0.05	0.5	11
Naranja	41	0.4	200	0.10	0.04	0.4	50
Piña	13	0.3	58	0.079	0.032	0.5	47.8

En el proceso de deshidratación de las frutas tenemos como ventaja una mayor conservación a temperatura ambiente, menos peso y volumen del producto obteniendo una mayor concentración en nutrientes que en otro proceso de conservación de alimentos, en la actualidad el proceso de deshidratación es uno de los más utilizados en la industria alimenticia como son leche, carne, huevos entre otros como alimentos en polvo. Existen varias propiedades físicas de las frutas que se consideran para el diseño de un deshidratador se presentan en la tabla 7 [15].

Tabla 7: Propiedades físicas de la fruta [12]

Frutas	Densidad ρ (kg/m ³)	Conductividad calorífica (W/m K)	Difusibilidad térmica (10 ⁻⁸ m ² /s)
Manzana	880	0.49	14.6
Pera	1010	0.51	13.4
Melocotón	930	0.58	16.8
Fresa	900	0.46	13.4
Uva	1040	0.52	13.1
Plátano	980	0.48	13
Naranja	980	0.43	14.6
Piña	1010	0.549	-

5.5. Proceso de deshidratación

En la figura 3 se muestra el procesos para la deshidratación de la fruta. En el paso 1 se corta la fruta, se retiran las semillas de las frutas que las contienen, en el paso 2 se realizan los cortes de las frutas y se colocan en las bandejas del deshidratador, en el paso 3 las bandejas con el producto se las lleva a la cámara de deshidratación, se cierra la puerta; en el paso 4 en la interfaz gráfica HMI se selecciona el botón con el nombre de la fruta que se deshidratará, en el cual se ha especificado los parámetros de proceso de deshidratación: tiempo y temperatura; al momento que se selecciona la fruta en la interfaz gráfica HMI, arranca el funcionamiento de los ventiladores se encienden el controlador de la temperatura con las resistencias por lo que la máquina ya se encuentra en funcionamiento e iniciando el conteo de tiempo de proceso; cuenta además con un sistema de control de temperatura para que se mantenga en el valor determinado para la deshidratación de la fruta. En la figura 25 se presenta un diagrama de bloques en el que se visualiza control de temperatura de la máquina. En el paso 5 suena la alarmar una vez que el proceso a terminado y en el paso 6 se retira el producto terminado.

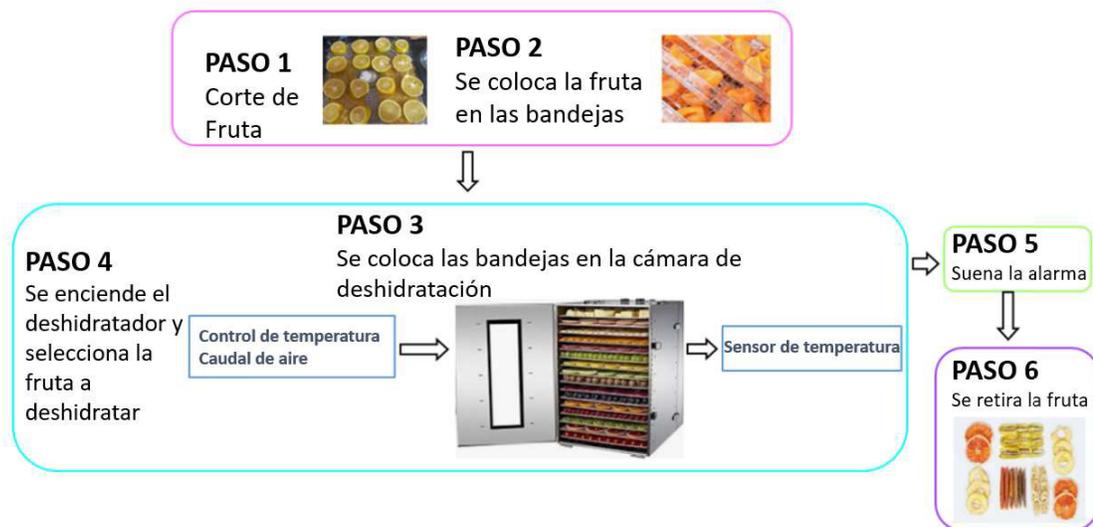


Figura 3: Proceso de deshidratación

6. Normas en el ámbito alimenticio

6.1. Normativa de higiene para las frutas y hortalizas deshidratadas

En los procesos tecnológicos de alimentos es muy importante aplicar normativas de higiene en los alimentos deshidratados de frutas y hortalizas. Siendo aspectos importantes a considerar las normas de higiene aplicadas a todos los procesos y equipos considerando todos los aspectos importantes que que precautelen la inocuidad de los productos y protejan la salud del consumidor, debido a que a un alimento debe aplicarse procesos adecuado de higiene de tal manera que se prevenga contaminación evitando crecimiento de microorganismos contaminantes que puedan causar enfermedades, intoxicaciones alimentarias, motivo por el cual se considera aplicar un proceso de conservación como es la deshidratación en este caso, y así precautelar que con la deshidratación se elimine este tipo de contaminación [16].

6.2. Equipos, infraestructura y utensilios

Las normativas indican que las superficies que entren en contacto con los alimentos deben ser lisas, no estar descascarilladas, no tener picaduras ni grietas y no deben ser toxi-

cas. Los materiales utilizados para los equipos deben cumplir con lo indicado anteriormente y de materiales de fácil limpieza.

La infraestructura donde se instalan los equipos debe ser diseñado y construido de tal manera que al instalar los equipos se evite riesgos contra la higiene y sean de fácil limpieza. De igual manera los utensilios deben cumplir con lo dictado en las normativas, y cumplir con las respectivas especificaciones, aplicando lo anteriormente indicado en el caso de bandejas u otros utensilios utilizados en la deshidratación.

Construcción del equipo de secado: Los materiales de los equipos deben ser de grado alimenticio ejemplo las carcasas de acero inoxidable, vidrio refractario de grado alimenticio, El equipo utilizado para el secado debe ser construido y funcionar de tal forma que no afecte al alimento que vaya a deshidratarse y sea medio de secado higiénico.

Mantenimiento sanitario de la instalación, equipo y edificaciones: las normativas indican además que los procesos en sí para los equipos y utensilios deben mantenerse en buen estado y buenas condiciones sanitarias. Al momento que esté en funcionamiento la instalación se debe mantener condiciones adecuadas de funcionamiento de igual manera mantener las condiciones higiénicas correspondientes aplicables a estos. Higiene del personal y prácticas de manipulación de los alimentos [17].

- De igual forma el personal que opere la maquinaria o equipo debe mantener una amplia limpieza personal y la ropa adecuada mientras este en operación.
- Mantener limpias las manos para mantener higiene al momento de entrar en contacto con los equipos.
- Aplicable también estas normativas a las zonas donde se manipulan los alimentos y se encuentran instaladas las máquinas o equipos deben ser higiénicas manteniendo la limpieza y el orden.
- Evitar la contaminación en los productos alimenticios.
- Para evitar contaminación, deben aplicarse debidamente las normas de higiene en todos los ámbitos.

6.3. Normativa de materiales

En el reglamento (CE) 1935/2004 indica que los materiales destinados a entrar en contacto con los alimentos deben evitar transferir sustancias o microorganismo contaminantes en los alimentos lo que pondra en peligro la salud o la modificación de la composición de los productos alimenticios. Los materiales que entren en contacto con los alimentos deben cumplir con los requisitos del reglamento como son:

- Vidrio

- Metales y aleaciones

- Plásticos

- Madera

7. Diseño Mecánico

En la figura 4 se presenta el deshidratador de frutas en la cual se indican las partes de la máquina; compuesto por un desfogue para la salida de vapor como desfogue del aire caliente producto de la deshidratación, las puertas para el ingreso y salida del producto y evita que escape el calor del deshidratador, en las bandejas donde se coloca el producto a deshidratar se ubican en la estructura de soporte, conforman la cámara de deshidratación, en las bandejas se colocan el producto, hacia donde llega el aire caliente para disminuir la humedad en las frutas. En la parte anterior (trasera) se colocan los ventiladores del deshidratador que ayudan a la salida de vapor, los cuales desde el inicio del proceso de deshidratación de las frutas ayudan a desprender el vapor agua efecto de la deshidratación conducir hacia el desfogue superior en la parte alta de la máquina estos ventiladores además impulsan el calor generado por las resistencias eléctricas. El equipo de deshidratación dispone de ruedas para facilitar el traslado o movimientos que faciliten la higiene y limpieza y facilite al manipulador u operador a las operaciones respectivas del deshidratador y con una cerradura para evitar que las puertas se abran cuando se encuentra en funcionamiento. En la parte superior izquierda se ha instalado el tablero de control en el cual se encuentra el

controlador lógico programable por sus siglas en inglés (PLC) como cerebro del deshidratador, una interfaz gráfica HMI como interacción entre la máquina y el usuario observando botones que representan a las frutas a deshidratar que son : manzana, pera, melón, piña, fresa y plátano. También se tiene una alarma que es encendida cuando ha finalizado el proceso de deshidratación, las luces piloto como indicadores del proceso, el controlador de temperatura el cual es el encargado de estabilizar la temperatura deseada del deshidratador y recibe esta variable por el sensor de temperatura ubicado en el interior del deshidratador y el fin de carrera para que el deshidratador funcione solo cuando las puertas están cerradas. Se procede al diseño y selección de materiales para la máquina. Inicialmente se procede al dimensionamiento de la bandeja para conocer el número que se requiere de bandejas y determinar las dimensiones de la cámara de deshidratación seguidamente se procede a calcular el caudal y calor requerido en la máquinas para la selección del ventilador y las resistencias eléctricas. Por último, se determina el peso de la máquina para la selección de las ruedas de la máquina las cuales ayuda a la traslación de la misma.

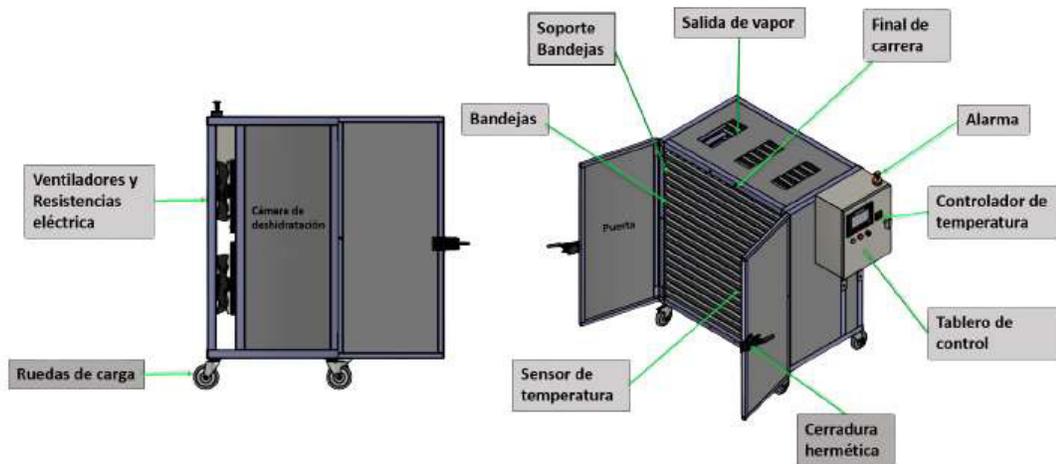


Figura 4: Diseño del deshidratador

7.1. Análisis de alternativa de la forma geométrica de la bandeja

Para el diseño de las bandejas se considera dos formas geométricas: Circular y Rectangular. Se desarrolla un análisis de alternativas por método de ponderado.

A continuación se indican las dos alternativas de las bandejas:

- Alternativa 1: Bandeja Circular .

- Alternativa 2: Bandeja Rectangular.

El método de ponderados permite seleccionar la alternativas más óptima. Cómo se pronuncia considerando los criterios más relevantes.

- Costo de fabricación: Es necesario conocer los costos de fabricación en una forma circular y rectangular.
- Capacidad: Es fundamental determinar con cuál de las dos formas geométricas se obtiene una mayor capacidad de almacenamiento.
- Moldeabilidad: Facilidad de moldear el material en la figura geométrica requerida.
- Eficiente de la energía: El área de las bandejas ayuda a una eficiencia energética en la deshidratación ya que no hay espacio intersticiales.

En las tablas 8 y 9 se presenta las ponderaciones con cada uno de los criterios considerados para el análisis de alternativas de la bandejas.

Tabla 8: Analisis de Alternativa 1

Factores	Ponderación (%)	Calificación	Resultado
Costo de montaje	30	6	180
Capacidad	70	6	420
Maleabilidad	60	6	360
Eficiente de la energía	70	7	490
Total	-	-	1450

Tabla 9: Análisis de Alternativa 2

Factores	Ponderación (%)	Calificación	Resultado
Costo de montaje	80	9	720
Capacidad	80	9	720
Maleabilidad	90	9	810
Eficiente de la energía	80	9	720
Total	-	-	2970

Por medio de los valores obtenidos en las tablas 8 y 9 se selecciona la alternativa 2 la cual nos indica que la forma geométrica de la bandeja debe ser rectangular debido a que

su costo de fabricación es más accesible obteniendo una mayor capacidad de espacio al momento de colocar el producto y no se tiene que moldear el material para obtener una forma redonda.

7.2. Dimensionamiento de Bandejas

Una vez conocida la capacidad del deshidratador de producto fresco, como primer paso se dimensiona las bandejas la cual nos permitirá conocer ancho, largo y profundidad, definiendo de igual manera la altura de la cámara de deshidratación. Para determinar las dimensiones de las bandejas se calcula la densidad de la piña por medio de la ecuación (1) para la cual se tomó el diámetro, peso, altura y volumen de 5 muestras de una piña hawaiana presentadas en la tabla 10 obteniendo el promedio de dichos factores y determino una densidad de 541,24 kg/m³ [18].

Tabla 10: Datos de la piña

N	Diámetro (cm)	Peso (g)	Altura (cm)	Volumen (cm ³)
1	13	1600	22	2920,02
2	10	800	18	1413,67
3	12	800	16	1809,50
4	10	600	16	1256,60
5	10	600	14	1099,52
Promedio	11	880	17,2	1699,86

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1)$$

Donde:

- m Masa de la fruta, en kg;
- v Volumen de la fruta, en m³;
- ρ Densidad de la fruta, en kg/m³.

El objetivo de calcular la densidad de la piña permite determinar la carga del sólido de las bandejas con la ecuación (2), también considerando el espesor de corte de la fruta con un resultado de 5,4 kg/m². Este es uno de los pasos a seguir para poder calcular el área de secado donde serán colocado el producto para su proceso de deshidratación con la ecuación (3) con un resultado de 9,24 m².

$$C = \rho e \quad (2)$$

Donde:

- e Espesor de la piña, en m;
 C Carga del sólido de las bandejas, en kg.

$$A_s = \frac{G}{C} \quad (3)$$

Donde:

- A_s Área de secado, en m²;
 G Capacidad de cámara, en kg.

Determinado el valor del área de secado donde será colocado el producto se procede a calcular el área total de la bandeja con la ecuación (4) el cual nos da un valor de 0,51 m² por lo tanto se determinó que las bandejas son de un 1 m de base y 0,5 m de largo.

$$Ab = \frac{A_s}{N} \quad (4)$$

Donde:

- N Numero de bandejas;
 Ab Área de una bandeja en m²

En la figura 5 se presenta el diseño CAD con las medidas de la bandeja. Seleccionando un perfil en L de acero inoxidable AISI 304 de 25 mm y espesor 3 mm del catálogo de DIPAC presentado en el anexo A. Se sugiere utilizar este ángulo debido a que la carga a soportar es aproximada de 2,7 kg lo que no genera deformación en elemento.

En la tabla 11 se presenta las especificaciones de las bandejas determinando un peso de 1,30 kg adecuado para su manipulación por el operador.

En la parte superior del marco se colocará una malla de acero inoxidable de diámetro de perforación de 6 mm y distancia entre centro de 8,40 mm del catálogo de ACERIMALLAS presentado en el anexo B. Se sugiere este tipo de malla una por su materia debido a que está en contacto con alimento y para evitar que el producto se caiga de la bandeja.

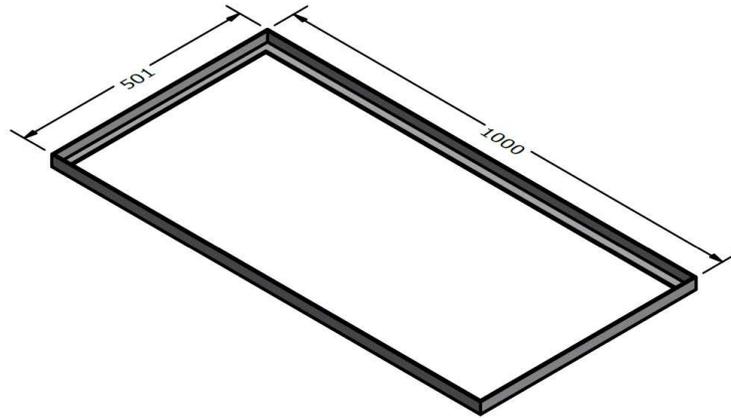


Figura 5: Marco de bandeja

Tabla 11: Dimensión de Bandeja

Factor	Valor
Peso de bandeja	1,30 kg
Longitud de bandeja	1 m
Base de bandeja	0,5 m
Área de Bandeja	0,5 m ²
Altura de bandeja	20 mm

Distancia entre bandejas

Se cálculo las distancia entre bandejas por la circulación del aire caliente por lo que se procede a determinar la distancia entre ellas, se considera transferencia de calor por convección debido a que se tendría un fluido en movimiento por convección forzada al que se hace referencia a los ventiladores para este cálculo se realiza un balance de energía. En la Figura 6 se presenta las paredes consideradas para el análisis dos paredes de acero inoxidable las cuales representan las bandejas y el aire que es el espacio entre ellas, se considera como energía de entrada por conducción a la diferencia de temperatura igual a la energía de salida por convección forzada obteniendo la ecuación (5) es usada para despejar la variable L y determinar el espacio necesario entre cada bandeja [19, 20].

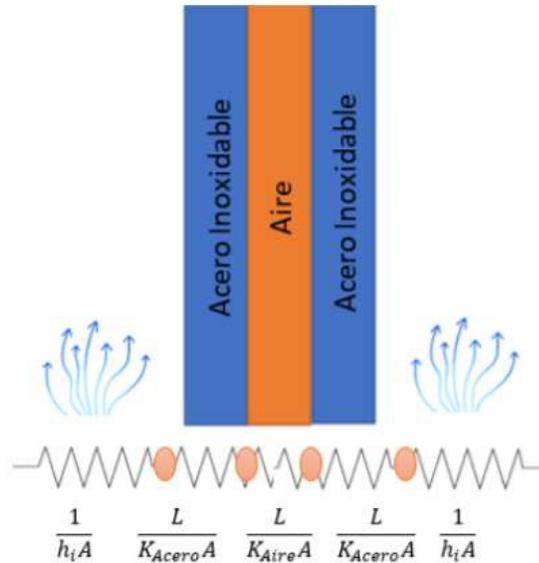


Figura 6: Distancia entre bandejas

$$\frac{T_a - T_s}{\frac{1}{h_i A} + \frac{L}{K_a A} + \frac{L}{K_{ai} A} + \frac{L}{K_a A} + \frac{1}{h_i A}} = h_o A (T_s - T_\infty) \quad (5)$$

Donde:

- L Espesor, en m;
- K_a Conductividad térmica de acero inoxidable, en $W/m^\circ C$;
- K_{ai} Conductividad térmica del aire, en $W/m^\circ C$;
- A Área de la selección, en m^2 ;
- h_i Coeficiente por convección interno, en $W/m^2^\circ C$;
- h_o Coeficiente por convección externo, en $W/m^2^\circ C$;
- T_a Temperatura fluido, en $^\circ C$;
- T_s Temperatura superficie, en $^\circ C$;
- T_∞ Temperatura ambiente, en $^\circ C$.

Por cálculo se obtiene una distancia de 2,7 cm se considera una medida estándar de 3 cm de separación entre las bandejas. Determinada la distancia se calculan las medidas de la cámaras de deshidratación calculando el ancho con la ecuación (6) se tiene una medida de 1 m, para la altura se utiliza la ecuación (7) obteniendo una medida de 1,12 m y la profundidad se calcula con la ecuación (8) obteniendo una medida de 0,52 m.

En la figura 7 se presenta las dimensiones de la cámara de deshidratación. Determinados estos valores se procede a calcular el caudal requerido con el cual se seleccionará el ventilador y se determina el calor requerido de la cámara para la selección de las resistencias

eléctricas [19].

$$\alpha = 2 * A_b \quad (6)$$

Donde:

α Ancho de cámara de deshidratación, en m;
 A_b Ancho de bandeja, en m;

$$\beta = 18 * H_b + 19 * E_b \quad (7)$$

Donde:

β Altura de cámara de deshidratación, en m;
 H_b Altura de bandeja, en m;
 E_b Espacio entre bandeja, en m;

$$\kappa = L_b + 0,02m \quad (8)$$

Donde:

κ Profundidad de cámara de deshidratación, en m;
 L_b Longitud de bandeja, en m;

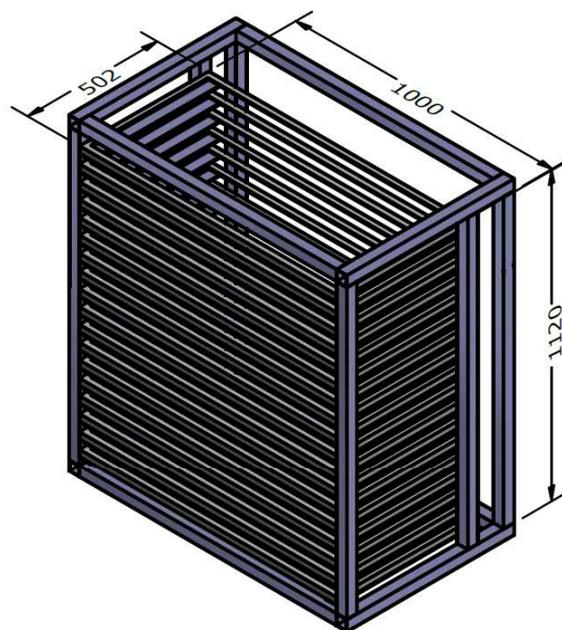


Figura 7: Cámara de deshidratación

7.3. Caudal Requerido

El proceso de deshidratación es la reducción de agua en el producto y para acelerar el procesos se utiliza un ventilador el cual impulsa el aire caliente acelerando la evaporación del agua contenida en la fruta. Para seleccionar el ventilador es necesario conocer el caudal requerido para la cámara de deshidratación.

Se procede a calcular el calor apreciable con la ecuación (9) la cual eleva la temperatura para reducir el agua contenida en la fruta se considera como energía interna la cual es asociada con la energía cinética de las moléculas, para el dimensionamiento se analiza la humedad de las frutas presentada en la tabla 5 se determina que la piña es la fruta con mayor humedad se utiliza como dato más crítico [19].

Calor Apreciable

$$\dot{Q}_s = \frac{c_h C_p (T_p - T_a)}{t_{proceso}} \quad (9)$$

Donde:

- \dot{Q}_s Calor sensible, en kW;
- C_p Calor específico de la masa, en (J/kg °C);
- t_p Tiempo de procesamiento en 21600 s;
- T_p Temperatura del proceso, en °C;
- T_a Temperatura del ambiente, en 22 °C;
- c_h Capacidad a deshidratar de la máquina, en kg.

Para determinar el calor apreciable es necesario conocer el calor específico dado que se mantiene a una presión constante en el proceso de deshidratación con la ecuación (10) se calcula el calor específico de la piña se considera el contenido de agua por la tabla 5. En la tabla 12 se presentan los valores obtenidos de los cálculos, considerando a 75 °C como temperatura crítica del proceso [19,21].

$$C_p = 0,837 + 3,349 * H_o \left(\frac{J}{kg \text{ } ^\circ\text{C}} \right) \quad (10)$$

Donde:

- H_o Humedad inicial del producto.

Tabla 12: Calor sensible

Fruta	c_h (kg)	H_o (%)	C_p (J/kg °C)	t_p (s)	Q_s (kW)
Piña	50	89	3,81	28800	0,35

Calor de evaporación

Se calcula el calor de evaporación dado que el proceso de deshidratación se genera un intercambio de líquido a vapor se calcula con la ecuación (11) para calcular el valor de evaporación el cual indica la rapidez con la que el agua cambia de líquido a vapor primero se calcula la humedad final que se obtendría en el producto deshidratado por la capacidad que se obtendrá del deshidratador con la ecuación (12) se determina la masa del producto [22].

$$\dot{Q}_e = E * h \quad (11)$$

Donde:

- \dot{Q}_e Calor de evaporación , en kW;
- E Evaporación, en kg/s;
- h Entalpía de evaporización del agua al ambiente, en 2257 kJ/kg.

$$m_d = m_h \left(1 - \left(\frac{H_o - H_f}{100 - H_f} \right) \right) \quad (12)$$

Donde:

- m_d Masa del producto deshidrata, en kg;
- H_f Humedad final del producto , en (%).

A fin de determinar la masa del producto se calcula la humedad inicial de la fruto fresco con la ecuación (14) y la humedad del fruto seco (15) para determinar el valor de evaporación con la ecuación (13) por consiguiente calcular el calor de evaporación, los valores obtenidos se presentan en la tabla 13.

$$E = \frac{m_d * (h_{bs} - h_{bh})}{t} \quad (13)$$

Donde:

h_{bs} Humedad del fruto seco , en (%);
 h_{bh} Humedad del fruto fresco , en (%).

$$h_{bs} = \frac{100}{100 - H_o} \quad (14)$$

$$h_{bh} = \frac{H_f}{100 - H_f} \quad (15)$$

Tabla 13: Calor de evaporación

Frutas	H_o (%)	h_{bs} (%)	h_{bh} (%)	m_d (kg)	t (s)	E (kg/s)	\dot{Q}_e (kW)
Piña	89	9,09	0,14	6,14	28800	0,0019	4,30

Calor útil

Se determinar el calor útil por la sumatoria del calor apreciable y el calor de evaporación sin considerar perdidas. En la tabla 14 se presenta el resultado del calor útil requerida sin consideras perdidas en el proceso de deshidratación, como se mencionó los cálculos son realizados con la fruta de mayor humedad que es la piña [19].

Tabla 14: Calor útil

Frutas	\dot{Q}_s (kW)	\dot{Q}_e (kW)	\dot{Q}_u (kW)
Piña	0,35	4,30	4,65

Cálculo de caudal de aire requerido

Se calcula el caudal de aire que se requiere para la cámara de deshidratación con la ecuación (16) se considera un flujo volumétrico dado que se tiene un volumen de fluido el cual circula en un área de trabajo está relacionada con la densidad del aire , la velocidad del aire en la cámara de deshidratación y el área [18].

$$Q = V_a * A_l * 60 \quad (16)$$

Donde:

- Q Caudal necesario de aire por nivel , en m^3/min ;
 V_a Velocidad mínima de aire requerido, en m/s ;
 A_t Aire libre entre bandejas, en m^2 .

En la tabla 15 se presenta el valor obtenido del flujo másico la cual determina la cantidad de masa que se mueve por unidad de tiempo en la cámara de deshidratación con la ecuación (17) y así con la ecuación (18) determinar la velocidad mínima requerida en la cámara de deshidratación [18, 21].

$$v = \frac{\dot{m}_a}{\rho_a * A_t} \quad (17)$$

Donde:

- v Velocidad en la cámara de deshidratación , en m/s ;
 \dot{m}_a Flujo másico de aire en el proceso, en kg/s ;
 ρ_a Densidad del aire ,en kg/m^3 ;
 A_t Área transversal, en m^2 .

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{Q}_u}{Cp_a \Delta T_p} \quad (18)$$

Donde:

- \dot{Q}_u Calor úti, en W ;
 ΔT_p Variación de temperatura en el proceso, en $^{\circ}C$;
 Cp_a Calor específico del aire ,en $kJ/(kg \text{ } ^{\circ}C)$.

Tabla 15: Flujo másico del aire en el proceso

Frutas	\dot{Q}_u (kW)	Cp_a (kJ/(kg $^{\circ}C$))	T_p ($^{\circ}C$)	m (kg/s)
Piña	4,65	1,012	53	0,086

En la tabla 16 se muestra el valor obtenido de la velocidad mínima requerida por consiguiente se calcula con la ecuación (16) el caudal que se requiere atravesar en la cámara de deshidratado considerando el aire libre entre los niveles. Se utiliza la ecuación (19) para determinar el caudal total considerando cada uno de los niveles entre las bandejas y determinado el valor se procede a seleccionar el ventilador obteniendo de esta forma el caudal requerido.

Tabla 16: Velocidad en la cámara de deshidratación

Frutas	m (kg/s)	A _t (m ²)	ρ _a (kg/m ³)	V _a (m/s)
Piña	0,086	0,54	1,22	0,13

$$Q_{total} = \sum Q_{nivel} \quad (19)$$

Selección de ventilador

Calculado el caudal requerido para la cámara de deshidratación se procede a seleccionar el ventilador conociendo que el caudal es de 32,4 m³/min. Para obtener una distribución más uniforme del aire se seleccionan dos ventiladores axiales de 16,8 m³/min cada uno alcanzando un caudal total de 33,6 m³/min que requiere la cámara de deshidratación en la tabla 17 se presenta las características del ventilador seleccionado y en el anexo C la ficha técnica del ventilador seleccionado.

Tabla 17: Características del ventilador

Modelo	Velocidad (RPM)	Caudal máximo (m ³ /min)	Peso aprox(kg)
HRB/3-250	1140	16,83	2,3

Ubicación de los ventiladores

Seleccionado el ventilador del deshidratador se procede a realizar un análisis de alternativas para la posición de los mismo. En la figura 8 se observa cuando se envía el flujo de abajo hacia arriba y en la figura 9 se observa el ventilador de forma vertical colocado en la parte de atrás de la cámara del deshidratador que el aire circula por toda la máquina.

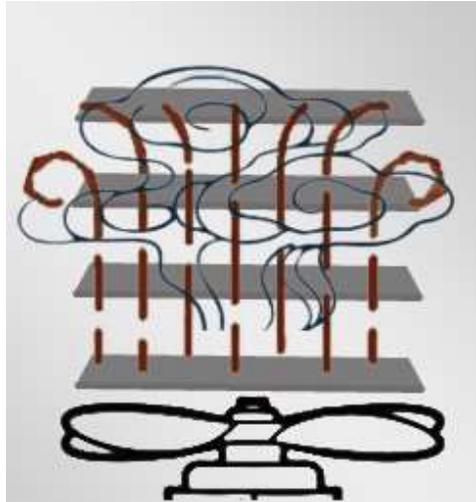


Figura 8: Posicion inferior

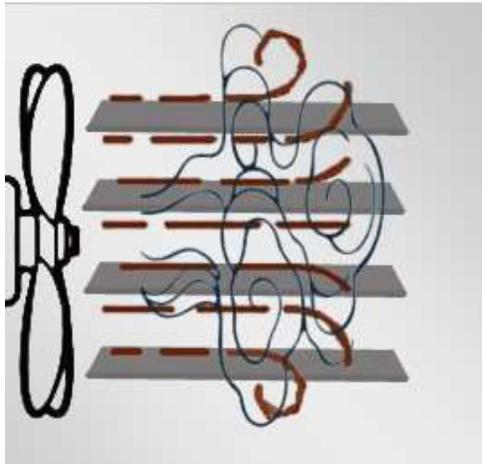


Figura 9: Posición vertical parte trasera

A continuación, se presentan los criterios a considerar para el análisis de las dos alternativas.

- Circulación: La circulación del aire caliente llegue a toda la cámara de deshidratado.
- Superficie de contacto: El aire caliente recorra por todas las bandejas.
- Espacio de instalación: Se considera el espacio donde se ubicaron los ventiladores.

En la tabla 18 se presenta los valores ponderados para la alternativa de la figura 8 y En la tabla 19 se presenta los datos ponderados para la alternativa de la figura 9

Tabla 18: Análisis de Alternativa 1

Factores	Ponderación (%)	Calificación	Resultado
Circulación	60	6	360
Espacio de instalación	50	6	300
Superficie de contacto	50	5	250
Total	-	-	910

Tabla 19: Análisis de Alternativa 2

Factores	Ponderación (%)	Calificación	Resultado
Circulación	80	8	640
Espacio de instalación	90	8	810
Superficie de contacto	80	8	640
Total	-	-	2090

En base a los resultados de la tablas 18 y 19 se selecciona la alternativa de la figura 8 como se observa en base a los resultados se tiene una posibilidad del 80 % que el aire sea distribuido por todo la cámara de deshidratación observando que por la figura 9 se tiene una distribución más uniforme y el aire tendría contacto con el producto a diferencia que en la figura 8 se observa que el aire que está en la parte inferior y en la parte superior no lleva en su totalidad determinado que la ubicación de los ventiladores se selecciona el de la figura 8.

En la figura 10 se observa la posición de los ventiladores en la cámara de deshidratación.

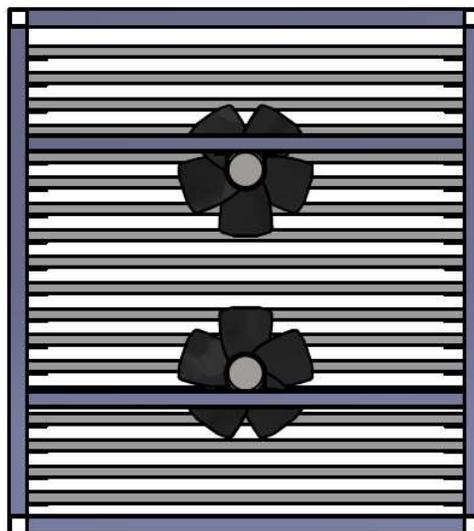


Figura 10: Ubicación de los ventiladores en la cámara de deshidratación

7.4. Selección de resistencia eléctrica

A fin de seleccionar la resistencia de calor lo que provoca un intercambio de calor por una temperatura ambiente hacia una temperatura deseada en la cámara de deshidratación se procede a calcular el calor total que se requiere.

Previo a realizar los cálculos se realiza un análisis de alternativa de aislantes térmicos que reduce las pérdidas de calor debido que entre mayor sea su área provoca pérdidas de calor [23]. Los aislante a considerar son thermolon presentado en la figura 11 y lana de vidrio presentado en la figura 12 por consiguiente se listan los factores considerados para el método de ponderados para la selección del aislante.

- Deformación: No se deforme con el tiempo para no remplazar el aislante.
- Flexible: Facilidad de manipulación al momento de su instalación.
- Ajuste: Se ajuste al área geométrica de instalación.

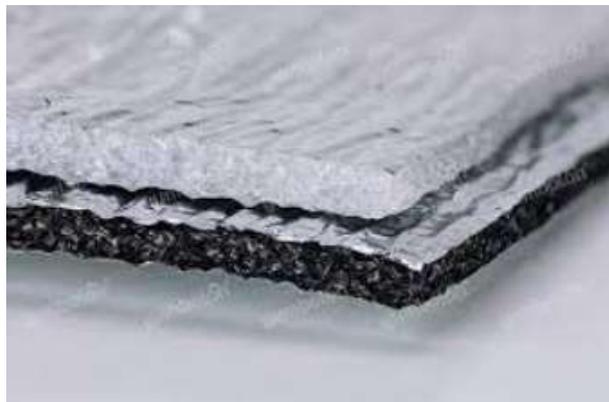


Figura 11: Alternativa 1: Thermolon [24]



Figura 12: Alternativa 2: Lana de vidrio [25]

En la tabla 20 se presenta el análisis de ponderados de la alternativa 1 y en la tabla 21 se indica el análisis de ponderados de la alternativa 2 en base a los resultados obtenidos se selecciona el aislante de thermolon dado que se tiene un duración más extensa en el tiempo.

Tabla 20: Alternativa 1: Thermolon

Factores	Ponderación (%)	Calificación	Resultado
Deformación	80	8	640
Flexible	90	8	810
Ajuste	80	9	720
Total	-	-	2170

Tabla 21: Alternativa 2: Lana de vidrio

Factores	Ponderación (%)	Calificación	Resultado
Deformación	60	6	360
Flexible	90	8	810
Ajuste	80	9	720
Total	-	-	1890

Determinación del aislante para el deshidratador se procede a calcular el coeficiente total de transferencia de calor dado que se genera un intercambio de calor se calcula con la ecuación (20) lo que incluye fluido por convección forzada y conducción por medio de las paredes de la cámara en la figura 13 se presenta las resistencias térmicas en serie que se encuentran en la dirección del flujo de calor es necesario para determinar la resistencia equivalente la cual es requerida para conocer el coeficiente de transferencia de calor [19, 23].

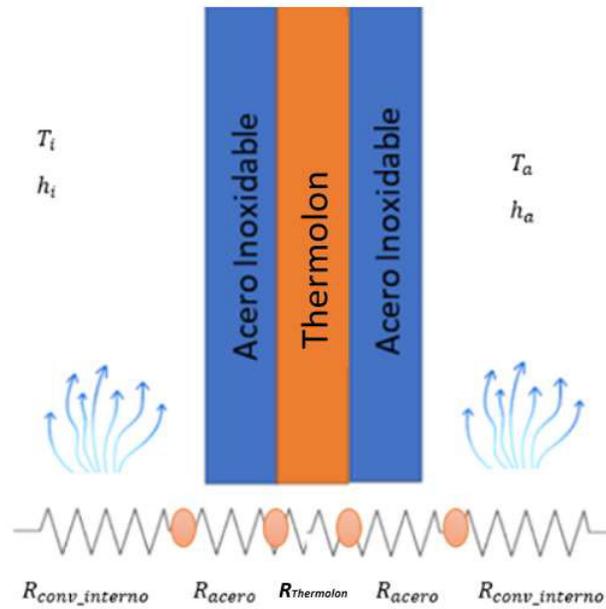


Figura 13: Resistencia térmica equivalente

$$U = \frac{1}{2R_{cI} + R_a + R_t + R_a + R_{cE}} \quad (20)$$

Donde:

- U Coeficiente global de transferencia de calor, en $W/m^2 \text{ } ^\circ C$;
- R_{cI} Resistencia térmica de convección interna, en $W/m^2 \text{ } ^\circ C$;
- R_a Resistencia térmica de acero inoxidable, en $^\circ C$;
- R_t Resistencia térmica thermolon, en $J/kg \text{ } ^\circ C$.
- R_{cE} Resistencia térmica de convección natural, en $W/m^2 \text{ } ^\circ C$.

Coeficiente de convección interno

Como se fuerza el flujo de aire caliente por medio de un ventilador se considera transferencia de calor por convección forzada está relacionada con la pérdida de masa es uno de los factores necesario para determinar el coeficiente total de transferencia de calor, se parte calculando el número de Nusselt dado que el deshidratador en el interior debe conservar una temperatura superficial constante. Para determinar el número de Nusselt se calcula con la ecuación (21) para determinar la resistencia de convección interna en paredes, primero se determina el número de Reynolds y Prandtl [20].

$$N_u = \frac{\frac{f}{8} R_e P_r}{1,1 + \frac{900}{R_e} - \frac{0,63}{1+10 P_r} + 12,7 \frac{f^{\frac{1}{2}}}{8} (P_r^{\frac{2}{3}} - 1)} \quad (21)$$

Donde:

- N_u Número de Nusselt;
- f Factor de fricción 0.035 ;
- R_e Número de Reynolds;
- P_r Número de Prantl en función de la temperatura.

El número de Reynolds establece la efectividad de flujo en relación a las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas; que presentan turbulencia, se calcula con la ecuación (22), la cual requiere del diámetro hidráulico de la corriente del fluido que transforma el flujo laminar a flujo turbulento, obteniendo el valor con la ecuación (23) en la tabla 22 se muestran los datos obtenidos que fueron calculados con las fórmulas mencionadas [19].

$$R_e = \frac{V_a Dh}{V_s} \quad (22)$$

Donde:

- V_s Viscosidad cinemática del aire, en $1.995 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$;
- Dh Diámetro hidráulico del flujo, en m.

$$Dh = \frac{4 A_{cd}}{P_{cd}} \quad (23)$$

Donde:

- A_{cd} Área transversal de la cámara de deshidratación, en m^2 ;
- P_{cd} Perímetro de la cámara de deshidratación, en m.

Tabla 22: Número de Reynolds

V_a (m/s)	Dh (m)	V_s (m^2/s)	R_e
0,13	0,47	$1,995 \times 10^{-5}$	3062,65

El número de Prandtl establece la efectividad relativa de la medida de movimiento y la expansión de calor es determinado por tablas en base a la temperatura más alta que

se utilizaría en el proceso de deshidratación, se adjunta en el anexo D la tabla donde se determinó el número de Prandtl. Subsiguiente a determinar el número de Nusselt por la ecuación (21) se calcula la resistencia de conducción interna con la ecuación (24) el cual requiere el factor de fricción que es determinado por las tabla de diagrama de Moody se presenta en el anexo E. El valor de la conductividad térmica del aire se lo determina por tabla de transferencia de calor adjuntadas en el anexo D considerando la temperatura mayor en el proceso de deshidratación, en la tabla 15 se muestra el coeficiente de convección interno [19].

$$R_{cI} = \frac{N_u K_a}{Dh} \quad (24)$$

Donde:

K_a Conductividad térmica del aire, en $W/m^{\circ}C$.

Tabla 23: Coeficiente de convección interna

N_u	K_a ($W/m^{\circ}C$)	Dh (m)	$hi(Wm^{2^{\circ}C})$
8.36	0.02881	0.47	0.51

Coeficiente de convección natural

La convección forzada continuamente viene asociada por convección natural dado que la transferencia de calor que ocurre entre un sólido y un fluido se desplaza por medios naturales eso depende de la forma geométrica y la variación de temperatura que es calculada por la ecuación (25) [19, 20].

$$R_{cE} = \frac{N_u K_t}{L_v} \quad (25)$$

Donde:

K_t Conductividad térmica del thermolon, en $W/m^{\circ}C$;

L_v Longitud vertical de la pared, en m.

Primero se procede a calcular el número de Nusselt con la ecuación (26) por ser una placa vertical. Por lo consiguiente se calcula el número de Rayleigh con la ecuación (27)

es el producto del número de Grashof que representa los efectos de convección natural y numero de Prandtl detalla el enlace entre la difusividad de la cantidad de movimiento y térmico [19].

$$N_u = \left(0,825 + \frac{0,387 R_a^{\frac{1}{6}}}{\left(1 + \left(\frac{0,492}{P_r} \right)^{\frac{9}{16}} \right)^{\frac{8}{27}}} \right)^2 \quad (26)$$

R_a Número de Rayleigh;

$$R_a = G_r * P_r = \frac{g\beta (T_s - T_\infty) L_v^3}{V_s^2} * P_r \quad (27)$$

Donde:

G_r Número de Grashof;

g Aceleración gravitacional, en m/s²;

β Coeficiente de expansión volumétrica ($\beta = 1/T$);

En la tabla 24 se presentan los parámetros para determinar el número de Rayleigh considerando una temperatura superficial de 75 °C a la que podrá llegarse a deshidratar el producto y una temperatura de ambiente de 22 °C obtenido el valor se procede a calcular el coeficiente de convección natural en la tabla 25 el cual es necesario para determinar el coeficiente global de transferencia de calor.

Tabla 24: Datos para el número de Rayleigh con

P_r	β	L(m)	g(m/s ²)	v(m ² /s)	R_a
0,7177	3,003x10 ⁻³	1,12	9,81	1,995x10 ⁻⁵	5,51x10 ⁹

Tabla 25: Convección natural

N_u	K_t (W/m °C)	L (m)	ho (W/m ² °C)
209,38	0,0484	1,12	9,04

Dado que se presenta transferencia de calor por conducción en las paredes de la cámara de deshidratación se calcula el espesor del aislante con el objetivo de evitar pérdidas y transmitir el calor. Por la propagación de energía de la mas energética hacia la menos

energética creando un gradiente de temperatura calculando el espesor del aislante con la ecuación (28) se despeja la variable L por cálculos el resultado es de 2 cm de espesor de aislante de thermolon seleccionado anteriormente.

$$\dot{Q}_u = \frac{\Delta T}{\frac{L_t}{K_t A_p}} \quad (28)$$

Donde:

K_t Conductividad térmica del aislante thermolon, en 4,18 K (W/m °C);

A_p Área de la pared, en m².

L_t Espesor del thermolon, en m;

K_t Conductividad térmica del thermolon, en 4,18 W/m °C;

Determinado el espesor del aislante en la tabla 26 se presenta la conductividad térmica del material y el producto están en contacto con el calor, necesarios para calcular el coeficiente global de transferencia de calor.

Tabla 26: Conductividad térmica del materia y producto

Material	Espesor (m)	K (W/m °C)
Acero Inox. 304	0,003	15,6
Thermolon	0,02	4,18
Piña	0,01	0,549

Determinados los datos faltantes se procede a calcular el coeficiente global de transferencia de calor con la ecuación (20) se muestran en la tabla 27 con el objetivo de calcular la pérdidas de calor en la cámara de deshidratación establecer el calor suficiente para equilibrar tales pérdidas asegurando un factor de seguridad por consiguiente se procede a calcular las pérdidas como en la masa, en el aire y paredes determinando el calor total de pérdida como requisito para el calor neto que se requiere.

Tabla 27: Coeficiente global de transferencia de calor

Req'(W/m ² °C)	hi (W/m ² °C)	ho (W/m ² °C)	U (W/m ² °C)
0,043	0,87	9,04	0,09

Pérdidas de calor

Con la ecuación (29) se calcula las pérdidas de calor en la masa para lo que se determinó el coeficiente global de temperatura presentado en la tabla 27. Con la ecuación (30) se calcula la pérdida de aire. Para determinar la perdidas de calor en las paredes primero se calcula el coeficiente global de transferencia de calor en las paredes con la ecuación (31) en la figura 14 se puede observar las paredes que se consideran para el cálculo a su vez se calcula el área de cada una de las paredes y con el resultado obtenido de calcula las pérdidas en paredes con la ecuación (32) .

$$\dot{Q}_m = A_t \times U \times \Delta T \quad (29)$$

Donde:

\dot{Q}_m Calor pérdidas de masa, en W;
 U Coeficiente global de transferencia de calor en paredes , en W/m²K;
 ΔT Diferencia de temperatura °C.

$$\dot{Q}_a = \dot{m}_a \times C_{p_a} \times \Delta T \quad (30)$$

Donde:

\dot{Q}_a Calor pérdidas de aire, en W;
 \dot{m}_a Flujo másico del aire , en kg/s.

$$\dot{Q}_p = A_p \times U \times \Delta T \quad (31)$$

Donde:

\dot{Q}_p Calor pérdidas en paredes, en W;
 A_p Área total de transferencia de calor , en m²;

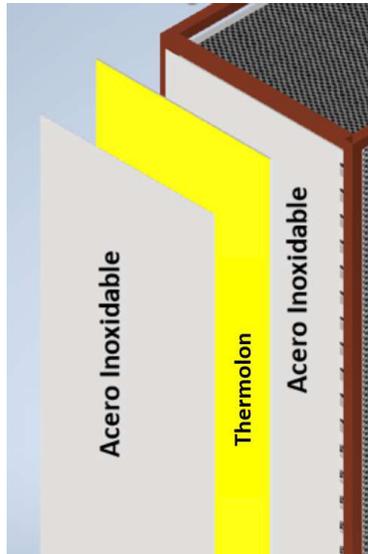


Figura 14: Capas de paredes del deshidratador

$$U_m = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + 2 \frac{L_a}{K_a} + \frac{L_t}{K_t} + \frac{1}{h_o}} \quad (32)$$

Donde:

- L_a Espesor del acero inoxidable, en m;
- K_a Conductividad térmica del acero inoxidable, en W/m °C;
- h_o Coeficiente de convección natural, en W/m² °C;
- h_i Coeficiente de convección interno, en W/m² °C

En la tabla 28 se presentan las pérdidas de calor de masa, aire y en paredes que se pueden presentar en la cámara de deshidratación para lo cual anteriormente se ha calculado los parámetros exigidos para poder determinar las pérdidas mencionadas anteriormente. A fin de determinar el área de paredes la cual es necesario para determinar la pérdida de calor en las paredes es calculada con la ecuación (33) se considera el área frontal, lateral y superficie inferior del deshidratador.

$$A_p = A_F + 2 A_L + 2 A_S \quad (33)$$

Donde:

- A_p Área de paredes, en m²;
- A_F Área frontal, en m²;
- A_L Área lateral, en m²;
- A_S Área superior, en m²;

Tabla 28: Pérdidas de calor por diferentes factores

Pérdida de calor en masa			
A_t (m ²)	U_m (W/m ² °C)	ΔT_m (°C)	\dot{Q}_m (W)
0,54	0,099	57	2,862
Pérdida de calor en aire			
\dot{m}_a (kg/s)	C_{p_a} (J/kg °C)	ΔT_m (°C)	\dot{Q}_a (W)
0,086	1012	57	4612,69
Pérdida de calor en paredes			
A_p (m ²)	U_m (W/m ² °C)	ΔT_m (°C)	\dot{Q}_p (W)
3,57	0,79	57	160,75

Se suma las pérdidas de calor previamente calculas con el fin de determinar la pérdida total de calor la cual se requiere para obtener el calor requerido en la cámara de deshidratación por consiguiente para calcular el calor total requerido se realiza una sumatoria entre la pérdida de calor total y el calor útil de la tabla 14 y en la tabla 29 se presenta el valor de calor neto requerido con el que se procede a seleccionar la resistencia de calor para el deshidratador [23].

Tabla 29: Calor neto requerido

Pérdida de calor Total (W)	Calor útil (W)	Calor total (W)
4776,30	4650	9426,30

Conocido el calor neto requerido en la cámara de deshidratación se procedió a la selección la resistencia eléctrica en base al datos obtenido por la tabla 29 el cual es de 9426,30 W, por lo que se considera una resistencia de modelo como M, presentada en la figura 15 para cumplir con el calor requerido se planea utilizar dos resistencias del modelo M8360 y dos del modelo M12360 conteniendo un calor de 10000 W en el deshidratador.

MODELOS EN M CON RACOR ENGRAMPADO

Modelo	Dimensiones en mm					W	W/cm ²	Peso kg
	A	B	C	D	L			
M4360	360	330	45	90	372	1000	3,1	0,34
M6360	360	330	45	150	372	1500	3,1	0,49
M8360	360	330	45	210	372	2000	3,1	0,58
M12360	360	330	45	330	372	3000	3	0,89

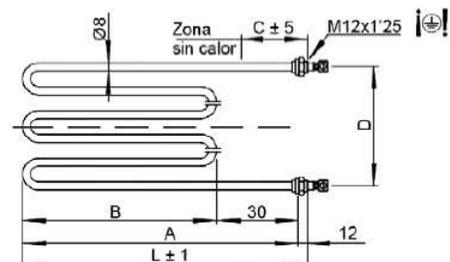


Figura 15: Resistencia eléctrica

Realizados los cálculos pertinentes se determinó que el deshidratador de frutas requiere un caudal de 32,4 m³/min para la cámara de deshidratación la cual se cumplirá utilizando dos ventiladores con las características presentadas en la tabla 17, y el calor requerido en la cámara de deshidratación considerando las pérdidas es de 9401,78 W en base al resultado se seleccionó las resistencias eléctricas con el objetivo de cumplir la cantidad de calor que se requiere el deshidratador. En la tabla 30 se presenta los resultados obtenidos de caudal y calor para el deshidratador.

Tabla 30: Análisis de resultados

Calor requerido (W)	Caudal requerido (m ³ /min)
32,4	9426,30

7.5. Selección de ruedas de carga

Las ruedas en la parte inferior del deshidratador permiten trasladar el equipo. Para seleccionar la ruedas de carga que ocupara el deshidratador primero se procede a determinar el peso de cada una de las partes consideradas. En la tabla 31 se presenta el peso de las partes consideradas, para calcular el peso de las placas de acero inoxidable se utiliza la ecuación (34) [26].

$$P = \frac{(L A E) 7,85}{1000} \quad (34)$$

Donde:

- P* Peso de placa de acero inoxidable, en kg;
- L* Largo, en mm;
- A* Ancho, en mm;
- E* Espesor, en mm;

Tabla 31: Peso del deshidratador

Componentes	Peso (kg)
Peso de bandejas	29,52
Peso de puertas	41,26
Peso de soporte de bandejas	14,09
Peso de cámara	116,13
Ventilador	4,6

Se realiza una sumatoria determinando el peso estimado del deshidratador, el cual es de 205,06 kg por consiguiente se examina distribuir el peso total en cada esquina el cual sería de 51,26 kg a fin de seleccionar dos ruelas de carga con freno y dos sin él. En la figura 16 se presenta las características de la rueda seleccionada la cual soporta un peso de 60 kg colocando las cuatro llantas en cada esquina.

Diámetro	Ancho	Carga Kgs.	Eje	Altura total	Plato mm.	Entre centros	Giratoria c/base	Giratoria c/base y freno	Fija
75	23	40	Rodillos	95	85x70	60x50	24024	24025	24026
85	25	50	Rodillos	105	102x85	80x60	4006	4011	4016
100	30	60	Rodillos	130	102x85	80x60	4007	4012	4017
125	35	100	Rodillos	155	102x85	80x60	4008	4013	4018
160	40	130	Rodillos	195	135x105	105x75	4009	4014	4019
200	50	150	Rodillos	235	135x105	105x75	4010	4015	4020

Figura 16: Características de rueda de carga

8. Sistema de control

En la figura 17 se presenta el diagrama del sistema de control del deshidratador con el fin de comprender el funcionamiento que se tendría de cada uno de los componentes, en el centro del diagrama se colocó el controlador lógico programable (PLC) el cual es utilizado en máquinas industriales.

El controlador será quien reciba las señales y active los actuadores, como entrada se tiene el paro de emergencia que será activado por el usuario con el objetivo de detener el proceso inmediatamente se presente un problema, el fin de carrera que envía una señal indicando que las puertas están cerradas y el HMI como interacción entre el deshidratador y el usuario, en donde se presenta las frutas que se pueden deshidratar. Al momento que el usuario seleccione la fruta se envía una señal para la activación del controlador de temperatura y después de transcurrir un tiempo se activen los ventilador.

El controlador de temperatura es el encargado de estabilizar la temperatura de las resistencias eléctricas. La termocupla mide la temperatura en la Cámara deshidratación enviando la información al controlador de temperatura con el objetivo de estabilizar dicha variable.

La alarma indica cuando el proceso de deshidratación a terminado, alertando al usuario que puede proceder a retirar el producto del deshidratador y se utiliza luces piloto una de color verde la cual denota que el deshidratador en funcionamiento y el color rojo exprese que el

deshidratador a terminado con el proceso.

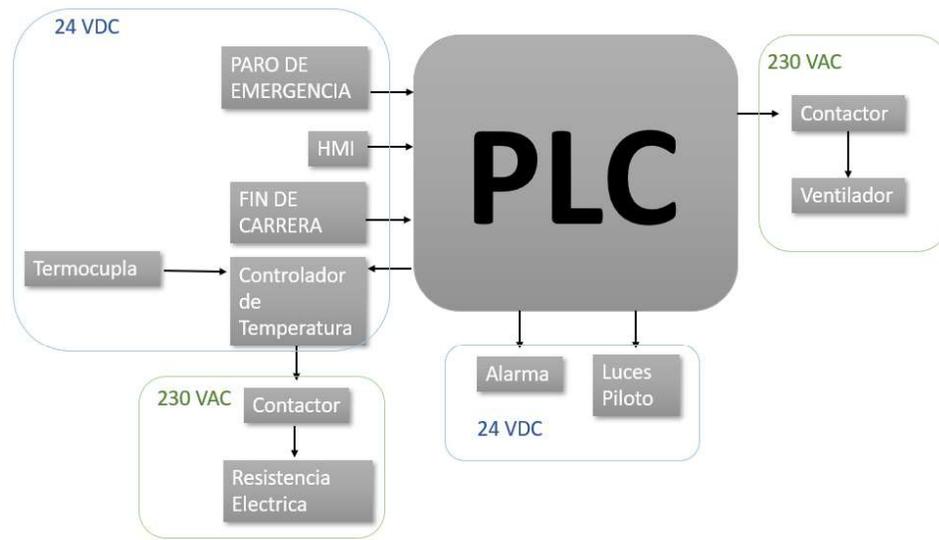


Figura 17: Diagrama del sistema de control del deshidratador

8.1. Selección de componentes eléctricos para el control del deshidratador

A continuación, se muestran los componentes electrónicos para su funcionamiento y control del deshidratador cada uno de los elementos se presenta con sus características con el fin de seleccionar el controlador que enviará la señales de mando para control los elementos.

Selección de contactor

El contactor es un mecanismo con función de interruptor para cerrar o interrumpir la corriente de un circuito los contactores más usados son los electromagnéticos se activan por la fuerza de atracción de un electroimán que activa las piezas móviles de contacto. [27]. Por consiguiente, se selecciona los contactores para las 4 resistencias de calor: dos del modelo M8360 con una potencia de 2000 W y dos del modelos M12360 con una potencia de 3000 W presentado en la figura 15 y para los ventiladores del deshidratador. Con la ecuación (35) se procede a calcular la corriente requerida de 13 A para el modelo M12360 y 8 A para el modelos M8360, la tensión es determinada por las características de la resistencia presentado en el anexo F.

$$I = \frac{P}{V} \quad (35)$$

Donde:

- I Corriente requerida de la resistencia eléctrica, en A;
- P Potencia de la resistencia eléctrica, en W;
- V Voltaje de la resistencia eléctrica, en V.

Se selecciona el contactor por la categoría de empleo es indicada por la normativa IEC 60 947, son:

- AC-1 : Aplicado para todos los componentes de uso en corriente alterna
- AC-2: Aplicado para arranque, frenado y puesta en marcha de motores de anillos.
- AC-3: Aplicado para motores de jaula.
- AC-4: Aplicado para arranque, frenado por el contrario-corriente y marcha en motores de jaula.

Se considera la durabilidad del contactor en función del ciclo de vida útil que es proporcionado por el fabricantes dividida por la corriente por el número de horas de trabajo mensual y por el número de meses de trabajo, con la ecuación (36) se determina un aproximado de la vida útil del contactor [28].

$$T_d = \frac{C_v}{I \times H_m \times M_u} \quad (36)$$

Donde:

- T_d Años de vida del contactor;
- C_v Ciclos de vida útil;
- H_m Hora de funcionamiento al meses;
- M_u Meses de funcionamiento.

En la tabla 32 se presentan la características del contador seleccionado para la resistencia del modelo M12360 y en la tabla 33 se presenta las características del contactor para la resistencia del modelo M8360 y en la tabla 34 se presenta las caracterices del contactor para los ventiladores y en la figura 18 se presenta modelo físico de los contactores de los contactores para las resistencias y los ventiladores.

Tabla 32: Características del contactor

Voltaje	380 VAC
Corriente	17 A
Potencia	7,5 kW
Código	3RT1025-1AQ00
Categoría	AC-1

Tabla 33: Características del contactor

Voltaje	380 VAC
Corriente	9 A
Potencia	4 kW
Código	3RT1023-1AQ00
Categoría	AC-1

Tabla 34: Características del contactor

Voltaje	330 VAC
Corriente	7 A
Potencia	3 kW
Código	3RT1015-1AF01
Categoría	AC-3



Figura 18: Contactor tripolar SIRIUS tamaño S0 [29]

Selección de las protecciones para la resistencia eléctricas y ventiladores

Teniendo en cuenta que se utilizan componentes de alta tensión y corriente es imprescindible seleccionar elementos de protección con el objetivo de prevenir fallos en el funcionamiento y posibles daños tomando medidas de seguridad contra [30, 31]:

- Sobrecorrientes.
- Sobre y bajos voltajes.
- Falta de una fase en los componentes.

El disyuntor es usado como protección de cortocircuito , sobrecargas y a veces sobre bajos voltajes, opera por relés o disparadores en las vías de corriente [32]. Para su selección se toma en cuenta el voltaje requerido, corriente máxima y el número de contactores a utilizar. En la tabla 35 se presentan las características del disyuntor magnetotérmico TeSys GB2 mostrador en la figura 19.

Tabla 35: Disyuntor eléctrico

Corriente	20 A
Corriente disparo magnético	270 A
Referencia unitaria	GB2DB22



Figura 19: Disyuntor [33]

El relé térmico tiene la función de protección de sobrecargas, en su interior están compuestos por un calefactor donde circula la corriente, detector de temperatura y mecanismo de disparo. Se conforma de dos láminas soldadas de diferente material al momento de calentarse accionan el contacto que ocasiona una desconexión del circuito [34]. En la figura 20 se presenta el relé térmico seleccionado de mar SIEMENS código 3RU1126-4BBO corriente ajustable de 14-20 A.



Figura 20: Relé térmico [29]

Selección luces piloto

A fin de indicar se planea utilizar una luz piloto color verde la cual denota que el deshidratador se encuentra en funcionamiento y está en proceso de deshidratación. Mientras que la luz piloto de color rojo denota que ha finalizado el proceso. En la tabla 36 se muestran las características de las luces piloto y en la figura 21 se muestra el elemento eléctrico a utilizar.



Figura 21: Luz piloto [35]

Tabla 36: Características de luz piloto

Color	Características
Verde y Rojo	<ul style="list-style-type: none">■ Voltaje 110 V AC 50/60 Hz■ Diámetro de montaje 22 mm■ Base de bombila LED

Selección de sirena de alerta

Se selecciona la sirena de alerta como función de aviso una vez de terminar el proceso de deshidratación indicando al usuario que puede proceder a retirar el producto. En la figura 22 se muestra la sirena SIR24C, consumo de voltaje de 24 VDC 16mA y control de volumen.



Figura 22: Sirena [36]

Selección de paro de emergencia

La aplicación del paro de emergencia es para evitar un riesgo en el usuario y daños del deshidratador. Permanece enclavado hasta que el usuario rompe este enclavamiento al momento de accionarlo lo que provoca que el circuito SE abra y termine con el proceso del deshidratador [37].

En la figura 23 se presenta el botón de paro de emergencia tipo hongo de 22 mm cabeza roja de marca Schneider.



Figura 23: Paro de emergencia [38]

Selección de fin de carrera

El objetivo del fin de carrera en el deshidratador es enviar una señal al PLC indicando que las puertas del deshidratador se encuentran cerradas con el objetivo de verificación que funcione solo cuando las puertas estén cerradas. Para seleccionar el fin de carrera por los siguientes criterios dados por el fabricante [39]:

- Elegir el cuerpo: Los materiales de recubrimiento del sensor sean adecuados para el medio ambiente.
- Elegir según la detección de movimiento: El tipo de accionamiento este en contacto con el objeto a detectar.
- Elegir el contacto: Se elegí en función de tipo de accionamiento si es brusco o lento.

Se selecciona un interruptor de final de carrera de pistón de termoplástica y recubrimiento de fibra de vidrio como aislante sopor tanto una temperatura hasta 85 °C, por el tipo de detección de movimiento está en contactor director con las puertas del deshidratador. En la tabla 37 se presentan características del final de carrera y en la figura 24 presenta el final de carrera.

Tabla 37: Características de final de carrera

Parámetros	características
Fuerza de accionamiento	9N
Material aislante	Fibra de vidrio
Tensión de operación	230 VAC
Corriente de operación	4 A



Figura 24: Final de carrera [40]

Sistema de control de temperatura

Por el paso 4 del proceso de deshidratación presentado en la figura 3 se determino que se requiere que durante el tiempo del proceso de deshidratación las resistencia eléctricas mantengan una temperatura estable. En la figura 25 se presenta un sistema de control de temperatura a la lazo cerrado. Alimentando al controlador por la disparidad de la señal entrante y la señal de realimentación corrigiendo el error del sistema, como elemento de realimentación se procede usar un sensor de temperatura (Termocupla) enviando el valor medido a la salida de la planta, retornando la señal al punto de suma para comparar el valor medido con la entrada de referencia [41].

Un controlador de temperatura incorpora un sistema PID por los siguientes algoritmos proporcional para disminuir el error entre la diferencia de la señal de referencia y señal conseguida aumentando la velocidad de respuesta, derivativo anticipar los errores en el sistema para conseguir la estabilidad que se desea y integral sujetarse a errores pasado la sumatoria de estos algoritmos garantiza la estabilización la señal de referencia [41, 42].

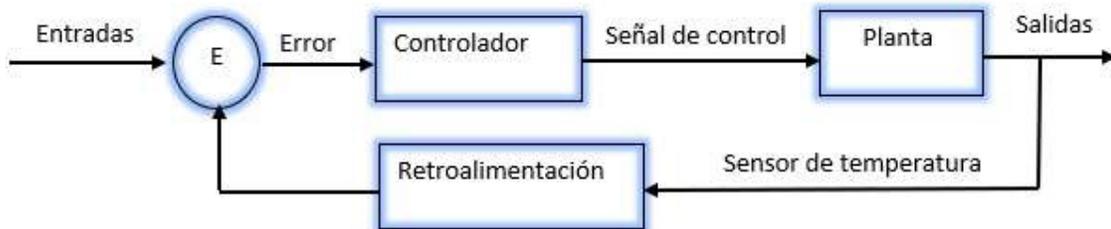


Figura 25: Sistema de control de temperatura

Determinado el sistema de control que se requiere se procede a seleccionar un controlador de temperatura con el sistema mencionado anteriormente garantizando la estabilidad

en el proceso. En la tabla 38 se presenta las características y en la figura 26 se presenta el controlador para el deshidratador.

Tabla 38: Controlador de Temperatura

Parámetros	características
Alimentación	24-48VCC serie TZN4M
Tipo de control	ON/OFF-PID
Termocupla	K,J,L,T,R,S
RTD	PT-100
Dimensión	48x48x90 mm



Figura 26: Controlador de temperatura [43]

Por el sistema de control de temperatura presentado en la figura 25 como señal de realimentación para asegurar el monitoreo de esta magnitud se procede a seleccionar la termocupla conformada por dos metales por donde circula corriente a través de la unión definiendo la liberación o absorción de calor permitiendo ser utilizada como sensor de temperatura a continuación en la tabla 39 se presenta diferentes sensores con sus características a comparar.

Tabla 39: Termocuplas

Modelo	Termocupla	Características
Sitrans TS500 [44]		-Salida: 4-20mA. -Sensor de temperatura tubular. -Aplicación industrial medición en recipientes y tuberías. -Temperatura -30 a 400 °C.
Sitrans TS100 [44]		-Salida:4-20mA. -Temperatura máxima: Pt 100 Basic -30 a 400 C. - Versión con aislamiento mineral. - Aplicación maquinaria medición de superficie.
Sitrans TH100 [44]		-Salida:4-20mA. -Resistencia PT100 Termómetros. -Aplicación plástico de moldeo. -Temperatura maxima: -40 a 85°C.

En base a las características de la tabla 39 se procede a realizar un análisis de ponderados determinar cuál de los sensores es el más óptimo para el deshidratador, se considera los siguientes criterios el rango de temperatura y la aplicación que son utilizados las termocuplas. A continuación, se indican las tres alternativas de termocuplas para el deshidratador:

- Alternativa 1: Sitrans TS500 .
- Alternativa 2: Sitrans TS100.
- Alternativa 3: Sitrans TH100.

Tabla 40: Analisis de Alternativa 1

Factores	Ponderación (%)	Calificación	Resultado
Rango de lectura	90	10	900
Adaptación del sensor	90	10	900
Total	-	-	1800

Tabla 41: Análisis de Alternativa 2

Factores	Ponderación (%)	Calificación	Resultado
Rango de lectura	80	8	640
Adaptación del sensor	60	7	420
Total	-	-	1060

Tabla 42: Análisis de Alternativa 3

Factores	Ponderación (%)	Calificación	Resultado
Rango de lectura	70	7	490
Adaptación del sensor	60	6	360
Total	–	–	850

Con los resultados obtenidos en las tablas 40, 41 y 42 se define que el sensor de temperatura más adecuado para el sistema de control es la alternativa 1 presentado en la tabla 40 debido a que este tipo de sensor es el más utilizado para máquinas industriales y cuenta con un rango de temperatura mayor al de la alternativa 3.

Selección del controlador lógico programable (PLC)

Seleccionados los dispositivos de mando y actuadores se procede a seleccionar el controlador lógico programable por los siguientes fundamentos:

- Alimentación del PLC.
- Entradas y Salida a necesitar.
- Software de programación.
- Comunicación de equipos y periféricos.
- Visión a futuro en el proceso.

Por medio de la figura 17 se define las entradas y salidas a ser controladas considerando el controlador de temperatura y los ventiladores como actuadores. En la tabla 43 se presenta las entradas con el tipo y cantidad a utilizar y en la tabla 44 se presenta las salidas que se desea controlar.

Tabla 43: Entradas de mando

Entradas	Tipo	Cantidad
Paro de emergencia	Digital	1
Final de carrera	Digital	2
Total	—	3

Tabla 44: Salidas de mando

Salidas	Tipo	Cantidad
Controlador de Temperatura	Digital	1
Alarma industrial	Digital	1
Luces piloto	Digital	2
Contactador	Digital	2
Total	—	6

Con el análisis anterior se requiere 2 entradas digitales y 6 salidas digitales seleccionado el PLC SIEMENS SIMATIC S7-1200 utiliza el programa Tia Portal para su programación, En la tabla 45 se tiene las características técnicas del controlador y en la figura 27 se muestra el PLC.



Figura 27: PLC S7-1200 [45]

Tabla 45: Características técnicas del PLC SIEMENS SIMATIC S7-1200 [45]

Características	Descripción
Funcion	CPU 1214C
Dimensiones	130x100x75 mm
Entradas	<ul style="list-style-type: none">■ 14 entradas■ (I) 1024 bytes■ 2 entradas Analógicas
Salidas	<ul style="list-style-type: none">■ 10 entradas■ (Q) 1024 bytes■ 2 entradas Analógicas
Tiempo del reloj	20 días típ./12 días mín
Puerto de comunicación Ethernet PROFINET	1
RED	Ethernet de 100 Mbits/s o más rápido, para la comunicación entre STEP 7 y la CPU

Selección del HMI

El HMI facilita la comunicación del deshidratador y el usuario al momento de su manejo, debido que en el HMI se observa las frutas que la máquina deshidratadora y otras variables como:

- Visualización de la frutas a deshidratar.
- Tiempo restante para que termine el proceso de deshidratación.
- Aviso que los ventiladores se encuentran en funcionamiento.

Se selecciona un SIMATIC HMI KTP400 Basic color PN es compatible con el PLC SIEMENS S7-1200 y el software de programación Tia Portal. En la figura 28 se muestra la pantalla y en la tabla 46 se encuentras la características.



Figura 28: HMI KTP400 Basic [46].

Tabla 46: Características HMI KTP400 Basic [46]

Características	Descripción
Alimentación	24 VDC
Tipo de display	TFT DE 6"
Resolución de imagen horizontal	320 pixel
Resolución de imagen vertical	240 pixel
Consumo	0.35 A
Profinet- Ethernet/IP	CPU 1214C

Dimensionar la fuente de alimentación

Por el diagrama de la figura 17 y por la características de los componentes en el deshidratador se necesita una fuente de voltaje de 24 VDC para seleccionar la fuente de alimentación se realiza una sumatoria de corriente que ocupan dichos componentes en la tabla 47 se presentan el consumo de cada uno de ellos.

Tabla 47: Consumo de corriente de los componentes de 24 VDC

Componente	Cantidad	Corriente
PLC SIEMEN S7-1200	1	0,35 A
HMI	1	2 A
Controlador de temperatura	1	5 A
Total	-	7,35 A

Por el resultado de la tabla 47 se selecciona una fuente de alimentación SITOP de marca SIEMENS con una salida de 24 VDC y corriente de 10 A. En la figura 29 se presenta la fuente de alimentación seleccionada.



Figura 29: Fuente de alimentación SITOP [47]

9. Simulación pantalla HMI

Se explica la lógica de programación la cual permite el funcionamiento del sistema de control del deshidratador a su vez se incluye una lectura de datos los mismo que son almacenado presentando el programa que se ha utilizado en la simulación.

Primero se diseña la interfaz gráfica del HMI para la interacción entre usuario-máquina basadas por la normativa ISA 101 debido que la HMI está conformado por un hardware y software para revisar e interpretar con el sistema de control [48]. A continuación, se lista algunas de las normas consideradas para el diseño de la interfaz gráfica:

- La HMI permite la detección anticipada y diagnóstico situaciones anormales.
- La HMI es una navegación intuitivo obteniendo una velocidad y precisión por la mediación del usuario.
- La HMI debe facilitar información y ayudar con las tareas relacionadas.
- Los botones tienen que tener un tamaño justo para que los operadores seleccionen rápidamente.

- El nombre de los botones tiene que ser claro y ser asociado a la función del botón.
- Se usa una jerarquía para la visualización de las diferentes pantallas que se presentan en la interfaz gráfica.

El menú principal que se muestra en la HMI se presenta en la figura 30 se enumera el funcionamiento de cada uno de los botones que permiten para el manejo del deshidratador

1. Se presenta el botón con el nombre de la fruta que se desea deshidratar, en este caso se indica la manzana. Al presionar el botón se activan los ventiladores y después de 10 minutos se encienden las resistencias eléctricas.
2. Se indica el botón con un número el cual lleva a la segunda pantalla al cual ser presionada se puede observar los datos de temperatura y tiempo que lleva el proceso de deshidratación.
3. Al presionar el botón de instrucciones se abre una pantalla con la instrucciones del deshidratador para su correcto funcionamiento.



Figura 30: Menú de la HMI

Como se mencionó anteriormente al presionar el botón con el número se abre una segunda ventana la cual es presentada en la figura 31 donde se puede observar los datos de

tiempo y temperatura del deshidratador e indica la fruta que se encuentra en proceso. Se enumera la función de cada botón y cuadro de texto de esta pantalla.

1. Se presenta una caja de texto en el cual el usuario observa la temperatura a la que se encuentra el deshidratador.
2. Se presenta una caja de texto del tiempo que el deshidratador se encuentra en funcionamiento.
3. Con este botón el usuario puede retornar a la pantalla principal si él lo desea.
4. Es un indicador llamado “Máquina en Proceso” cuando está en color verde indica que se encienden las resistencias eléctricas.
5. Es un indicador llamado “Ventilador” cuando está en color verde señala que el ventilador se encuentra activado.
6. Es un indicador llamado “Proceso Terminado” cuando el deshidratador termine su función se pone en color verde.

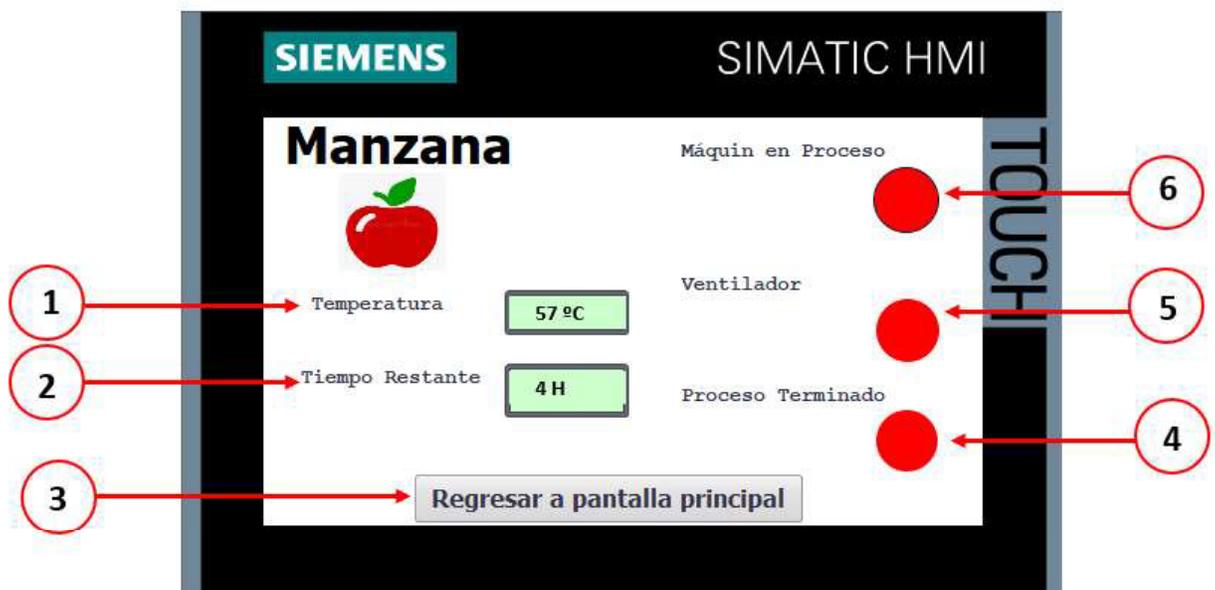


Figura 31: Pantalla detallada de manzana

Diagrama de flujo del sistema de control

La simulación de la interfaz gráfica es realizada en el programa Tia Portal V17 en el anexo G se presenta el código de programación, posteriormente se presenta los diagramas de flujo para comprender el funcionamiento del sistema de control. El deshidratador solo puede iniciar con su funcionamiento cuando los fines de carrera estén activados señalando que las puertas están cerradas y después el usuario puede proceder a seleccionar la fruta que se desea deshidratar de las que se indica en la HMI subsiguiente se inicia el proceso de encendido de ventiladores y resistencias eléctricas. En la figura 32 se presenta el diagrama de flujo principal el cual está conformado de subfunciones para su actividad que son presentadas a continuación .

La subfunción de 'Inicio Temporizador' comienza a contar el tiempo del proceso de deshidratación y cumplido con el tiempo según el tipo de fruta se enciende una sirena y una luz piloto de color rojo alertando al usuario que el proceso a terminado. Mientras la máquina se encuentre en funcionamiento permanece la luz piloto de color verde encendida indicando que la máquina está funcionando a continuación en figura 33 se presenta el diagrama de flujo.

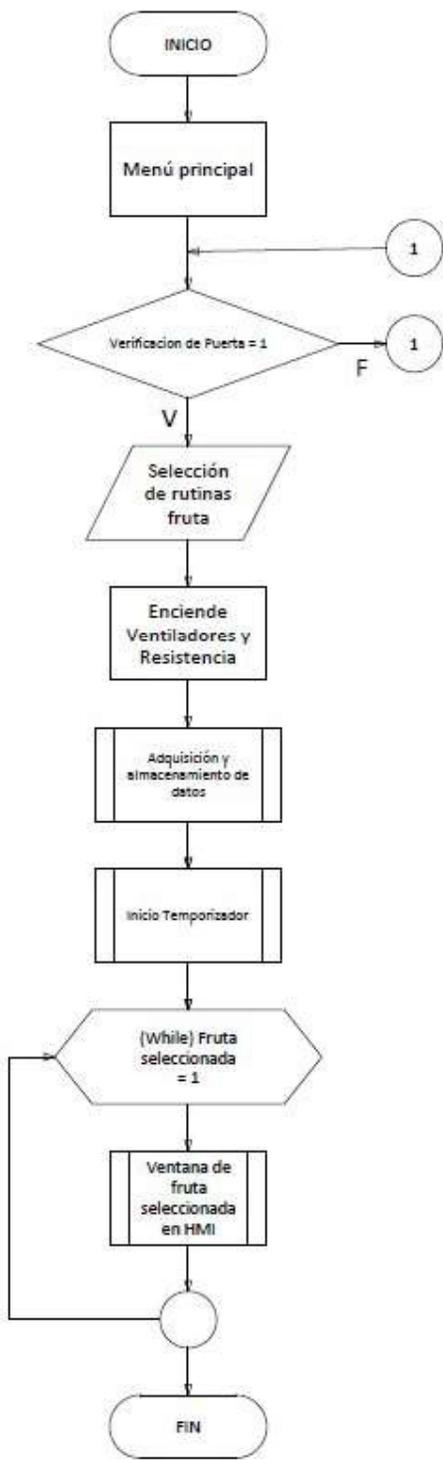


Figura 32: Diagrama de flujo del sistema de control

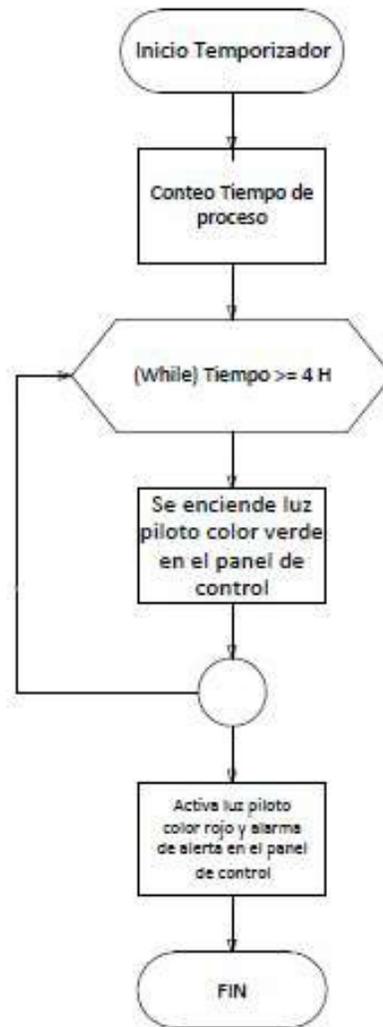


Figura 33: Diagrama de flujo de subfunción de Inicio Temporizador

En la subfunción de adquisición y almacenamiento de datos tiene el objetivo de almacenar el valor de temperatura y tiempo del proceso de deshidratación es presentado en la figura 34 para esto se lo desarrollo utilizando el programa node-red es un instrumento el cual permite conectar dispositivos de hardware a servidores en línea incorporando un navegador que se conecta a la red y facilitando la recepción de datos [49].

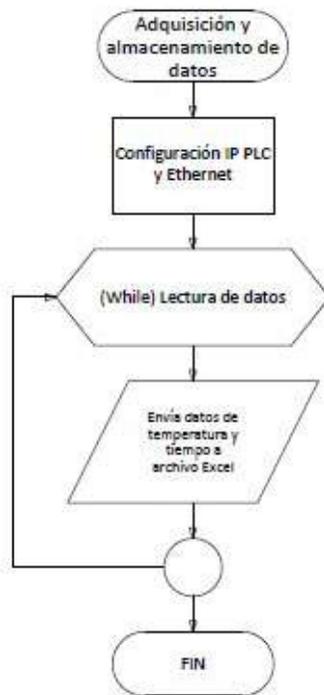


Figura 34: Diagrama de flujo de subfunción de Adquisición y almacenamiento de datos

Al utilizar el programa mencionado anteriormente permite que el deshidratador emplee un sistema IOT (Internet de las cosas) se comunica entre los objetos de forma inalámbrica [50] y a su vez que el usuario pueda observar los datos mencionados anteriormente de forma remota desde su computador usando dicho programa, en la figura 35 se muestra un diagrama de conexión para enviar los datos.

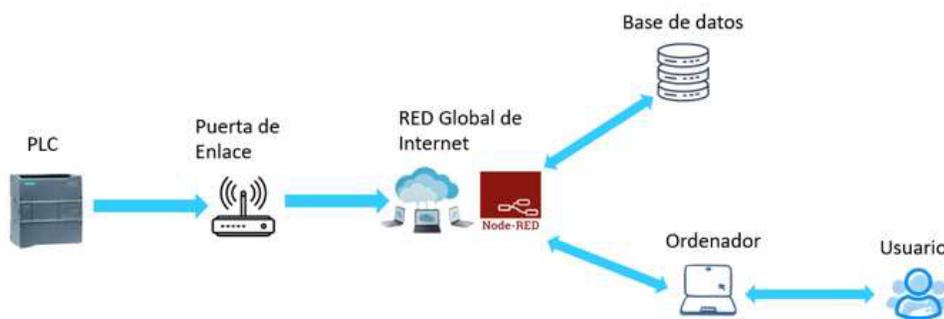


Figura 35: Diagrama de base de datos

El PLC es quien envía los datos a node-red para la recepción de datos se configuró el IP del PLC en el node-red. Los datos recibidos son observados en el tablero de datos de node-red como se presenta en la figura 36 donde el operador desde el ordenador puede observar la temperatura a la cual se está deshidratando y a su vez el tiempo transcurrido del proceso.



Figura 36: Tablero de datos en node-red

Obtenidos los datos en node-red se procede a guardar los valores de temperatura y tiempo en el servidor de archivos Google Drive almacenando los datos en la nube accediendo a través del sitio web desde una computadora con el fin de obtener un reporte de los datos emitidos por el deshidratador. Para almacenar los datos se ha creado una hoja de cálculo en Excel donde se almacenan los datos, la cual permite al usuario abrir desde cualquier ordenador para lograr el objetivo en node-red se insertó el vínculo del archivo de Google Drive.

En la figura 37 se observa un extracto de la hoja de cálculo donde se almacenan los datos se presenta una columna con la fecha y hora que se usó el deshidratador y en las dos siguientes columna tenemos la temperatura a la que se deshidrato la fruta y el tiempo que se llevó a cabo.

Marca temporal	Temperatura	Tiempo_Manzana
8/06/2022 11:02:53	57	3.30
9/06/2022 11:02:53	57	3.40

Figura 37: Tabla de almacenamiento de datos en archivo excel

10. Demostración del controlador de temperatura

Para demostrar el comportamiento de un controlador de temperatura se procedió a obtener los datos de forma experimental usando el modelo Rexc100 Ssr PID y un termostato que calienta una plancha a 60 °C con el objetivo de aproximar el tiempo en que el termostato estabiliza la temperatura y se mantiene esta temperatura durante 4 horas.

Con los datos obtenidos se procedió a graficar la curva de estabilidad presentada en la figura 38 determinado que el tiempo de estabilización es de 1,39 minutos llegando a la temperatura de configurada en el controlador y durante el proceso se mantiene la temperatura graficado en la figura 39 se observa una línea continua durante las 4 horas que se encuentra en funcionamiento el controlador de temperatura.

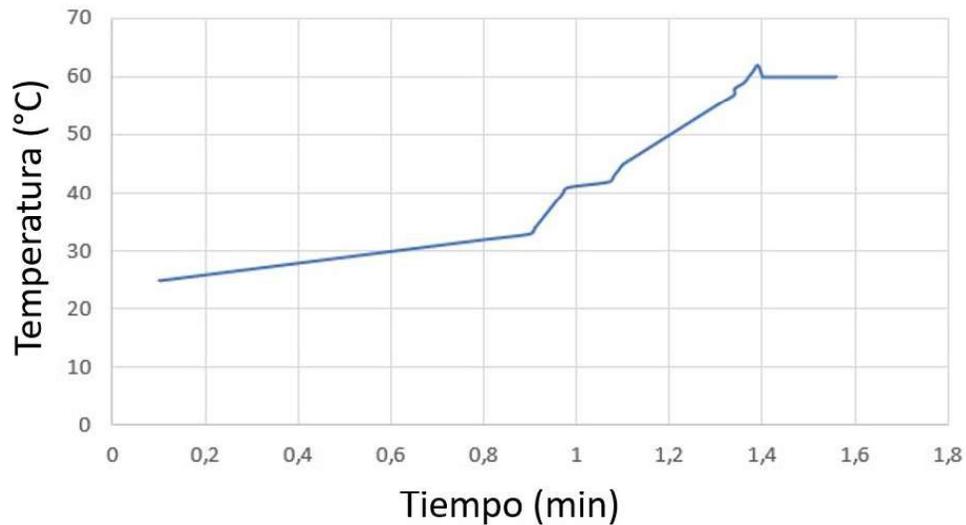


Figura 38: Gráfica de estabilidad de la temperatura vs. tiempo

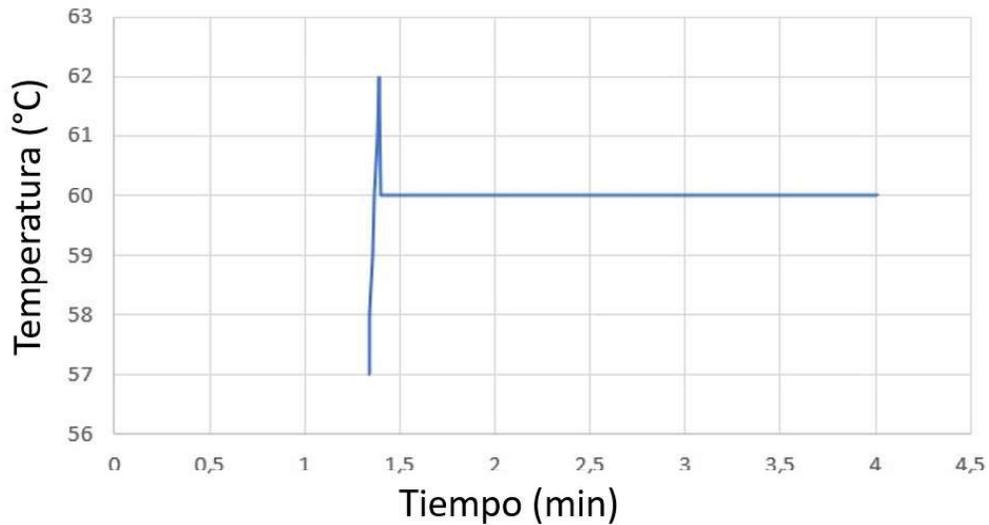


Figura 39: Gráfica de estabilidad durante el proceso

Al finalizar el proceso el controlador se apaga y la temperatura configurada comienza a descender a la temperatura ambiente por medio de la gráfica presentada en la figura 40 se determinó que se demora aproximadamente de 30 a 35 minutos en el que se aprovecha para la preparación del siguiente lote.

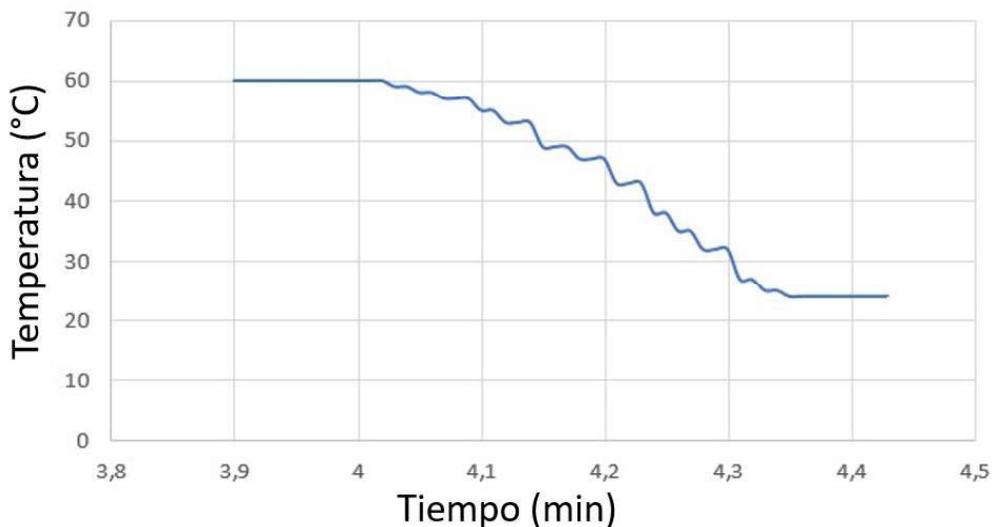


Figura 40: Gráfica de temperatura de operación a temperatura ambiente

11. Análisis de costos

Se realizó un análisis de costo de los componentes principales de la máquina como: material estructural, PLC, pantalla HMI, resistencia eléctrica, controlador de temperatura y ventiladores. A continuación, en la tabla 48 se presenta los precios del material estructural

proporcionados por las empresas ACERO CENTER y BOHMAN se considera la de menor precio debido a que el material de acero inoxidable es el mismo.

Tabla 48: Análisis de costo de material estructural

Costo de material estructural	
ACERO CENTER	BOHMAN
\$4785,32	\$3858,44

Para el controlador del deshidratador se realiza un análisis entre el SIMATIC S7-1500 y S7-1200 son de similares características, pero con la diferencia que el SIMATIC S7-1500 es más usado cuando se necesita una gran cantidad de datos lo que no es necesario en el deshidratador debido que solo se tiene un dato. También por su alto costo en la tabla 49 se presenta el precio de los dos PLC.

Tabla 49: Análisis de costo de PLC

Costo de PLC	
SIMATIC S7-1200	SIMATIC S7-1500
\$461,47	\$950,47

SIMENS dispone de diferentes paneles HMI desde modelos comfort hasta básicos como la aplicación del HMI en el deshidratador es sencillo se consideró los paneles básicos con una libre configuración y compatibilidad con el PLC. En la tabla 50 se presenta 3 modelos diferentes de HMI considerando el costo y la aplicación que se le da en el deshidratador se plantea el modelo SIMATIC HMI KTP 400 Basic.

Tabla 50: Análisis de costo de HMI

Costo de HMI		
SIMATIC HMI KTP400	SIMATIC HMI KTP700	SIATIC HMI KTP900
\$451,32	\$750	\$1118,07

El análisis de costo de las resistencia eléctricas se considera dos empresas. Resistencias eléctricas OHMIO son fabricantes por lo que el costo es alto a comparación de la empresa OMEGA con un costo más económico en la tabla 51 se presenta el costo.

Tabla 51: Análisis de costo de resistencia eléctricas

Costo de resistencia eléctricas	
Resistencias OHMIO	Resistencias OMEGA
\$460	\$382

En el mercado existen diferentes modelos de controladores de temperatura como es el modelo Rex C100 permite una configuración rápida y compatible con un sensor de temperatura Tipo K a diferencia del modelo Sommy Tr4r20w con una compatibilidad más universal en cuando a los sensores. En cuando a costo en la tabla 52 se presenta el precio de los dos controladores y al no variar excesivo se escoge el modelo Sommy Tr4r20w, aparte permite una conexión más universal en los sensores de temperatura.

Tabla 52: Análisis de costo de controlador de temperatura

Costo de controlador de temperatura	
Rex C100	Sommy Tr4r20w
\$35,50	\$45

En la tabla 53 se presentan un ventilador monofásico Siemens y un ventilador de BROAN. El ventilador Siemens proporciona un caudal de 1368 m³/h excede del valor de caudal que requiere a máquina a diferencia del ventila BROAN que cumple con el requerimiento y con un costo más accesible.

Tabla 53: Análisis de costo de ventilador

Costo de ventiladores	
SIEMENS	BROAN
\$250	\$124,40

Realizado el análisis de costo de los componentes más esenciales en el deshidratador en la tabla 54 las opciones seleccionadas y el costo de: mano de obra, programación, elementos de seguridad entre otros. Al contruir el deshidratador de frutas cumpliría con la capacidad de 50 kilogramos lote que requiere la industria para una producción continua, aparte se considera un sistema de control automático para el cual se usara un PLC tiene como beneficio que alerta al operador cuando el proceso a finalizado y a su vez permite

una conexión remota para la adquisición y almacenamiento de datos puesto que el deshidratador enviaría los datos de temperatura y tiempo desde el PLC hacia un ordenador remoto por medio del internet a lo que hoy en día se lo conoce como el internet de las cosas.

Tabla 54: Análisis de costo

Artículo	Cantidad	Precio
Material estructural	1	\$3858,44
PLC	1	\$461,47
Pantalla HMI	1	\$642,07
Resistencias Eléctricas	4	\$382
Controlador de Temperatura	1	\$45
Ventiladores	2	\$124,24
Termocupla	1	\$30
Elementos de seguridad	6	\$136,56
Indicadores de tablero de control	1	\$50,60
Tablero de control	1	\$200
Programación	1	\$1000
Ensamble de máquina	1	\$800
Total		\$7730,38

Determinado el costo de fabricación del deshidratador de fruta se presentan los beneficios de implementación:

- Dispone de un sistema automático de control debido que el operador solo inicia la rutina y por el PLC envía la señal para activar los actuadores.
- Dispone una pantalla HMI permitiendo al deshidratador ser amigable para el operador.
- Se planteo un controlador de temperatura con el objetivo de garantizar que durante el funcionamiento se mantenga la misma temperatura.
- Emplea indicadores tanto en la pantalla como en el tablero de control que indicando al operador el estado del deshidratador.
- Genera una adquisición y almacenamiento de datos de forma remota, permitiendo al operador revisar los datos desde sus computador.
- Cumple con capacidad requerida por la empresa.

A comparación del equipo de la figura 1 que se regula la temperatura y el tiempo de forma manual no se tiene un monitoreo de la temperatura. También no dispone con un sistema de adquisición y almacenamiento de datos que es requerido por el cliente.

En la tabla 55 se presenta el análisis de consumo del deshidratador generado en un mes en base a la potencia de consumo de los componentes eléctricos por el costo de kW/h en Ecuador 0,92 cUSD/kW [51], obteniendo el siguiente consumo

Tabla 55: Costo de consumo en un mes

Potencia (kW)	Consumo en mes (kw/h)	Precio
20,48	4097,15	\$376,93

12. Conclusiones

- Se documento los diferentes tipos de deshidratación para determinar el más óptimo siendo este el de resistencias eléctricas debido que este no depende de la radiación del sol, ni de presión osmótica, y pueda ser instalado en cualquier ambiente; con el uso de resistencias eléctricas se tiene un flujo de calor constante sin interrumpir el proceso de deshidratación hasta que se cumpla con el tiempo requerido.
- Se dimensionó la cámara de deshidratación para la capacidad de 50 kilogramos de producto fresco, con las siguientes medidas 0.53 x 1 x 1.2 m; con 4 resistencias eléctricas dos de 2000 W y dos de 3000 W las cuales emitirán el calor requerido en la cámara. Este dimensionamiento favorece aprovechar todas las áreas de la cámara y que el calor reparta homogéneamente en toda la superficie de esta. Así mismo se determinó que el caudal requerido en la cámara que es de 32.4 m³/min cumpliendo con la capacidad requerida.
- Se realizó pruebas experimentales concluyendo que al graficar el comportamiento del controlador de temperatura Rexc 100 Ssr PID y determinando el tiempo de estabilización de temperatura configurada sea de 1.39 min aproximadamente.
- Durante el proceso al detectar un ligero cambio de temperatura el controlador vuelve a la temperatura de configuración lo que favorece y asegura que el parámetro de

temperatura no cambie.

- Se seleccionó el uso de un controlador de temperatura Rexc 100 Ssr PID con la finalidad de mantener este parámetro constante, el mismo que durante el tiempo de la deshidratación se pueda controlarlo hasta finalizarlo, al estar regulado evita un aumento de temperatura y que el producto no se deteriore.
- Se concluye que al utilizar el PLC se tiene como propósito un encendido y apagado automático del controlador de temperatura.
- El PLC controla el encendido y apagado de los ventiladores, encargados de distribuir el flujo de calor dentro de la cámara de deshidratación; mejorando las características del producto.
- La interfaz gráfica del HMI en una pantalla touch de 6" proporciona una interacción más amigable con el operador facilitando el uso de deshidratador a su vez que se visualizan los parámetros de temperatura y tiempo en la pantalla facilitando al operador conocer los parámetros de trabajo.
- Mediante la simulación de la interfaz gráfica HMI se observó el funcionamiento que tendrá el deshidratador; desde que se inicia la rutina primero encendiendo los ventiladores y después de 5 minutos se enciende el controlador de temperatura a su vez las resistencias eléctricas verificando que se han encendido por los indicadores reflejados en la interfaz gráfica HMI.
- Empleando el programa Node-red se obtiene la adquisición y almacenamiento de datos (temperatura y tiempo) enviados desde el PLC hasta el archivo Excel y ser almacenados en la nube.
- Al disponer del programa Node-red permite generar datos históricos de la temperatura y el tiempo de deshidratación los cuales ayuda al operador a verificar de forma remota desde un computador.
- Las resistencias eléctricas que generan calor y los ventiladores que permiten impulsar el flujo de calor; facilitan la circulación de este en toda la cámara de deshidratación para la evaporación del agua contenida en las frutas.

13. Recomendaciones

- Realizar una limpieza periódica del deshidratador para evitar una acumulación de polvo debido a que al activar los ventiladores esto puede llegar al producto provocando una contaminación.
- Verificar que el controlador establezca la temperatura de configuración si no se regula podría quemar el producto causando pérdidas de producción.
- Distribuir los cortes de las frutas en las bandejas de forma uniforme esto permite que el aire caliente disipado por los ventiladores se distribuya por la cámara para obtener un secado uniforme.
- Revisar el manual de operación antes de utilizar el deshidratador con el objetivo de comprender el funcionamiento del deshidratador y manejo de la interfaz gráfica HMI.
- Tener en cuenta que la capacidad del deshidratador de frutas fue diseñada para 50 kilogramos de producto fresco por lote para evitar una sobre carga que involucre que el producto salga húmedo y no deshidrate en el tiempo establecido.
- Previa a iniciar con la rutina de deshidratación de la fruta seleccionada es importante verificar que el IP en Node-red sea configurado con el PLC, en caso de no ser así no se habrá recepción de datos en el archivo de Excel.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] N. N. Potter y J. H. Hotchkiss, "La ciencia de los alimentos," no. TP370. P67 1973. Centro Regional de Ayuda Técnica, 2005.
- [2] P. Fito Maupoey, "Introducción al secado de alimentos por aire caliente," 2001.
- [3] A. A. AYALA-APONTE, Y. LEITON-RAMIREZ, y L. SERNA-COCK, "Cambios en propiedades mecánicas durante la deshidratación osmótica de pitahaya amarilla." Universidad del Cauca, Vicerrectoría de Investigaciones, 2017.
- [4] M. I. Pontin, A. I. Lema, R. J. Ritta, A. P. Sanmartino, y M. Ghirardotto, "Secadero solar para frutas: estudio de caso," vol. 9, 2005.
- [5] A. R. G. Blanco y J. S. Segura, "Diseño y construcción de un deshidratador solar para fresa," vol. 3, 2018.
- [6] J. C. T. CISNEROS *et al.*, "Estrategias de control automático para la optimización del consumo energético en un deshidratador de frutas y hortalizas," 2019.
- [7] Deshidratador de fruta solar. [En línea]. Disponible: <https://saecsaenergiasolar.com/catalogo/deshidratador/> [Fecha de consulta: Julio 2020]
- [8] Deshidratador de fruta solar. [En línea]. Disponible: <https://www.23grados.com/deshidratadorsolar> [Fecha de consulta: Julio 2020]
- [9] Deshidratador industrial de frutas. [En línea]. Disponible: <https://www.aimheatpump.com/es/products-detail-325786> [Fecha de consulta: Julio 2020]
- [10] Deshidratador industrial de frutas. [En línea]. Disponible: <https://hlw.com.mx/collections/deshidratadores> [Fecha de consulta: Julio 2020]
- [11] Deshidratador industrial de frutas. [En línea]. Disponible: <https://www.aimheatpump.com/es/products-detail-325786> [Fecha de consulta: Julio 2020]

- [12] H.-D. Tscheuschner, "Fundamentos de tecnología de los alimentos." Hamburg, Germany, 2001.
- [13] S. K. Sharma, S. J. Mulvaney, y S. S. H. Rizvi, "Ingeniería de alimentos, operaciones unitarias y prácticas de laboratorio." Mexico, D.F., 2003.
- [14] I. Astiasarán y M. J. Alfredo, "Alimentos, composición y propiedades." - Madrid, España, 2001.
- [15] H. Grenfield y D. Southgate, "Datos de composición de alimentos, obtención, gestión y utilización." - Roma, 2006.
- [16] M. del comité del codex, "Codex alimentarius: documento de debate sobre la normalización de productos secos y deshidratados." Washington D, Cm-Estados unidos de América, Septiembre 2016.
- [17] "Maquinaria para procesado de alimentos." INEN: servicio ecuatoriano de normalización, Septiembre 2017.
- [18] R. L. Mott, "Mecanica de fluidos." Pearson educación, 2006.
- [19] Y. A. Cengel y A. J. Ghajar, "Transferencia de calor y masa," vol. 53. McGraw-Hill Interamericana, 2007.
- [20] F. P. Incropera y D. P. DeWitt, "Fundamentos de transferencia de calor." Pearson Educación, 1999.
- [21] Y. A. Cengel y M. A. Boles, "Termodinámica." McGraw Hill Mexico, 2015.
- [22] R. Kirk, H. Egan, y R. Sawyer, "Composición y análisis de los alimentos de pearson."
- [23] J. P. Holman y R. Valenzuela, "Transferencia de calor," no. 660.28427 H65 1986. McGraw-Hill São Paulo, 1998.
- [24] "Yombolo: Aislante termico thermolon," Diciembre 2021. [En línea]. Disponible: <https://yumbolon.com/portfolio/aislante-termico/>
- [25] "Sodimac: Aislante termico lana de vidrio," Diciembre 2021. [En línea]. Disponible: <https://www.sodimac.com.pe/static/pdf/1163906-1-Fichatecnica.pdf>

- [26] “Catálogo de acero.” DIPAC Productos de acero, Marzo 2022.
- [27] J. Roldán Viloría, “Automatismos y cuadros eléctricos.” Editorial Paraninfo, 2004.
- [28] “Manual electrotécnico.” schneider electric, Agosto 2022.
- [29] “Catalogo general del producto.” SIEMENS, Marzo 2022.
- [30] G. E. Harper, “Proteccion de instalaciones electricas industriales y comerciales/protection of electrical industrial and commercial installations.” Editorial Limusa, 2005.
- [31] L. P. Andrade, “Protección de sistemas eléctricos contra agentes ambientales,” vol. 3, no. 4. Universidad Estatal de Milagro UNEMI, 2010, pp. 56–63.
- [32] M. Soldevila y D. Portaro, “9304-19 taller seguridad-riesgo eléctrico-protecciones,” 2019.
- [33] “Catalog 2016: Capitulo 6 disyuntores tesys gv.gb,” Abril 2022. [En línea]. Disponible: <https://issuu.com/marriott>
- [34] J. C. Martín y M. P. García, “Esquemas y circuitos básicos (automatismos industriales).” Editex, 2016.
- [35] “Catálogo de productos materiales electricos 2019,” Abril 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.se.com/es/es/download/document/ESMKT01196G16/>
- [36] “Catálogo técnico.” confem, Marzo 2022.
- [37] “Dispositivos de parada de emergencia/interruptores de accionamiento por cable,” Marzo 2022. [En línea]. Disponible: <https://assets.euchner.de/sirius/316796.pdf>
- [38] “Schneider electric,” Marzo 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.se.com/mx/es/product/XB4BS8445/bot>
- [39] “Schneider electric-final de carrera,” Marzo 2022. [En línea]. Disponible: <https://product-help.schneider-electric.com/>
- [40] “Interruptores de final de carrera.” Schmersal, Agosto 2022.

- [41] C. K. Benjamin, "Sistemas de control automático," ser. PRENTICE. Mexico, 2008.
- [42] O. Katsuhilo, "Ingeniería de control moderna," ser. PEARSON. Madrid, 2010.
- [43] "Controlador de temperatura." Autonics, Marzo 2022.
- [44] "Sitrans t:sensores y transmisores de temperatura de alta precisión con capacidades de comunicación únicas." SIEMENS, Marzo 2022.
- [45] "Simatic s7 controlador programable s7-1200." SIEMENS.
- [46] "Hojas de datos 6av6647-0ad11-3ax0." SIEMENS.
- [47] "Siemens," Marzo 2022. [En línea]. Disponible: <https://new.siemens.com/>
- [48] "EstÁndar nacional americano ansi/isa-101.01-2015 interfaces hombre-máquina para sistemas de automatización de procesos." North Carolina.
- [49] "Nodo-red," Marzo 2022. [En línea]. Disponible: www.nodered.org/features
- [50] O. Q. Muñoz, "Internet de las cosas (iot)." Ibukku LLC, 2019.
- [51] "La corporación nacional de electricidad (cnel)," Agosto 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.cnelep.gob.ec/las-tarifas-de-energia-electrica-no-se-incrementaran-en-el-2022>

Anexo A: Catálogo de ángulo en acero inoxidable DIPAC



INOXIDABLE

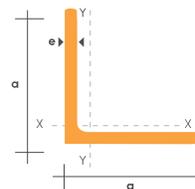
ANGULOS EN ACERO INOXIDABLE

Especificaciones Generales

Norma AISI 304
Largo normal 6,00 m
Otros largos Previa consulta



DIMENSIONES		PESO		AREA
mm		kg/m	kg/6m	cm2
a	e			
20	2	0.60	3.62	0.76
20	3	0.87	5.27	1.11
25	2	0.75	4.56	0.96
25	3	1.11	6.68	1.41
25	4	1.45	8.73	1.84
30	3	1.36	8.13	1.71
30	4	1.77	10.63	2.24
40	3	1.81	11.00	2.31
40	4	2.39	14.34	3.04
40	6	3.49	21.34	4.44
50	3	2.29	13.85	2.91
50	4	3.02	18.33	3.84
50	6	4.43	26.58	5.64
60	6	5.37	32.54	6.84
60	8	7.09	42.54	9.03
65	6	5.84	35.25	7.44
70	6	6.32	38.28	8.05
75	6	6.78	40.65	8.64
75	8	8.92	54.18	11.36
80	8	9.14	56.95	11.64
100	6	9.14	56.95	11.64
100	8	12.06	74.05	15.36
100	10	15.04	90.21	19.15
100	12	18.26	109.54	22.56

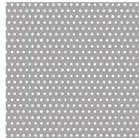


Anexo B: Catálogo de malla de acero inoxidable perforada

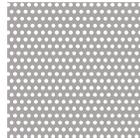
Tipos de Perforaciones

Perforaciones Redondas

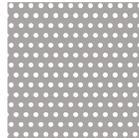
Perforación Standart: D= Diámetro de la perforación / C= Distancia entre centros



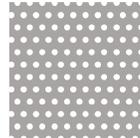
D= 0,50mm
C= 1,20mm



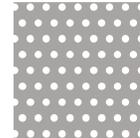
D= 0,80mm
C= 1,40mm



D= 1,00mm
C= 2,00mm



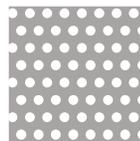
D= 1,25mm
C= 2,50mm



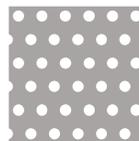
D= 1,50mm
C= 3,20mm



D= 1,75mm
C= 3,75mm



D= 2,00mm
C= 3,50mm



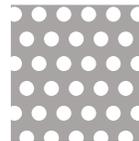
D= 2,25mm
C= 4,75mm



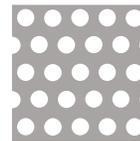
D= 2,50mm
C= 4,40mm



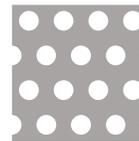
D= 2,75mm
C= 4,75mm



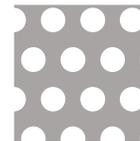
D= 3,00mm
C= 5,00mm



D= 3,50mm
C= 5,50mm



D= 4,00mm
C= 7,00mm



D= 5,00mm
C= 8,00mm



D= 6,00mm
C= 8,40mm



D= 7,00mm
C= 10,00mm



D= 8,00mm
C= 12,00mm



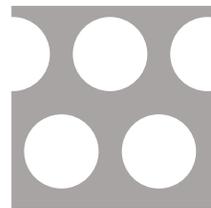
D= 9,00mm
C= 12,80mm



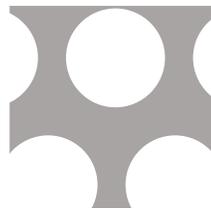
D= 10,00mm
C= 14,00mm



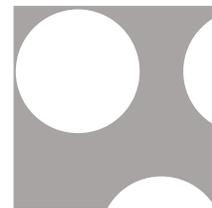
D= 12,00mm
C= 16,00mm



D= 15,00mm
C= 19,65mm



D= 20,00mm
C= 25,65mm



D= 25,00mm
C= 33,77mm

Anexo C: Ficha técnica del ventilador seleccionado

HRB/3-250 IP44



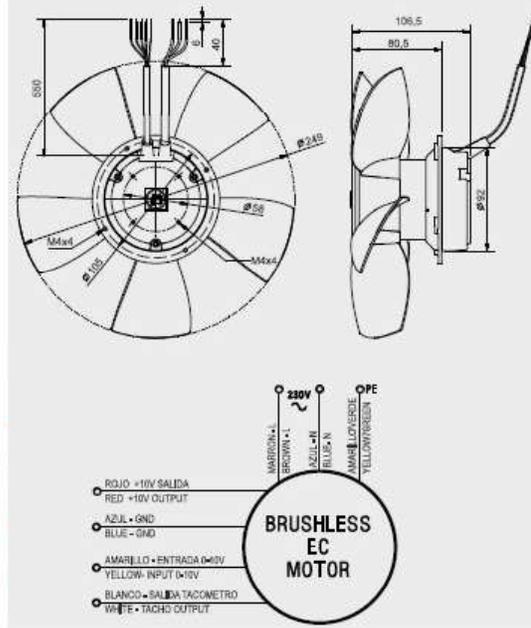
Características Characteristics

Tensión <i>Voltage</i>	1 ~ 230V±10% 50/60Hz
Tipo motor <i>Motor type</i>	EC MOTOR - IP44 cl.B
Velocidad máxima <i>Maximum speed</i>	2275 RPM
Potencia absorbida máxima <i>Maximum absorbed power</i>	118 W
Intensidad absorbida máxima <i>Maximum absorbed current</i>	0,8 A
Material turbina <i>Wheel material</i>	Plastic
Temperatura del aire <i>Air temperature</i>	-20°C<T<+50°C
Peso <i>Weight</i>	2,3 kg
Código ventilador <i>Fan code number</i>	HRB/3-250-BMS 1-2275 A
Código motor <i>Motor code number</i>	

amax.

Dimensiones y conexiones

Dimensions and wiring HRB/3-250-BMS 1-2275 A



Anexo D: Tabla de propiedades del aire [20]

884

APÉNDICE 1

TABLA A-15

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., T_i , °C	Densidad, ρ , kg/m ³	Calor específico, c_p , J/kg · K	Conductividad térmica, k , W/m · K	Difusividad térmica, α , m ² /s ²	Viscosidad dinámica, μ , kg/m · s	Viscosidad cinemática, ν , m ² /s	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-5}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1 000	0.2772	1184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1 500	0.1990	1234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2 000	0.1553	1264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

Nota: Para los gases ideales, las propiedades c_p , μ y Pr son independientes de la presión. Las propiedades ρ , ν y α a una presión P (en atm) diferente de 1 atm se determinan al multiplicar los valores de ρ a la temperatura dada, por P y al dividir ν y α entre P .

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 1984, y Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: Viscosity, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena y P. Hestermans, IFI/Plenum, NY, 1970, ISBN 0-306067020-8.

Anexo E: Diagrama de Moody [20]

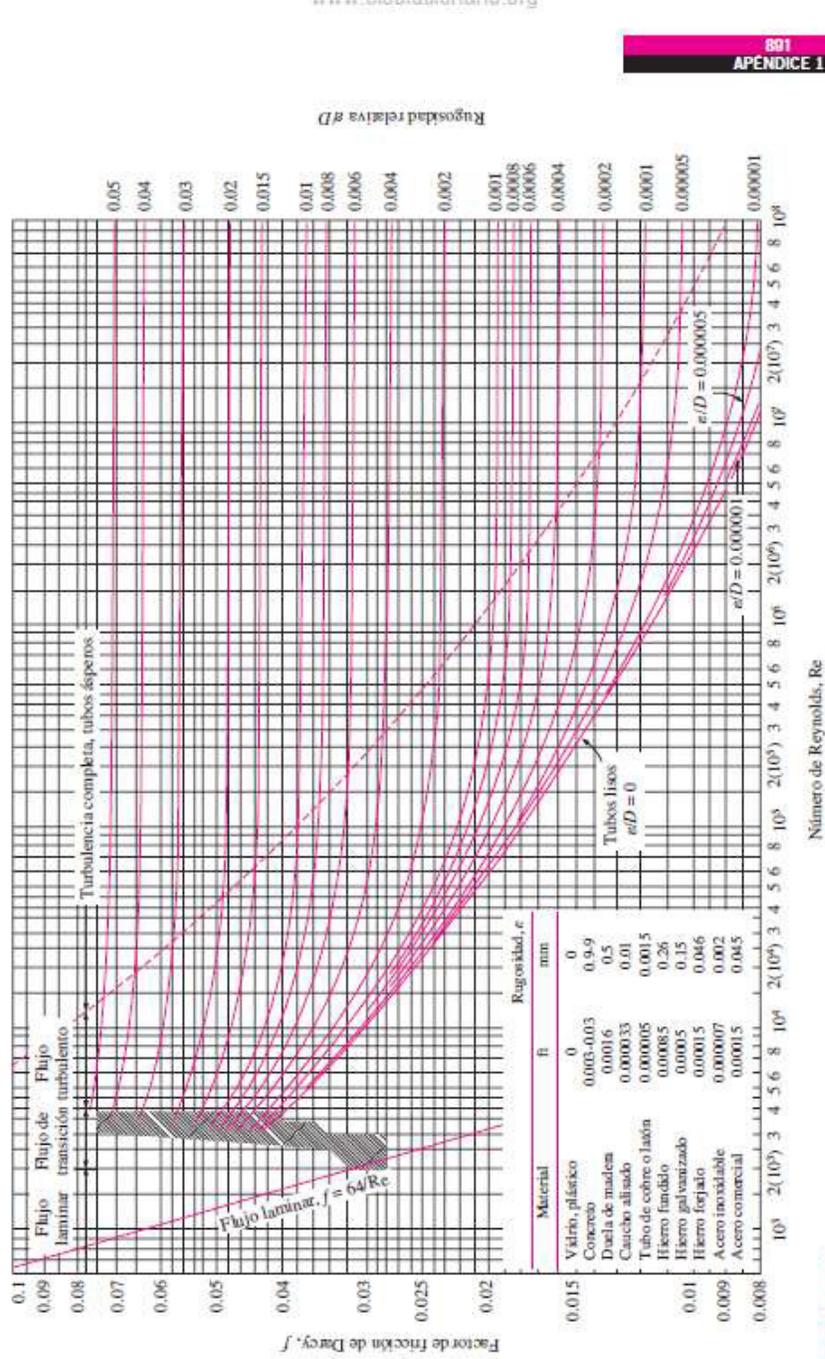


FIGURA A-20 Diagrama de Moody del factor de fricción para flujo completamente desarrollado en tubos completamente desarrollados en tubos circulares para el uso en la relación $\Delta P_L = f \frac{L}{D} \frac{\rho V^2}{2}$. Los factores de fricción en flujo turbulento se evalúan con la ecuación de Colebrook $\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{e/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$.

Anexo F: Características técnicas de resistencia eléctrica

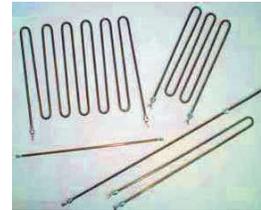
MODELOS EN TUBO DE Ø 8mm

CARACTERÍSTICAS GENERALES

- Elementos tubulares blindados en acero inoxidable AISI 304 ó AISI 321 de Ø8 mm, resistencia aislada con óxido de magnesio electrofundido y comprimido por laminación,
- Borne BM4-P de M4.
- Racores engrampados de acero zincado, rosca M12x1'25
- Tensión normalizada 230 Vca

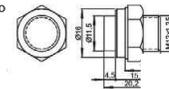
APLICACIONES USUALES

- Aire acondicionado
- Estufas aire recirculado
- Estufas aire estático
- Calor negro
- Secado industrial textil
- Hornos de retráctilado de plástico
- Hornos en general
- Mesas o armarios calientes
- Aerotermos
- Conectores de aire caliente
- Reactores químicos



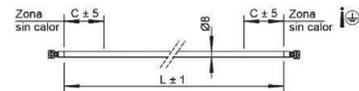
Dimensiones del rácor engrampado M12x1'25

Material: Acero niquelado



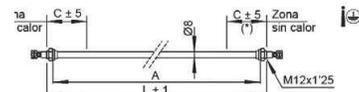
MODELOS RECTOS SIN RACOR

Modelo	Dimensiones en mm		W	W/cm ²	Peso kg
	C	L			
REINF 460	50	460	500	5,7	0,10
REINF 960	50	960	1000	4,7	0,20



MODELOS RECTOS CON RACOR ENGRAMPADO

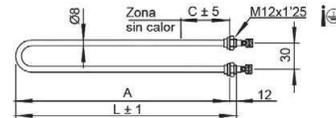
Modelo	Dimensiones en mm			W	W/cm ²	Peso kg
	A	C	L			
R762	738	45	762	500	3	0,20
R1092	1068	45	1092	750	3,1	0,26
R1422	1398	45	1422	1000	3,1	0,34
R2092	2068	45	2092	1500	3	0,49



acorde de uno de los extremos va montado sin fijar

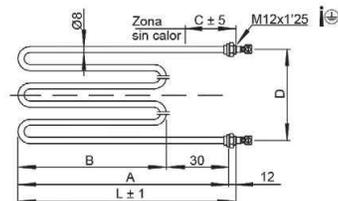
MODELOS EN U CON RACOR ENGRAMPADO

Modelo	Dimensiones en mm			W	W/cm ²	Peso kg
	A	C	L			
U365	365	45	377	500	3	0,20
U530	530	45	542	750	3,1	0,26
U635	695	45	707	1000	3,1	0,34
U1030	1030	45	1042	1500	3,1	0,49
U1365	1365	45	1377	2000	3,1	0,58



MODELOS EN M CON RACOR ENGRAMPADO

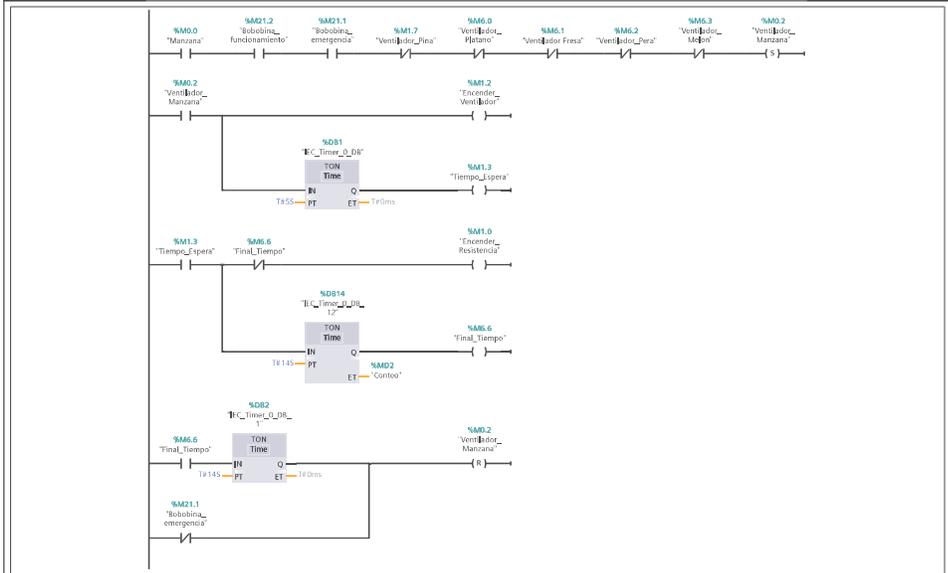
Modelo	Dimensiones en mm					W	W/cm ²	Peso kg
	A	B	C	D	L			
M4360	360	330	45	90	372	1000	3,1	0,34
M6360	360	330	45	150	372	1500	3,1	0,49
M8360	360	330	45	210	372	2000	3,1	0,58
M12360	360	330	45	330	372	3000	3	0,89



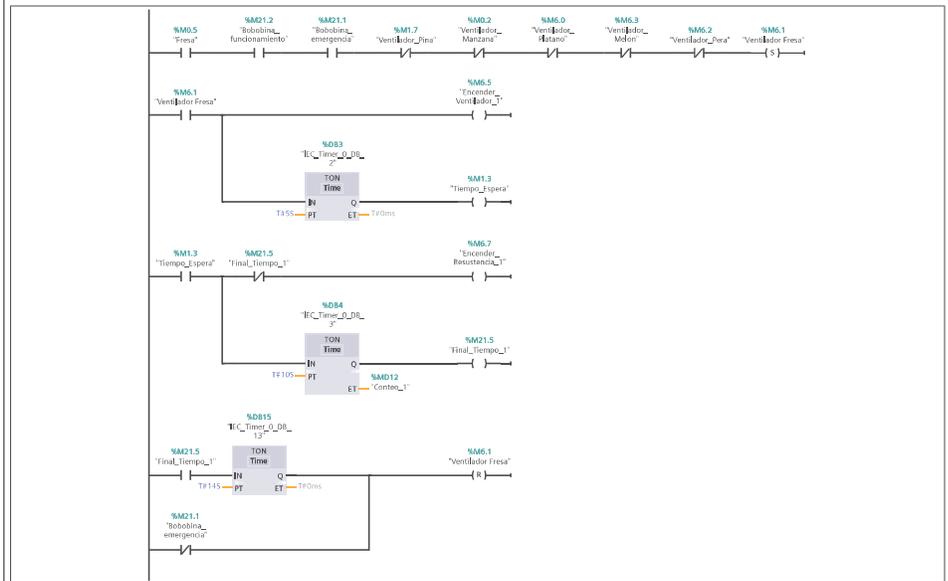
Pueden suministrarse modelos de fabricación especial bajo plano e indicaciones del cliente

Anexo G: Código de programación en TIA PORTAL V17.

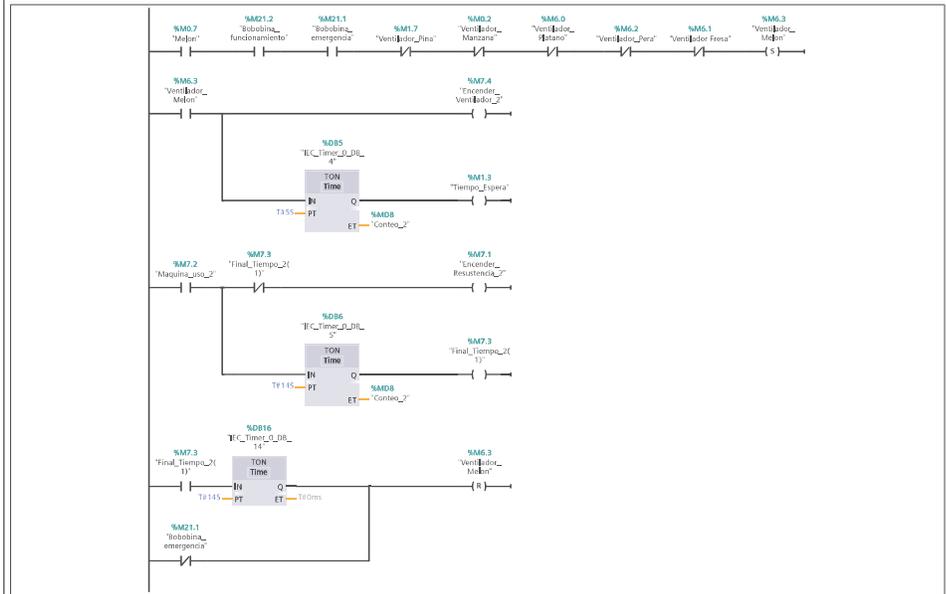
Totally Integrated Automation Portal			
Project2 / PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly] / Program blocks			
Main [OB1]			
Main Properties			
General			
Name	Main	Number	1
Numbering	Automatic	Type	OB
Language LAD			
Information			
Title	"Main Program Sweep (Cycle)"	Author	
Version	0.1	User-defined ID	
Network 2: Seleccion de Fruta			
Network 3: Reset de boton de Fruta			
Network 4: Funcionamiento Manzana			



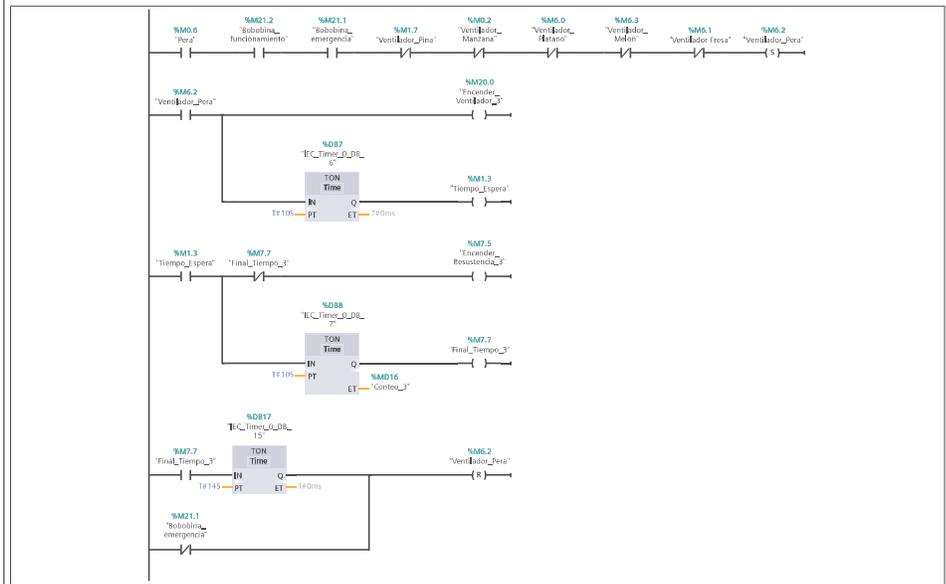
Network 5: Funcionamiento Fresa



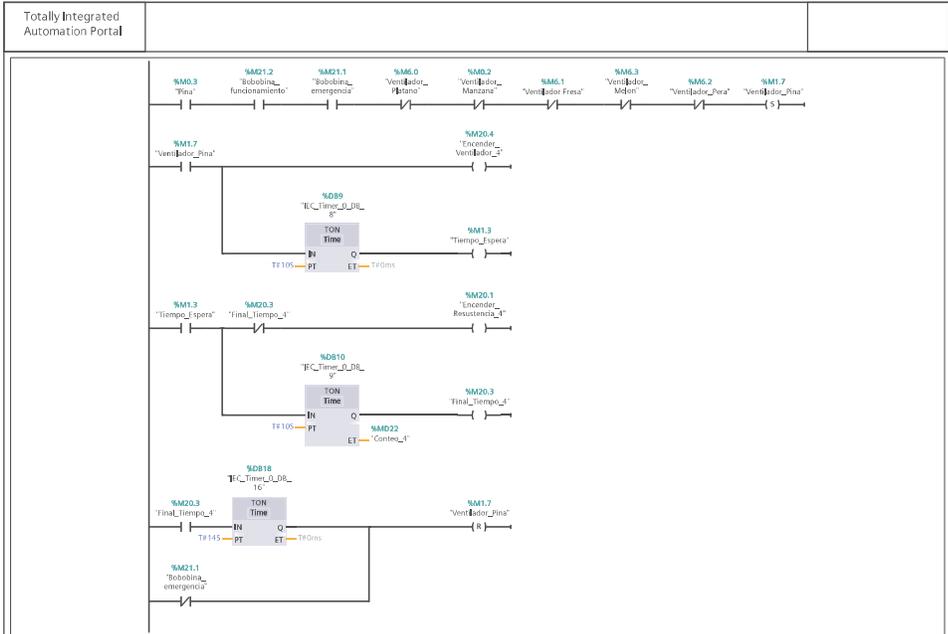
Network 6: Funcionamiento Melon



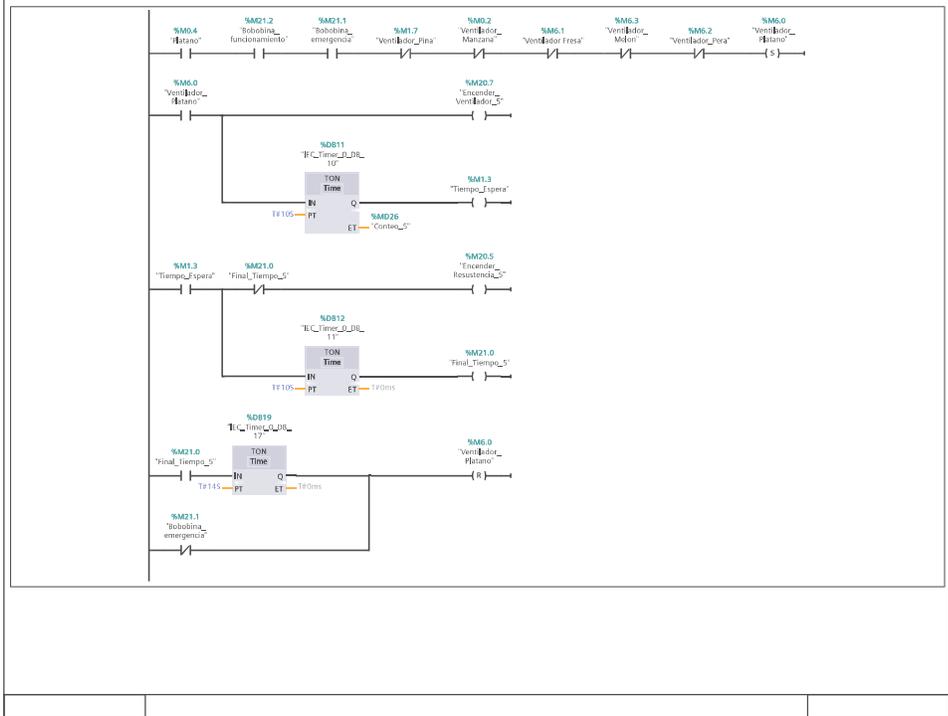
Network 7: Funcionamiento Pera



Network 8: Funcionamiento Pifa



Network 9: Funcionamiento Platano



Anexo H: Diagrama de flujo

Anexo I: Plano Electrónico

Anexo J: Planos Mecánicos

Anexo K: Manual de operación