



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA MECÁNICA**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA DESHIDRATADORA  
PARA FRUTAS CÍTRICAS CON FUNCIONAMIENTO  
SEMIAUTOMÁTICO Y ALIMENTADA CON GAS LICUADO DE  
PETRÓLEO”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**AUTORES:**

**CRISTIAN JAVIER TOSCANO SANDOVAL**

**DIEGO FABIÁN LÓPEZ CEPA**

Riobamba – Ecuador

2023



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA MECÁNICA**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA DESHIDRATADORA  
PARA FRUTAS CÍTRICAS CON FUNCIONAMIENTO  
SEMIAUTOMÁTICO Y ALIMENTADA CON GAS LICUADO DE  
PETRÓLEO”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**AUTORES: CRISTIAN JAVIER TOSCANO SANDOVAL**

**DIEGO FABIÁN LÓPEZ CEPA**

**DIRECTOR: Ing. JORGE SEBASTIÁN BUÑAY GUAMAN, MSc.**

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Cristian Javier Toscano Sandoval & Diego Fabián López Cepa

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el derecho de Autor.

Nosotros, Cristian Javier Toscano Sandoval & Diego Fabián López Cepa, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de este Trabajo de Integración Curricular, el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 01 de diciembre de 2023.



**Cristian Javier Toscano Sandoval**

**C. I: 050362040-3**






**Diego Fabián López Cepa**

**C. I: 060381409-6**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA MECÁNICA**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA DESHIDRATADORA PARA FRUTAS CÍTRICAS CON FUNCIONAMIENTO SEMIAUTOMÁTICO Y ALIMENTADA CON GAS LICUADO DE PETRÓLEO**, realizado por los señores: **CRISTIAN JAVIER TOSCANO SANDOVAL** y **DIEGO FABIÁN LÓPEZ CEPA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el tribunal autoriza su presentación.

|  | <b>FIRMA</b>   | <b>FECHA</b> |
|--|--|--------------|
| Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez, PhD.<br><b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>                         |   | 2023-12-01   |
| Ing. Jorge Sebastián Buñay Guamán, MSc.<br><b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b> |  | 2023-12-01   |
| Ing. Jorge Isaías Caicedo Reyes, MSc.<br><b>ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>     |  | 2023-12-01   |

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mis padres, Dino y Elena quienes siempre me brindaron sus palabras de aliento en todo momento y me enseñaron todos los valores que poseo, también fueron mi apoyo incondicional, nunca cuestionaron mis decisiones y siempre estuvieron ahí para mí.

A mi compañera de vida Lina y a mi hija Sarahi, ahora se convierten en mi familia y son el impulso que me permite lograr mis objetivos y seguir adelante en todo momento, gracias a su cariño me han ayudado a crecer como persona y también profesionalmente, me demostraron que no debo rendirme en ningún momento de la vida.

Cristian

El presente trabajo lo dedico a mis padres, hermanos y familia como a todas las personas que confiaron y apoyaron al desarrollo de este proyecto, el cual es el desenlace de una batalla incesante por superarme día a día para cumplir mis metas y objetivos. A la carrera de Ingeniería Mecánica la cual me enseñó además de lo académico el valor de la constancia y el sacrificio que la vida te exige para lograr tus objetivos.

Diego

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco primeramente a Dios por brindarme salud, conocimiento y la fuerza suficiente para superar todas las adversidades, por darme esos padres maravillosos y por darme la familia que hoy tengo en la vida, ellos son mi inspiración para poder lograr mis propósitos, un agradecimiento especial a don Gilberto por darme consejos y su apoyo para culminar este proyecto.

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por darme la oportunidad de obtener una profesión y ser una ayuda para la sociedad. Al ingeniero Isaías Caicedo por aportar con su conocimiento y ser un buen guía para la realización de este trabajo, por último, a mis amigos (as) que me brindaron su amistad y apoyo durante toda la carrera.

Cristian

El presente trabajo de titulación, agradezco primero a Dios y sobre todo a mis padres por haberme dado la vida y la oportunidad de haber completado con la prestigiosa carrera de Ingeniería Mecánica la cual me ha permitido crecer tanto en lo académico como en lo personal. A mis hermanos por haberme dado el apoyo incondicional en todo momento y sin condiciones. A mis amigos que me acompañaron en toda circunstancia y sobre todo a los docentes que han cultivado en mí, los valores y al amor a mi profesión.

Diego

## ÍNDICE DE CONTENIDO

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| ÍNDICE DE TABLAS.....         | xiii  |
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES ..... | xv    |
| ÍNDICE DE ANEXOS .....        | xviii |
| RESUMEN .....                 | xix   |
| SUMMARY .....                 | xx    |
| INTRODUCCIÓN .....            | 1     |

### CAPÍTULO I

|   |          |
|---|----------|
| <b>1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....</b>   | <b>2</b> |
| 1.1. Antecedentes.....                    | 2        |
| 1.2. Formulación del problema .....       | 3        |
| 1.3. Justificación.....                   | 3        |
| 1.4. Alcance.....                         | 4        |
| 1.5. Objetivos.....                       | 4        |
| 1.5.1. <i>Objetivo general</i> .....      | 4        |
| 1.5.2. <i>Objetivos específicos</i> ..... | 4        |

### CAPÍTULO II

|  |          |
|--|----------|
| <b>2. MARCO REFERENCIAL.....</b>                           | <b>5</b> |
| 2.1. Marco conceptual.....                                 | 5        |
| 2.1.1. <i>Diseño y construcción</i> .....                  | 5        |
| 2.1.2. <i>Sistema automatizado</i> .....                   | 5        |
| 2.1.3. <i>Deshidratación</i> .....                         | 5        |
| 2.1.4. <i>Frutas cítricas</i> .....                        | 6        |
| 2.2. Marco teórico .....                                   | 6        |
| 2.2.1. <i>Despliegue de la función de la calidad</i> ..... | 6        |
| 2.2.2. <i>Fase I: Planificación del producto</i> .....     | 7        |
| 2.2.2.1. <i>Voz del cliente</i> .....                      | 7        |
| 2.2.2.2. <i>Análisis de competitividad</i> .....           | 8        |
| 2.2.2.3. <i>Voz del ingeniero.</i> .....                   | 8        |
| 2.2.2.4. <b>Correlaciones.....</b>                         | <b>8</b> |
| 2.2.2.5. <i>Comparación técnica.</i> .....                 | 8        |



|           |   |    |
|-----------|---|----|
| 2.2.2.6.  | <i>Compromisos técnicos</i> .....   | 8  |
| 2.2.3.    | <b><i>Fase II: diseño conceptual</i></b> .....                                    | 8  |
| 2.2.3.1.  | <i>Estructura funcional</i> .....   | 9  |
| 2.2.3.2.  | <i>Matriz morfológica</i> .....   | 9  |
| 2.2.4.    | <b><i>Fase III: Diseño de materialización</i></b> .....                           | 10 |
| 2.2.5.    | <b><i>Fase IV: Diseño de detalle</i></b> .....                                    | 10 |
| 2.3.      | <b>Diseño térmico</b> .....   | 11 |
| 2.3.1.    | <b><i>Parámetros fundamentales del proceso de deshidratación</i></b> .....        | 11 |
| 2.3.1.1.  | <i>Proceso de Deshidratación en Frutas</i> .....                                  | 11 |
| 2.3.1.2.  | <i>Aire atmosférico</i> .....   | 12 |
| 2.3.1.3.  | <i>Humedad específica o absoluta del aire.</i> .....                              | 12 |
| 2.3.1.4.  | <i>Humedad relativa del aire</i> .....  | 12 |
| 2.3.1.5.  | <i>Carta psicrométrica</i> .....  | 12 |
| 2.3.1.6.  | <i>Temperatura de bulbo seco</i> .....  | 13 |
| 2.3.1.7.  | <i>Temperatura de bulbo húmedo.</i> .....   | 13 |
| 2.3.1.8.  | <i>Flujo másico.</i> .....  | 13 |
| 2.3.1.9.  | <i>Caudal</i> .....   | 14 |
| 2.3.1.10. | <i>Calor sensible</i> .....   | 14 |
| 2.3.1.11. | <i>Calor latente</i> .....  | 14 |
| 2.3.2.1.  | <i>Razón de transferencia de calor</i> .....                                      | 15 |
| 2.3.2.2.  | <i>Mecanismos de transferencia de calor</i> .....                                 | 15 |
| 2.3.2.3.  | <i>Transferencia de calor por conducción.</i> .....                               | 15 |
| 2.3.2.4.  | <i>Transferencia de calor por convección.</i> .....                               | 16 |
| 2.3.2.5.  | <i>Transferencia de calor por radiación.</i> .....                                | 17 |
| 2.3.2.6.  | <i>Resistencia térmica.</i> .....   | 17 |
| 2.3.2.7.  | <i>Resistencia por conducción.</i> .....  | 18 |
| 2.3.2.8.  | <i>Resistencia por convección</i> .....   | 18 |
| 2.3.2.9.  | <i>Resistencia total</i> .....  | 19 |
| 2.3.2.10. | <i>Razón de transferencia de calor a partir de una resistencia térmica.</i> ..... | 19 |
| 2.3.2.11. | <i>Coefficiente convectivo.</i> .....   | 19 |
| 2.3.2.12. | <i>Coefficiente convectivo para convección natural</i> .....                      | 19 |
| 2.3.2.13. | <i>Coefficiente convectivo para convección forzada.</i> .....                     | 20 |
| 2.3.2.14. | <i>Conducción de calor en régimen transitorio</i> .....                           | 20 |
| 2.3.2.15. | <i>Transferencia de masa en medio convectivo.</i> .....                           | 21 |
| 2.3.2.16. | <i>Humedad contenida en alimentos</i> .....                                       | 23 |
| 2.3.2.17. | <i>Humedad en base sólida.</i> .....  | 23 |
| 2.3.2.18. | <i>Humedad en base húmeda.</i> .....  | 23 |

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| 2.3.2.19. | <i>Relación de equivalencia entre humedad en base sólida y húmeda.</i> | 24 |
| 2.4.      | <b>Diseño mecánico</b>   | 24 |
| 2.4.1.    | <i>Diseño de la cámara de secado.</i>                                  | 24 |
| 2.4.2.    | <i>Diseño de las bandejas</i>  | 25 |
| 2.4.3.    | <i>Análisis de carga en las bandejas</i>                               | 25 |
| 2.4.4.    | <i>Diseño del sistema de ventilación</i>                               | 26 |
| 2.4.4.1.  | <i>Tipos de ventiladores.</i>  | 26 |
| 2.4.4.2.  | <i>Ventiladores axiales</i>  | 27 |
| 2.4.4.3.  | <i>Ventiladores centrífugos.</i>                                       | 27 |
| 2.4.4.4.  | <i>Selección del ventilador.</i>                                       | 28 |
| 2.4.4.5.  | <i>Software SolidWorks.</i>  | 29 |
| 2.4.4.6.  | <i>Ensamblaje mediante software solid works.</i>                       | 29 |
| 2.4.4.7.  | <i>Análisis y cálculos mediante elementos finitos</i>                  | 29 |
| 2.4.4.8.  | <i>Procedimiento general para análisis mediante elementos finitos.</i> | 29 |
| 2.5.      | <b>Sistema de control y mando</b>                                      | 30 |
| 2.5.1.    | <i>Sensores.</i>   | 30 |
| 2.5.1.1.  | <i>Clasificación de sensores.</i>                                      | 31 |
| 2.5.1.2.  | <i>Sensores de temperatura.</i>  | 31 |
| 2.5.1.3.  | <i>Tipos de sensores de temperatura</i>                                | 31 |
| 2.5.1.4.  | <i>Termopares</i>  | 31 |
| 2.5.1.5.  | <i>Termocupla</i>  | 32 |
| 2.5.2.    | <b>Tablero de control</b>  | 32 |
| 2.5.2.1.  | <i>Sistemas automatizados</i>  | 33 |
| 2.5.2.2.  | <i>Principales objetivos de la automatización.</i>                     | 33 |
| 2.5.2.3.  | <i>Controlador tiempo temperatura</i>                                  | 33 |
| 2.5.2.4.  | <i>Electroválvula</i>  | 34 |
| 2.5.2.5.  | <i>Pulsadores y luz piloto</i>   | 34 |
| 2.5.2.6.  | <i>Selectores</i>  | 35 |
| 2.5.2.7.  | <i>Chispero</i>  | 35 |
| 2.5.2.8.  | <i>Sensor de llama</i>   | 36 |
| 2.6.      | <b>Elementos y materiales.</b>   | 36 |
| 2.6.1.    | <i>Descripción general de un acero inoxidable</i>                      | 36 |
| 2.6.1.1.  | <i>Propiedades y clasificación de aceros inoxidables.</i>              | 37 |
| 2.6.2.    | <b>Soldadura</b>   | 37 |
| 2.6.2.1.  | <i>Soldadura por proceso TIG.</i>                                      | 37 |
| 2.6.2.2.  | <i>Material de aporte</i>  | 38 |
| 2.6.3.    | <b>Fibra de vidrio</b>   | 39 |

|          |   |    |
|----------|---|----|
| 2.6.4.   | <i>Vidrio templado</i> .....  | 39 |
| 2.6.5.   | <i>Quemador</i> .....   | 40 |
| 2.6.6.   | <i>Tipos de quemadores</i> .....                                      | 40 |
| 2.6.6.1. | <i>Quemador radial</i> .....  | 40 |
| 2.6.6.2. | <i>Quemador de llama continua</i> .....                               | 41 |
| 2.6.6.3. | <i>Quemador con shiglores</i> .....                                   | 41 |
| 2.7.     | <b>Protocolo de pruebas</b> .....                                     | 42 |
| 2.7.1.   | <i>Muestreo de aceptación utilizando las tablas MIL STD 105</i> ..... | 42 |

### CAPÍTULO III

|          |   |    |
|----------|---|----|
| 3.       | <b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....   | 44 |
| 3.1.     | <b>Diseño de la deshidratadora de frutas</b> .....  | 44 |
| 3.1.1.   | <i>Diseño conceptual</i> .....  | 44 |
| 3.1.1.1. | <i>Matriz QFD</i> .....   | 44 |
| 3.1.1.2. | <i>Evaluación de la estructura funcional</i> .....  | 45 |
| 3.1.1.3. | <i>Características técnicas</i> .....   | 45 |
| 3.1.1.4. | <i>Casa de la calidad</i> .....   | 46 |
| 3.1.1.5. | <i>Matriz morfología de alternativas</i> .....  | 47 |
| 3.1.1.6. | <i>Método ordinal corregido de los criterios ponderados</i> .....                         | 48 |
| 3.1.1.7. | <i>Diseño preliminar</i> .....  | 51 |
| 3.1.1.8. | <i>Modelo 3D de la alternativa</i> .....  | 52 |
| 3.2.     | <b>Diseño térmico</b> .....   | 53 |
| 3.2.1.   | <i>Propiedades del aire para los cálculos</i> .....                                       | 53 |
| 3.2.2.   | <i>Cálculo de Flujos másicos y velocidades</i> .....                                      | 53 |
| 3.2.2.1. | <i>Cálculo del Flujo másico de vapor producido por las frutas</i> .....                   | 54 |
| 3.2.2.2. | <i>Cálculo del Flujo Másico de aire requerido para el proceso de deshidratación</i> ..... | 57 |
| 3.2.3.   | <i>Selección de ventilador</i> .....  | 58 |
| 3.2.4.   | <i>Dimensionamiento de la entrada de aire a las bandejas</i> .....                        | 59 |
| 3.2.5.   | <i>Calor Sensible</i> .....   | 60 |
| 3.2.6.   | <i>Calor latente</i> .....  | 64 |
| 3.2.7.   | <i>Cálculo del calor útil</i> .....   | 68 |
| 3.2.8.   | <i>Tiempo de Secado</i> .....   | 68 |
| 3.2.9.   | <i>Resistencia térmica</i> .....  | 69 |
| 3.2.9.1. | <i>Resistencia por conducción en las paredes R1, R3</i> .....                             | 69 |
| 3.2.9.2. | <i>Resistencia por conducción en el aislante R2</i> .....                                 | 70 |
| 3.2.9.3. | <i>Resistencias convectivas</i> .....   | 70 |

|          |   |    |
|----------|---|----|
| 3.2.9.4. | <i>Resistencia total</i> .....  | 74 |
| 3.2.10.  | <i>Razón de transferencia de calor por pérdidas</i> .....                             | 74 |
| 3.2.11.  | <i>Pérdidas de calor</i> .....  | 75 |
| 3.2.12.  | <i>Calor necesario para calentar el aire que circula en la cámara de secado</i> ..... | 77 |
| 3.2.13.  | <i>Calor necesario para todo el proceso de deshidratación</i> .....                   | 77 |
| 3.2.14.  | <i>Calor suministrado por el gas licuado de petróleo</i> .....                        | 78 |
| 3.2.15.  | <i>Validación del Análisis térmico en el software ANSYS</i> .....                     | 79 |
| 3.3.     | <b>Diseño mecánico</b> .....  | 83 |
| 3.3.1.   | <i>Altura de la cámara de secado</i> .....  | 83 |
| 3.3.2.   | <i>Geometría de las bandejas</i> .....  | 84 |
| 3.3.3.   | <i>Análisis de carga en las bandejas</i> .....  | 85 |
| 3.4.     | <b>Control y mandos</b> .....   | 89 |
| 3.4.1.   | <i>Control de temperatura</i> .....   | 89 |
| 3.4.2.   | <i>Control de tiempo</i> .....  | 89 |
| 3.4.3.   | <i>Funcionamiento de la electroválvula</i> .....                                      | 89 |
| 3.5.     | <b>Pruebas de funcionamiento</b> .....  | 90 |
| 3.5.1.   | <i>Preparación de la fruta</i> .....  | 90 |
| 3.5.2.   | <i>Preparación del deshidratador</i> .....  | 90 |
| 3.5.3.   | <i>Determinación del tamaño de muestreo para cada lote de fruta</i> .....             | 91 |

## CAPÍTULO IV

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| 4.       | <b>RESULTADOS</b> .....   | 93  |
| 4.1.     | <b>Pruebas de campo</b> .....   | 94  |
| 4.1.1.   | <i>Resultados de la deshidratación de la Piña</i> .....                 | 94  |
| 4.1.1.1. | <i>Resultados de la bandeja de Piña en la parte superior</i> .....      | 94  |
| 4.1.1.2. | <i>Resultados de la bandeja de Piña en la parte intermedia</i> .....    | 96  |
| 4.1.1.3. | <i>Resultados de la bandeja de Piña en la parte inferior</i> .....      | 97  |
| 4.1.1.4. | <i>Análisis de datos de la Piña</i> .....                               | 99  |
| 4.1.2.   | <i>Resultados de la deshidratación de la Naranja</i> .....              | 100 |
| 4.1.2.1. | <i>Resultados de la bandeja de Naranja en la parte superior</i> .....   | 100 |
| 4.1.2.2. | <i>Resultados de la bandeja de Naranja en la parte intermedia</i> ..... | 102 |
| 4.1.2.3. | <i>Resultados de la bandeja de Naranja en la parte inferior</i> .....   | 103 |
| 4.1.2.4. | <i>Análisis de datos de la Naranja</i> .....                            | 105 |
| 4.1.2.5. | <i>Resultados de la bandeja de Limón en la parte superior</i> .....     | 106 |
| 4.1.2.6. | <i>Resultados de la bandeja de Limón en la parte intermedia</i> .....   | 108 |
| 4.1.2.7. | <i>Resultados de la bandeja de Limón en la parte inferior</i> .....     | 109 |

|                 |                                     |     |
|-----------------|-------------------------------------|-----|
| <b>4.1.2.8.</b> | <i>Análisis de datos del Limón.</i> | 111 |
|-----------------|-------------------------------------|-----|

## **CAPÍTULO V**

|             |                                       |     |
|-------------|---------------------------------------|-----|
| <b>5.</b>   | <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> | 113 |
| <b>5.1.</b> | <b>Conclusiones</b>                   | 113 |
| <b>5.2.</b> | <b>Recomendaciones</b>                | 114 |

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

|                    |   |     |
|--------------------|---|-----|
| <b>Tabla 3-1:</b>  | Voz del usuario vs voz del ingeniero. ....                                      | 46  |
| <b>Tabla 3-2:</b>  | Matriz morfológica. ....  | 47  |
| <b>Tabla 3-3:</b>  | Evaluación del peso específico para todos los criterios.....                    | 49  |
| <b>Tabla 3-4:</b>  | Evaluación del criterio Costo. ....   | 49  |
| <b>Tabla 3-5:</b>  | Evaluación del criterio Dimensiones.....  | 50  |
| <b>Tabla 3-6:</b>  | Evaluación del criterio capacidad. ....   | 50  |
| <b>Tabla 3-7:</b>  | Evaluación del criterio Mantenimiento. ....                                     | 50  |
| <b>Tabla 3-8:</b>  | Evaluación del criterio Operación.....  | 51  |
| <b>Tabla 3-9:</b>  | Resultado de prioridad de alternativas. ....                                    | 51  |
| <b>Tabla 3-10:</b> | Partes principales del diseño preliminar.....                                   | 52  |
| <b>Tabla 3-11:</b> | Flujos máxicos de vapor total.....  | 57  |
| <b>Tabla 3-12:</b> | Coeficientes convectivos. ....  | 61  |
| <b>Tabla 3-13:</b> | Tiempos adimensionales. ....  | 62  |
| <b>Tabla 3-14:</b> | Tiempos del calor sensible.....   | 63  |
| <b>Tabla 3-15:</b> | Razon de tranferencia de calor sensible total.....                              | 64  |
| <b>Tabla 3-16:</b> | Tiempos de deshidratación.....  | 67  |
| <b>Tabla 3-17:</b> | Razon de tranferencia de calor total. ....                                      | 67  |
| <b>Tabla 3-18:</b> | Calor útil.....   | 68  |
| <b>Tabla 3-19:</b> | Tiempo total de secado. ....  | 68  |
| <b>Tabla 3-20:</b> | Iteración de temperatura la T1. ....  | 75  |
| <b>Tabla 3-21:</b> | Iteración de la temperatura T4. ....  | 75  |
| <b>Tabla 3-22:</b> | Resultado de las iteraciones. ....  | 76  |
| <b>Tabla 3-23:</b> | Razon de tranferencia de calor total. ....                                      | 76  |
| <b>Tabla 3-24:</b> | Razon de tranferencia de calor total en el tiempo de secado.....                | 78  |
| <b>Tabla 3-25:</b> | Datos de tiempo y temperatura. ....   | 91  |
| <b>Tabla 3-26:</b> | Determinación del tamaño de la muestra. ....                                    | 91  |
| <b>Tabla 4-1:</b>  | Resultados de deshidratación de la Piña en la parte superior de la cámara.....  | 94  |
| <b>Tabla 4-2:</b>  | Porcentajes de error prueba de deshidratación de Piña de la bandeja superior. . | 95  |
| <b>Tabla 4-3:</b>  | Resultados de deshidratación de la Piña en la parte intermedia de la cámara...  | 96  |
| <b>Tabla 4-4:</b>  | Porcentajes de error prueba de deshidratación Piña de la bandeja intermedia...  | 97  |
| <b>Tabla 4-5:</b>  | Resultados de deshidratación de la Piña en la parte inferior de la cámara.....  | 97  |
| <b>Tabla 4-6:</b>  | Porcentajes de error prueba de deshidratación de Piña de la bandeja inferior. . | 99  |
| <b>Tabla 4-7:</b>  | Resultado de deshidratación de la Naranja en la parte superior. ....            | 100 |

|                    |  |     |
|--------------------|--|-----|
| <b>Tabla 4-8:</b>  | Porcentajes de error prueba de deshidratación de la Naranja en la bandeja superior.....    | 102 |
| <b>Tabla 4-9:</b>  | Resultado de deshidratación de la naranja en la parte intermedia .....                     | 102 |
| <b>Tabla 4-10:</b> | Porcentajes de error prueba de deshidratación de la Naranja en la bandeja intermedia. .... | 103 |
| <b>Tabla 4-11:</b> | Resultado de deshidratación de la Naranja en la parte inferior .....                       | 103 |
| <b>Tabla 4-12:</b> | Porcentajes de error prueba de deshidratación Naranja en la bandeja inferior               | 105 |
| <b>Tabla 4-13:</b> | Resultado de deshidratación del Limón en la parte superior. ....                           | 106 |
| <b>Tabla 4-14:</b> | Porcentajes de error prueba de deshidratación del Limón bandeja superior....               | 108 |
| <b>Tabla 4-15:</b> | Resultado de deshidratación del Limón en la parte intermedia. ....                         | 108 |
| <b>Tabla 4-16:</b> | Porcentajes de error prueba de deshidratación del Limón en la bandeja intermedia. ....     | 109 |
| <b>Tabla 4-17:</b> | Resultado de deshidratación del Limón en la parte inferior. ....                           | 109 |
| <b>Tabla 4-18:</b> | Porcentajes de error prueba de deshidratación del Limón en bandeja inferior.               | 111 |

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

|                          |  |    |
|--------------------------|--|----|
| <b>Ilustración 2-1:</b>  | Esquema general QFD.....                             | 7  |
| <b>Ilustración 2-2:</b>  | Esquema diseño conceptual.....                       | 9  |
| <b>Ilustración 2-3:</b>  | Elementos básicos del diseño de materialización..... | 10 |
| <b>Ilustración 2-4:</b>  | Algoritmo de diseño.....                             | 11 |
| <b>Ilustración 2-5:</b>  | Conducción de calor a través de una pared.....       | 15 |
| <b>Ilustración 2-6:</b>  | Convección natural y forzada.....                    | 16 |
| <b>Ilustración 2-7:</b>  | Radiación entre superficies.....                     | 17 |
| <b>Ilustración 2-8:</b>  | Resistencias térmicas de pared.....                  | 18 |
| <b>Ilustración 2-9:</b>  | Cargas en la bandeja.....                            | 26 |
| <b>Ilustración 2-10:</b> | Tipos de ventiladores axiales.....                   | 27 |
| <b>Ilustración 2-11:</b> | Tipos de ventiladores centrífugos.....               | 28 |
| <b>Ilustración 2-12:</b> | Sensores de temperatura tipo termopar.....           | 31 |
| <b>Ilustración 2-13:</b> | Sensores tipo termocupla.....                        | 32 |
| <b>Ilustración 2-14:</b> | Tablero de control.....                              | 32 |
| <b>Ilustración 2-15:</b> | Controlador Tiempo – Temperatura.....                | 33 |
| <b>Ilustración 2-16:</b> | Electroválvula.....                                  | 34 |
| <b>Ilustración 2-17:</b> | Pulsador de puesta en marcha.....                    | 34 |
| <b>Ilustración 2-18:</b> | Selector.....  | 35 |
| <b>Ilustración 2-19:</b> | Chispero industrial.....                             | 35 |
| <b>Ilustración 2-20:</b> | Sensor de llama.....                                 | 36 |
| <b>Ilustración 2-21:</b> | Elementos que intervienen en el proceso TIG.....     | 38 |
| <b>Ilustración 2-22:</b> | Proceso de soldadura TIG.....                        | 38 |
| <b>Ilustración 2-23:</b> | Fibras de vidrio.....                                | 39 |
| <b>Ilustración 2-24:</b> | Vidrio templado.....                                 | 39 |
| <b>Ilustración 2-25:</b> | Quemador radial.....                                 | 40 |
| <b>Ilustración 2-26:</b> | Quemador tipo flauta.....                            | 41 |
| <b>Ilustración 2-27:</b> | Quemador con shiglores.....                          | 42 |
| <b>Ilustración 2-28:</b> | Código para el tamaño de muestra.....                | 43 |
| <b>Ilustración 2-29:</b> | Muestreo simple.....                                 | 43 |
| <b>Ilustración 3-1:</b>  | Diagrama de la metodología.....                      | 44 |
| <b>Ilustración 3-2:</b>  | Análisis funcional Nivel 0.....                      | 45 |
| <b>Ilustración 3-3:</b>  | Análisis funcional Nivel 1.....                      | 45 |
| <b>Ilustración 3-4:</b>  | Casa de la calidad.....                              | 46 |
| <b>Ilustración 3-5:</b>  | Diseño preliminar.....                               | 52 |



|                          |  |     |
|--------------------------|--|-----|
| <b>Ilustración 3-6:</b>  | Geometría para el análisis ANSYS.....  | 79  |
| <b>Ilustración 3-7:</b>  | Definición del material lana de vidrio.....  | 79  |
| <b>Ilustración 3-8:</b>  | Definición del material acero inoxidable. ....   | 80  |
| <b>Ilustración 3-9:</b>  | Definición de la calidad de mallado. ....  | 80  |
| <b>Ilustración 3-10:</b> | Definición de la calidad de mallado. ....  | 80  |
| <b>Ilustración 3-11:</b> | Mallado de la cámara de secado. ....   | 81  |
| <b>Ilustración 3-12:</b> | Definición del elemento principal de calor. ....                                       | 81  |
| <b>Ilustración 3-13:</b> | Verificación de temperaturas en las paredes. ....                                      | 82  |
| <b>Ilustración 3-14:</b> | Temperaturas en las paredes exteriores.....  | 82  |
| <b>Ilustración 3-15:</b> | Temperaturas en las paredes interiores. ....   | 83  |
| <b>Ilustración 3-16:</b> | Diseño de la bandeja.....  | 85  |
| <b>Ilustración 3-17:</b> | Distribución de las bandejas. ....   | 87  |
| <b>Ilustración 3-18:</b> | Asignación de cargas y apoyos. ....  | 87  |
| <b>Ilustración 3-19:</b> | Análisis de reacciones en los apoyos. ....   | 88  |
| <b>Ilustración 3-20:</b> | Determinación de deformación.....  | 88  |
| <b>Ilustración 4-1:</b>  | Gráfica de curva deshidratado Humedad vs Tiempo experimental de Piña. ....             | 95  |
| <b>Ilustración 4-2:</b>  | Gráfica de curva de deshidratado Masa vs Tiempo experimental de Piña....               | 95  |
| <b>Ilustración 4-3:</b>  | Gráfica de la curva de deshidratado Humedad vs Tiempo experimental de la Piña.....     | 96  |
| <b>Ilustración 4-4:</b>  | Gráfica de la curva de deshidratado Masa vs Tiempo experimental de Piña.....           | 97  |
| <b>Ilustración 4-5:</b>  | Gráfica de la curva de deshidratado Humedad vs Tiempo experimental de la Piña.....     | 98  |
| <b>Ilustración 4-6:</b>  | Gráfica de la curva de deshidratado Masa vs Tiempo de la Piña. ....                    | 98  |
| <b>Ilustración 4-7:</b>  | Grafica de comparación Humedad vs Tiempo de las tres bandejas de muestra de Piña. .... | 99  |
| <b>Ilustración 4-8:</b>  | Gráfica comparación Masa vs Tiempo de tres bandejas de muestra Piña. ....              | 100 |
| <b>Ilustración 4-9:</b>  | Grafica de la curva de deshidratado Humedad vs Tiempo experimental de la Naranja. .... | 101 |
| <b>Ilustración 4-10:</b> | Grafica de la curva de deshidratado Masa vs Tiempo experimental de la Naranja. ....    | 101 |
| <b>Ilustración 4-11:</b> | Gráfica de la curva de deshidratado Humedad vs Tiempo experimental de la Naranja. .... | 102 |
| <b>Ilustración 4-12:</b> | Gráfica de la curva de deshidratado Masa vs Tiempo experimental de la Naranja. ....    | 103 |
| <b>Ilustración 4-13:</b> | Gráfica de la curva de deshidratado Humedad vs Tiempo experimental de la Naranja. .... | 104 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Ilustración 4-14:</b> Gráfica de la curva de deshidratado Masa vs Tiempo experimental de la Naranja. ....       | 104 |
| <b>Ilustración 4-15:</b> Gráfica de comparación Humedad vs Tiempo de las tres bandejas de muestra de Naranja. .... | 105 |
| <b>Ilustración 4-16:</b> Gráfica de comparación Masa vs Tiempo de las tres bandejas de muestra de Naranja. ....    | 106 |
| <b>Ilustración 4-17:</b> Gráfica de la curva de deshidratado Humedad vs Tiempo experimental del Limón. ....        | 107 |
| <b>Ilustración 4-18:</b> Gráfica de curva de deshidratado Masa vs Tiempo experimental Limón...107                  |     |
| <b>Ilustración 4-19:</b> Gráfica de la curva de deshidratado Humedad vs Tiempo experimental del Limón. ....        | 108 |
| <b>Ilustración 4-20:</b> Gráfica de curva de deshidratado Masa vs Tiempo experimental Limón...109                  |     |
| <b>Ilustración 4-21:</b> Gráfica de la curva de deshidratado Humedad vs Tiempo experimental del Limón. ....        | 110 |
| <b>Ilustración 4-22:</b> Gráfica de curva de deshidratado Masa vs Tiempo experimental Limón...110                  |     |
| <b>Ilustración 4-23:</b> Gráfica de comparación Humedad vs Tiempo de tres muestras de Limón.111                    |     |
| <b>Ilustración 4-24:</b> Gráfica de comparación Masa vs Tiempo de tres muestras de Limón. ....                     | 112 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** PLANCHA DE ACERO INOXIDABLE AISI 304 (DIPAC).
- ANEXO B:** PLANCHA DE ACERO INOXIDABLE AISI 430 (DIPAC).
- ANEXO C:** MALLA ACERO INOXIDABLE (ACERIMALLAS).
- ANEXO D:** DIAGRAMA DE CONEXIÓN AL CONTROLADOR (INOVA).
- ANEXO E:** DATOS DE LA ELECTROVÁLVULA.
- ANEXO F:** PROPIEDADES DE LOS ALIMENTOS.

## RESUMEN

Cuando un cultivo está en auge, para los productores a menudo resulta difícil comercializarlo directamente y por ende conservarlo durante largos periodos de tiempo. La falta de métodos de conservación impide que los productos se conserven. Por lo tanto el objetivo del trabajo fue diseñar y construir una deshidratadora para frutas cítricas con funcionamiento semiautomático y alimentado con gas licuado de petróleo. Para ello se utilizó la metodología QFD y la matriz morfológica para el prediseño, entre ellos el tipo de controlador y la magnitud de la cámara de deshidratado, el sistema consta de un diseño térmico y mecánico en donde se consigue la capacidad y temperaturas de funcionamiento óptimos, además se realizó la construcción con materiales de acero de característica inoxidable AISI 304 y AISI 430, finalmente se realizó las pruebas del muestreo de aceptación MIL STD 105E, el mismo que se basa en la obtención de datos para comprobar si el resultado corresponde a la aceptación del diseño o no. Siguiendo las normativas tanto nacionales como la NTE INEN 2996 e internacionales como SENASA, CORPOICA, estableciendo un porcentaje de humedad mínima a conseguir mediante las pruebas de funcionamiento. Obteniendo como resultado un porcentaje de humedad del 10%, para todas las frutas ensayadas y comparadas con el tiempo estimado dentro de la cámara de secado, gracias al controlador tiempo-temperatura y la ayuda de una electroválvula se pudo manipular estas variables que son las más importantes dentro de la investigación. Concluyendo que se realizó la construcción de la máquina deshidratadora siguiendo los parámetros calculados en las etapas previas, luego se ejecutó las pruebas de funcionamiento aplicando el muestreo de aceptación MIL ST 105 para los lotes de fruta, la cual establece el tamaño de la muestra, con lo cual se pudo comprobar la calidad del producto.

**Palabras clave:** <DESHIDRATADORA PARA FRUTAS CÍTRICAS> <FUNCIONAMIENTO SEMIAUTOMÁTICO> <DISEÑO TÉRMICO> <GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP)> <ELECTROVÁLVULA>.

0122-DBRA-UPT-2024



## SUMMARY

When a crop is booming, it is often difficult for producers to market it directly and preserve it for long periods. The lack of preservation methods prevents products from being preserved. Therefore, the objective of the work was to design and build a dehydrator for citrus fruits with semi-automatic operation and powered by liquefied petroleum gas. For this, the QFD methodology and the morphological matrix were used for the pre-design, including the types of controllers and the magnitude of the dehydration chamber, the system consists of a thermal and mechanical design where the optimal capacity and operating temperatures are achieved. In addition, the construction was carried out with AISI 304 and AISI 430 stainless steel materials. Finally, the MIL-STD 105E acceptance sampling tests were carried out, which are based on obtaining data to check if the result corresponds to the acceptance of the design or not following both national regulations such as NTE INEN 2996 and international regulations such as SENASA, CORPOICA, establishing a minimum humidity percentage to be achieved through performance tests. Obtaining, as a result, a humidity percentage of 10%, for all the fruits tested and compared with the estimated time inside the drying chamber, thanks to the time-temperature controller and the help of a solenoid valve, it was possible to manipulate these variables, which are the most important in the investigation. Concluding that the construction of the dehydrating machine was carried out following the parameters calculated in the previous stages, then the performance tests were carried out applying the MIL ST 105 acceptance sampling for the fruit lots, which established the sample size, with which I can check the quality of the product.

**Keywords:** <DEHYDRATION MACHINE FOR CITRUS FRUITS> <SEMIAUTOMATIC OPERATION> < THERMAL DESIGN > <LIQUEFIED PETROLEUM GAS (LPG)> <ELECTROVALVE>.

  
Lic. Luis Francisco Mantilla Cabrera Mgs.

C. I: 0603747809

## **INTRODUCCIÓN**

En el Ecuador existe una amplia variedad de productos agrícolas, así como un sinnúmero de frutas todas estas se pueden llevar al proceso de deshidratación, o llamado de otra manera el secado, para los sectores rurales se presenta como una necesidad, puesto que se debe almacenar de alguna manera luego de cosechar cualquier producto agrícola, de lo contrario se descompondrían. Esta alternativa que se plantea evita pérdidas y otorga a los productos un valor agregado, de esta manera el productor lo conserva de forma fresca para el consumo propio o para la venta y comercialización.

Y es por ello que para el presente trabajo mediante el avance de la tecnología conjunto con la investigación se diseña y construye un equipo deshidratador para frutas cítricas, que además cuente con un funcionamiento semiautomático y su fuente de alimentación sea gas licuado de petróleo o GLP. Esto se lo realiza siguiendo las normativas tanto nacionales como la NTE INEN 2996 e internacionales como SENASA, CORPOICA.

Es muy importante recalcar también los materiales utilizados para el proyecto que la deshidratadora fue construida con materiales de acero de característica inoxidable AISI 304 y AISI 430 estos se encuentran dentro del mercado nacional y son los más comercializados.

Y por último luego de la construcción de la máquina para comprobar su buen uso se realizó las respectivas pruebas donde se basó en el muestreo de aceptación MIL STD 105E, el mismo que se basa en la obtención de datos para comprobar si el resultado corresponde a la aceptación del diseño o no. Y para una mejor comprensión del trabajo se puede observar que este se desplegó con la realización de 5 capítulos en cada capítulo con su respectivo desenvolvimiento y trabajo.

# CAPÍTULO I

## 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

### 1.1. Antecedentes

Históricamente el proceso de deshidratación tiene su primer registro en la edad del hierro en el Norte de Europa, en el cual se construyeron los primeros equipos de secado para trigo recién cosechado, por otro lado durante la época de la revolución industrial Diderot en 1751, describiría varios procesos de secado de alimentos, esto se llevaría a cabo en Francia, sin embargo no fue sino hasta 1795, año en donde se inventó el cuarto de deshidratación de agua caliente a temperaturas de 105°F sobre finas tajadas de hortalizas. (De Michelis, y Ohaco. s/f)

En el Ecuador existe una amplia variedad de productos agrícolas, así como un sinnúmero de frutas todas estas se pueden llevar al proceso de deshidratación, o llamado de otra manera el secado, para los sectores rurales se presenta como una necesidad, puesto que se debe almacenar de alguna manera luego de cosechar cualquier producto agrícola, de lo contrario se descompondrían. Esta alternativa que se plantea evita pérdidas y otorga a los productos un valor agregado, de esta manera el productor lo conserva de forma fresca para el consumo propio o para la venta y comercialización. (Kerkhoff, y otros, 2012).

Actualmente la mayor parte del proceso de secado o deshidratado se lo realiza con métodos empíricos, el más común es la exposición directa al sol, este método consiste en colocar la fruta en bandejas al aire libre, de esta forma la fruta o productos quedan a disposición directa de microorganismos, animales y una serie de contaminantes, además este proceso requiere de mucho tiempo y dependerá de las condiciones climáticas de la zona en donde se encuentren para llevar a cabo el proceso completo de secado. Este problema se soluciona con el uso de equipos que aceleren el proceso y cuenten con las condiciones necesarias para que el producto no pierda principalmente sus características nutritivas, no se contaminen y otorgue un aspecto físico, color y sabor agradables. (Mariño y Chico, 2012).

La calidad de los productos en general tiene un papel fundamental en la industria alimenticia, esto hace que los productores puedan competir en el mercado local e internacional, logrando certificaciones que puedan asegurar la calidad de un producto, por consiguiente, obtendrán clientes potenciales. Es necesario conocer los comportamientos termodinámicos de las frutas en el proceso de deshidratación así de esta manera podemos garantizar una deshidratación idónea, y llegar a obtener el control de calidad de los productos a tratarse. (Guamán, 2021).

El bajo contenido de agua evita que en los productos se proliferen las bacterias, estas contribuyen a la descomposición, la deshidratación de productos ayuda a la conservación de estos, durante la historia los sectores agrícolas han buscado técnicas de preservación de alimentos evitando el uso de químicos o aditivos que alteren las propiedades nutritivas y otras técnicas que incluyan menor consumo de energías y representen un ahorro en sus procesos de cosecha. (Bueno y Paredes, 2017).

## **1.2. Formulación del problema**

Cuando un cultivo está en auge, para los productores a menudo resulta difícil comercializarlo directamente y por ende conservarlo durante largos periodos de tiempo. La falta de métodos de conservación impide que los productos se conserven, puesto que los productos se echan a perder o se dañan en cortos periodos, provocando pérdidas a los pequeños productores, por eso la importancia de incorporar tecnologías y nuevas alternativas que ayuden a conservar los productos y darles un valor agregado.

En cuanto se refiera a la fabricación y disponibilidad de equipos para realizar procesos de deshidratación en nuestro país, la industria metalmecánica del Ecuador ofrece una variedad de equipos importados y otros equipos modificados, como es el caso de hornos panificadores, estos son alterados por otras empresas para que cumplan la función de deshidratar productos, algunos de estos equipos no están adaptados a las necesidades de los clientes, y la capacidad de estos equipos no es muy grande, son distribuidos como línea blanca, otros productores optan por realizar métodos tradicionales de deshidratación como es el caso del deshidratador solar, exponiendo al producto directamente a contaminantes e insectos. Otro punto de vista de esta problemática es el alto costo que representa modificar otro equipo.

## **1.3. Justificación**

Una solución a los problemas derivados de la conservación de productos en el sector agrícola es la deshidratación. Este proceso agrega valor a diversos productos y contribuya a la competitividad en el mercado local tanto a nivel nacional como internacional. Proponemos una alternativa para la conservación de productos en este caso frutas, esto permitirá a los productores sacar más provecho de sus cultivos en el campo y mejorar su economía, al mismo tiempo facilitará el transporte y almacenamiento. Optimizará la conservación de frutas y, sobre todo tratar de mantener sus nutrientes, sabor y aroma. La deshidratación es una de las muchas soluciones que se utilizan para desarrollar el sector agrícola del país, además se puede aplicar no solo a frutas, sino también diversos productos como: hortalizas, una variedad de plantas y semillas, lo que da lugar a nuevos métodos de comercialización de productos.



## **1.4. Alcance**

El alcance de este proyecto es diseñar y construir equipo deshidratador con un control semi automático de temperatura y tiempo que sea capaz de deshidratar frutas cítricas, con una capacidad de 20 bandejas de dimensiones: 470 X 500 mm, que trabajara en un rango de temperaturas de alrededor de 50 a 60 grados centígrados de temperatura interna durante su periodo de funcionamiento y controlado por sensores de temperatura.

El producto por secar consiste en finas rodajas de piña, naranja y limón, cortadas de forma manual. Se eligieron estas frutas porque son una de las frutas más comúnmente comercializadas y se venden en los mercados locales durante todo el año. Se debe seguir las recomendaciones de tiempo y temperatura de secados específicos para cada fruta.

Los materiales utilizados para la construcción son aquellos que están disponibles comercialmente y serán seleccionados de acuerdo con la aplicación. Se utilizará el acero inoxidable de grado alimenticio AISI 304 para la construcción de las bandejas, acero inoxidable AISI 430 para el acabado y paredes laterales, para el control térmico se realizará mediante sensores y un dispositivo de control tiempo – temperatura.

## **1.5. Objetivos**

### ***1.5.1. Objetivo general***

Diseñar y construir de una deshidratadora para frutas cítricas con funcionamiento semiautomático y alimentado con gas licuado de petróleo.

### ***1.5.2. Objetivos específicos***

- Desarrollar el diseño conceptual de máquinas deshidratadoras para realizar el análisis QFD.
- Realizar el diseño térmico del deshidratador mediante el análisis de la transferencia de calor.
- Diseñar los elementos mecánicos de la deshidratadora y modelarlos mediante el software SolidWorks.
- Seleccionar los elementos que conforman el sistema de control y mando de la máquina deshidratadora.
- Construir y realizar el protocolo de pruebas para comprobar la deshidratación de las frutas especificadas a través de la comparación de las masas.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO REFERENCIAL

#### 2.1. Marco conceptual

##### 2.1.1. *Diseño y construcción*

El diseño generalmente se define como una actividad emocionante y también compleja dentro de la ingeniería, que comienza con una necesidad o un problema que debe resolverse de alguna u otra manera, por ello se convierte en un proceso de creación y desarrollo de productos o máquinas. Utilizar los múltiples recursos que están a nuestro alcance, y la necesidad es un factor impalpable que debe adaptarse y modificarse acorde a las limitaciones de comportamiento y tamaño. (Riba, 2002).

##### 2.1.2. *Sistema automatizado*

Este proceso consiste en reemplazar aquellas tareas que se realizan de forma manual, por automatismos que pueden ser: controladores, máquinas automáticas, robots o cualquier otro tipo de autómatas, con la ayuda y el uso de sensores, cilindros u otros elementos, se personificara la actividad a realizarse de acuerdo con la necesidad, para nuestro caso se necesitará que exista un control automático de temperaturas y tiempo, para lograr eficiencia en nuestro equipo de secado. (Edison, y otros, 2013).

##### 2.1.3. *Deshidratación*

La deshidratación consiste en suprimir el contenido de agua de un sólido, esta puede ser total o parcial, se utiliza el término deshidratación cuando se consigue la pérdida de agua con la ayuda de sistemas mecánicos o naturales. Se encuentran varios tipos de eliminación de agua estos pueden ser: térmica, mecánica o biológica, las cuales tiene sus inconvenientes para lograr llegar al objetivo del secado. (Castells, 2012).

El modelo que ampara el secado de cierto producto depende de la estructura y también de los parámetros, mismos que se detallan a continuación: contenido de humedad, proporción de producto, temperatura, transferencia de calor y masa. Es vital considerar que la deshidratación propicia en algunas ocasiones reacciones que afectan las cualidades del producto como son: valor nutricional, sabor, color, olor y textura. (Orrego, 2003).

Según (Michelis y Ohaco, s/f) este modo de conservación de frutas presenta varias ventajas, entre las que tenemos:

- Mantiene las propiedades nutricionales, es mejor cuando la temperatura de deshidratación es menor.
- Prolonga la vida útil de los productos, siempre y cuando el producto sea deshidratado a una humedad final idónea.
- Reduce los espacios de almacenaje, transporte y manipulación.
- Proceso es ideal para poblaciones de bajos recursos y tiene mediano costo de inversión en comparación a un nivel industrial.
- Se puede preservar la demasía de las cosechas.
- Conservación de productos totalmente deshidratados, pueden guardarse durante meses o años.

Pero al igual como presenta ventajas también presenta sus contras como:

- Nivel de calidad relativamente menor en cuanto al aroma, nutrientes, texturas entre otros.
- Incluye precios elevados si se requiere a nivel industrial.

#### **2.1.4. Frutas cítricas**

Las frutas son productos vegetales comestibles que son el resultado de la fructificación de las plantas, existe una gran variedad de frutas, pero entre ellas nos centraremos en los cítricos pertenecientes al género Citrus, los más comúnmente cultivados son: naranjas, limas, limones, pomelos, mandarinas, piñas, entre otras. La demanda de estos cítricos está aumentando a nivel mundial, ya sea para su consumo en fresco o como productos procesados. La costa ecuatoriana posee un enorme potencial para producir cítricos, tanto para el consumo local como para la exportación gracias a las condiciones del clima y suelo, favoreciendo de esta manera al desarrollo fructífero del país. (Molina, Montesdeoca, 2014).

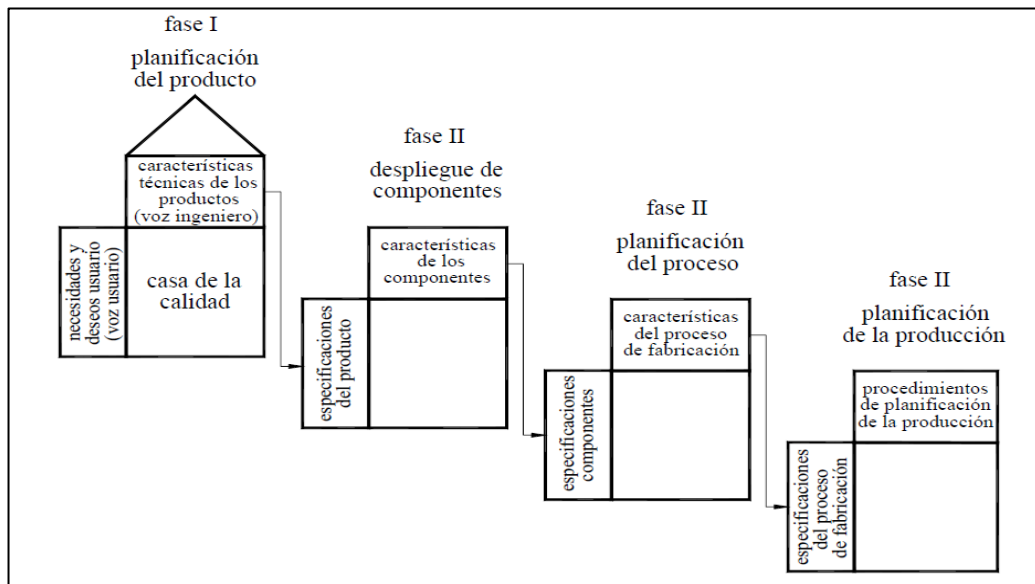
## **2.2. Marco teórico**

### **2.2.1. Despliegue de la función de la calidad**

El QFD son las siglas que provienen del inglés Quality Fuction Deploymet que traducidas al español significan Despliegue de la Función de la Calidad, esta traducción también proviene de tres ideogramas japones (HIN SHITSU= Calidad, características, atributos, cualidades), (KI NOU= Función, mecanización, sistemática), (TEN KAI= Despliegue, difusión, desarrollo, evolución), estos ideogramas dan la idea principal, además es una herramienta de planificación

que se desarrolla un sistema para transmitir la características que debe tener los productos durante el proceso. (Gonzales, 2014).

(Riva, 2002), en su investigación afirma que el QFD es una metodología simple que involucra a varias matrices, las mismas que nos permiten determinar las necesidades de un cliente, analizar a las posibles competencias y descubrir caminos dentro del mercado que aún no han sido explotados. Dicha metodología se divide etapas las cuales se detallan a continuación: en la ilustración 2-1.



**Ilustración 2-1:** Esquema general QFD.

Fuente: (Riva, 2002).

### 2.2.2. Fase I: Planificación del producto

La casa de la calidad es la primera matriz orientada a conocer a los usuarios (voz del cliente) y escuchar las expectativas y demandas que tienen sobre el producto final. Dichas demandas se traducen en requerimientos técnicos del producto, también se conocen las oportunidades de competencia y se obtienen requerimientos para futuras investigaciones. Dentro de esta matriz que es la más frecuente se aprecian diferentes pasos detallados a continuación:

#### 2.2.2.1. Voz del cliente

Se toman en cuenta los requerimientos del cliente, su finalidad es escuchar y estimar las expectativas referentes al producto, este es el punto de partida del QFD, además se pueden clasificar estas demandas en tres que son: básicas, unidimensionales y estimulantes.

#### *2.2.2.2. Análisis de competitividad*

Analiza el grado de satisfacción de cada demanda del producto de competencia esto es realizado por parte de los usuarios donde la importante es determinar el grado de cumplimiento de las demandas tanto de la competencia y de los que se espera del producto, generalmente los indicadores se evalúan del 1 al 5.

#### *2.2.2.3. Voz del ingeniero.*

Podemos traducir las demandas del cliente en requerimientos técnicos para cumplir con cualquier requerimiento en su totalidad. Las características técnicas se generan por cada requerimiento.

#### *2.2.2.4. Correlaciones.*

Mide el grado de cumplimiento de la demanda con la característica técnica elegida, es decir se relaciona los requerimientos del cliente con las especificaciones técnicas. Generalmente se establecen cuatro niveles de relación: fuerte, mediana, débil y si no hay relación no se especifica nada o se deja en blanco.

#### *2.2.2.5. Comparación técnica.*

Compara nuestro producto con la competencia, y consiste en evaluar la incidencia de cada una de las características técnicas y se determina la importancia de cada especificación, el cual toma en cuenta la incidencia de la característica técnica y su valor de ponderación.

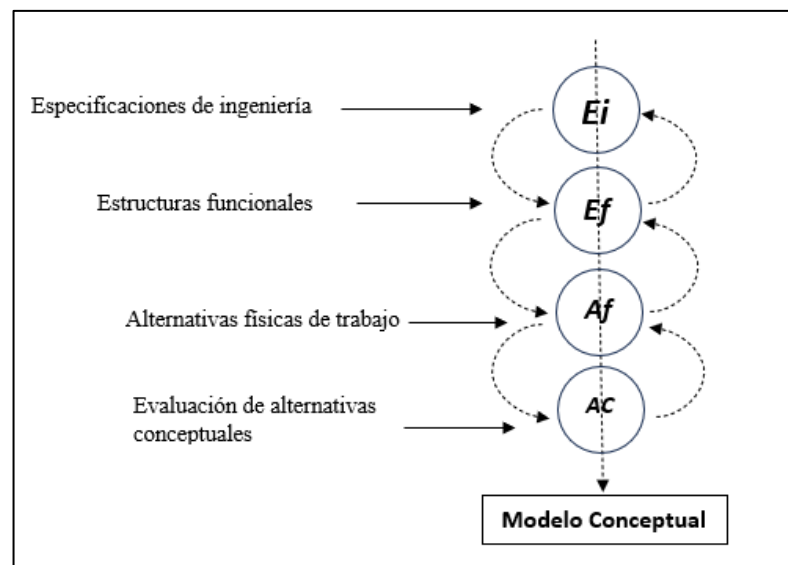
#### *2.2.2.6. Compromisos técnicos*

Determina los compromisos potenciales entre las especificaciones técnicas, se pueden dar tres casos de interrelación: correlación positiva en donde al mejorar una característica la otra también mejora, correlación negativa donde al mejorar una característica técnica la otra empeora y sin correlación es decir no existe influencia entre las dos características técnicas.

### ***2.2.3. Fase II: Diseño conceptual***

Dentro de esta etapa se lleva a cabo el análisis conceptual el mismo que estará basado en la estructura funcional del equipo, esto gracias a que ya se ha definido las características técnicas que requiere el producto. Una vez que se ha realizado el análisis funcional se procede a definir

módulos, los cuales nos permite generar posibles soluciones y finalmente evaluar y seleccionar las mejores alternativas. (Guerrero, y otros, 2014).



**Ilustración 2-2:** Esquema diseño conceptual

**Fuente:** (Guerrero, y otros, 2014).

**Realizado por:** López D.; Toscano C. 2023.

### 2.2.3.1. Estructura funcional

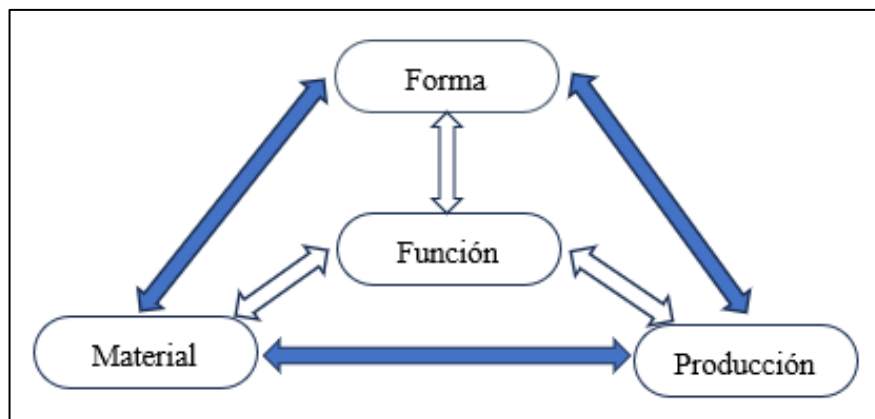
Según (Báez, García, 2009). Este concepto se utiliza para describir la transformación entre flujos de entrada y salida, es una formulación abstracta de una tarea que también es independiente de la solución particular que se materializara. Existen niveles donde se pueden aplicar, el primer nivel representara a la función global de la tarea que se pretende resolver con el producto diseñado.

### 2.2.3.2. Matriz morfológica

La matriz morfológica ayuda a comprender la variación de los conceptos establecidos con anterioridad, además la morfología se define como el estudio de la forma y sus posibles transformaciones, la matriz morfológica permite la búsqueda de nuevos conceptos de diseño, también se puede establecer una conexión entre la creatividad, esto es un plus potencial porque con pocos elementos se puede llegar a lograr un gran número de alternativas diferentes. También se debe tomar en cuenta que con frecuencia los consumidores prefieren productos mejorados en lugar de los productos desconocidos. (Báez, García, 2009).

#### 2.2.4. Fase III: Diseño de materialización

En esta etapa se determina la composición general de diseño layout del producto, esto permite crear una descripción global de los materiales, formas, dimensiones y procesos de fabricación, estos factores influyen en las decisiones de diseño y están estrechamente relacionadas entre sí. El diseño de máquinas es el resultado de esta etapa hoy en día contiene modelos 3D de conjunto o esquema de configuración, lista de subconjuntos, piezas y componentes y convenientemente una memoria con los aspectos más relevantes del proceso, criterios de decisión, soluciones descartadas y razones, resultados de las simulaciones, ensayos, prototipos, entre otras. (Blanco, 2018).



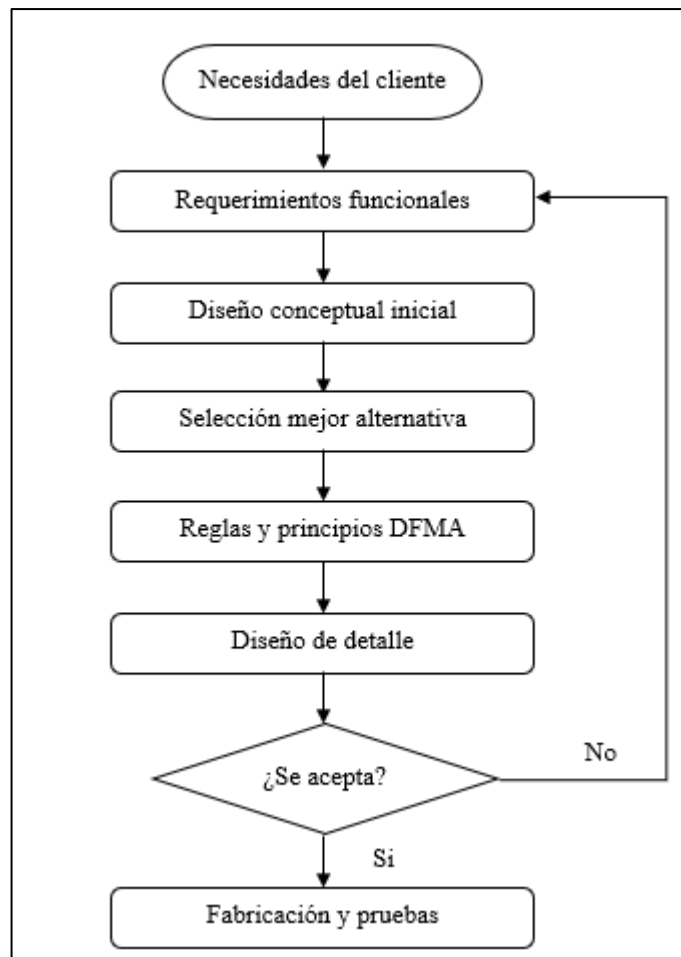
**Ilustración 2-3:** Elementos básicos del diseño de materialización.

Fuente: (Blanco, 2018).

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

#### 2.2.5. Fase IV: Diseño de detalle

Esta es etapa final de diseño que determina la configuración final de las dimensiones, geometría, propiedades y acabados de las piezas y componentes, así como la selección definitiva de los materiales y de los procesos de fabricación. Como el resultado de esta etapa se obtiene la documentación para la producción como planos de conjunto y de piezas, codificaciones y especificaciones técnicas requeridas, listados de componentes y partes. En este momento finaliza el diseño de materialización. (Blanco, 2018).



**Ilustración 2-4:** Algoritmo de diseño.

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

## 2.3. Diseño térmico

### 2.3.1. *Parámetros fundamentales del proceso de deshidratación*

#### 2.3.1.1. *Proceso de Deshidratación en Frutas*

El proceso de deshidratación aplicado al fruto consiste en retirar el agua contenida en él, para obtener un producto de fácil de preservación, bajo contenido microbiano y de peso ligero, por lo tanto, fácil de transportar. Varios factores afectan este proceso, incluida la humedad inicial del producto, la temperatura, el tiempo, la presión, a la que se produce la deshidratación, entre otros factores. Todos estos factores son importantes para el análisis e interfieren con el diseño de alguna manera, por lo que se define estos factores y se analizan sus causas. (Orrego, 2003).



### 2.3.1.2. Aire atmosférico.

El aire se define como la mezcla de diferentes gases que forman la atmósfera que nos rodea, estos pueden ser el oxígeno, nitrógeno, argón, neón, hidrógeno, entre otros. La termodinámica considera que la atmósfera es una mezcla de aire seco y vapor de agua, donde el vapor de agua se define como un gas ideal y el aire seco como un gas sin vapor de agua. Ciertas propiedades se definen a partir del aire atmosférico, como la humedad relativa, la humedad absoluta, utilizando la carta psicrométrica para ayudar al cálculo de las propiedades. (Cengel, 2011).

### 2.3.1.3. Humedad específica o absoluta del aire.

La humedad específica se define como la relación que existe entre la masa de vapor de agua presente en el aire y la masa de aire seco, normalmente un kilogramo. (Cengel, 2012).

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} \quad \text{Ecuación 1-2}$$

Donde:

$\omega$ : Humedad absoluta

$m_v$ : Masa de vapor de agua [kg]

$m_a$ : Masa de aire [kg]

### 2.3.1.4. Humedad relativa del aire

La humedad relativa relaciona la masa de vapor de agua presente en el aire con respecto a la masa máxima masa de vapor de agua que el aire puede contener a una temperatura determinada. Si este valor es igual a uno se considera que el aire saturado. (Cengel, 2012).

$$\phi = \frac{m_v}{m_g} \quad \text{Ecuación 2-2.}$$

Donde:

$\phi$ : Humedad relativa

$m_v$ : Masa de vapor de agua [kg]

$m_g$ : Masa máxima de vapor de agua que el aire puede contener [kg]

### 2.3.1.5. Carta psicrométrica.

La carta Psicrométrica es un diagrama que muestra las diferentes propiedades de las mezclas de aire y vapor de agua, su propósito es simplificar los datos para que las propiedades termodinámicas puedan definirse con rapidez. (Cengel, 2012).

### 2.3.1.6. Temperatura de bulbo seco.

La temperatura de bulbo seco generalmente se lee con un termómetro de ambiente, que mide la temperatura del aire atmosférico del medio en que está instalado. (Singh, 2001).

### 2.3.1.7. Temperatura de bulbo húmedo.

La temperatura de bulbo húmedo se determinada experimentalmente con un termómetro de mercurio, este termómetro da una lectura diferente a la de un bulbo seco porque el bulbo está saturado de agua y aire que circula por el ambiente, esta temperatura es importante en los alimentos porque la superficie de la fruta seca se acerca al equilibrio con el medio ambiente durante el proceso de secado. (Orrego, 2003).

### 2.3.1.8. Flujo másico.

El caudal másico es una medida de cuánta masa circula a través de una sección transversal de flujo en un determinado tiempo. (Cengel, 2012).

$$\dot{m} = \frac{m}{t} \quad \text{Ecuación 3-2}$$

Donde:

$\dot{m}$ : Flujo másico  $\left[\frac{kg}{s}\right]$

$m$ : Masa  $[kg]$

$t$ : Tiempo  $[s]$

El caudal masico también se puede expresar como el producto de la densidad, el área de la sección trasversal del flujo y la velocidad del fluido en movimiento.

$$\dot{m} = \rho * A * v = \rho * Q \quad \text{Ecuación 4-2}$$

Donde:

$\rho$ : Densidad  $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

$A$ : Área  $[m^2]$

$v$ : Velocidad  $\left[\frac{m}{s}\right]$

$Q$ : Caudal  $\left[\frac{m^3}{s}\right]$

### 2.3.1.9. Caudal

El caudal o flujo volumétrico se define como el volumen que fluye a través del área transversal al flujo en un intervalo de tiempo.

$$Q = \frac{V}{t} \quad \text{Ecuación 5-2}$$

Donde:

$V$ : Volumen que pasa sobre el área transversal al flujo. [m<sup>3</sup>]

$t$ : Tiempo [s]

### 2.3.1.10. Calor sensible

El calor sensible es la energía necesaria para elevar la temperatura de una sustancia, pero sin que cambie su estado. Se define con la siguiente ecuación. (Cengel, 2011).

$$Q_S = mC_p\Delta T \quad \text{Ecuación 6-2}$$

Donde:

$Q_S$ : Calor sensible [kJ]

$m$ : Masa [kg]

$C_p$ : Calor específico  $\frac{kJ}{kg^\circ K}$

$\Delta T$ : Variación de temperaturas [ $^\circ K$ ]

### 2.3.1.11. Calor latente

El calor latente es el calor que se genera cuando en una sustancia se produce el cambio de fase o de estado de una sustancia. Está definido con la siguiente ecuación. (Cengel, 2011).

$$Q_L = m * h_{fg} \quad \text{Ecuación 7-2}$$

Donde:

$Q_L$ : Calor latente [kJ]

$m$ : Masa de agua a evaporarse en el proceso de deshidratación [kg]

$h_{fg}$ : Entalpía de evaporación  $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$

### 2.3.2. *Trasferencia de calor y masa*

#### 2.3.2.1. *Razón de transferencia de calor*

Se define como el calor transferido de un cuerpo al medio en contacto o circundante por unidad de tiempo. Este depende del tipo de transferencia de calor que esté analizando. (Cengel, 2011).

$$\dot{Q} = \frac{Q_{transferido}}{t} \quad \text{Ecuación 8-2}$$

Donde:

$\dot{Q}$ : Razón de transferencia de Calor [kW]

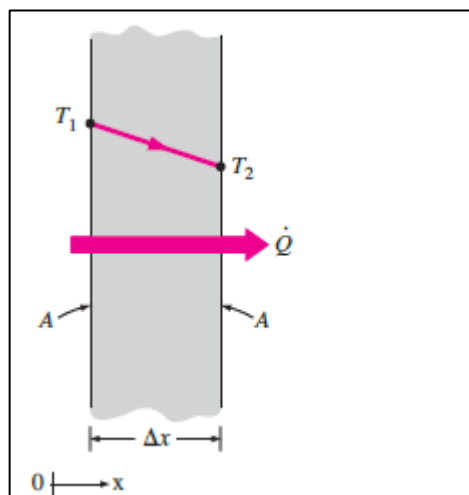
t: Tiempo [s]

#### 2.3.2.2. *Mecanismos de transferencia de calor.*

Mecanismo de transferencia de calor significa la forma en que se trasfiere el calor de un cuerpo caliente a un cuerpo frío según las leyes de la termodinámica. Hay tres mecanismos de transferencia de calor, conducción, convección y radiación, que ocurren habitualmente en la naturaleza.

#### 2.3.2.3. *Transferencia de calor por conducción.*

Cuando los cuerpos están en contacto directo, se produce una transferencia de calor por conducción, creando una gradiente de temperatura natural hacia el equilibrio. Se expresa mediante la ley de Conducción de Calor de Fourier. (Cengel, 2011).



**Ilustración 2-5:** Conducción de calor a través de una pared

Fuente: (Cengel, 2011).

$$\dot{Q}_{Cond} = k * A * \frac{\Delta T}{\Delta X} \quad \text{Ecuación 9-2}$$

Donde:

$\dot{Q}_{Cond}$ : Razón de transferencia de calor por conducción [W]

$k$ : Conductividad térmica del material  $\left[\frac{W}{m \cdot ^\circ C}\right]$

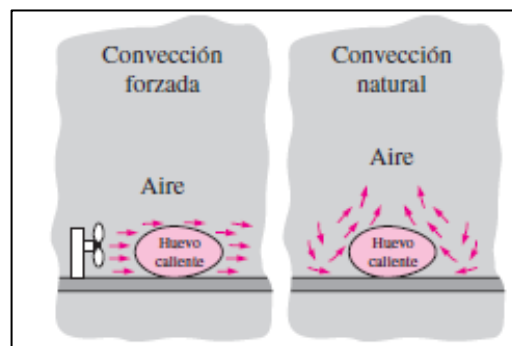
$A$ : Área de transferencia de calor [ $m^2$ ]

$\Delta T$ : Gradiente de temperatura [ $^\circ C$ ]

$\Delta X$ : Espesor [m]

#### 2.3.2.4. Transferencia de calor por convección.

La convección es también una forma de transferencia de calor que se produce cuando hay contacto entre un sólido, un líquido o gas circundante, esta es proporcional a la diferencia de temperaturas actuales. Se expresa mediante la Ley de enfriamiento Newton. (Cengel, 2011).



**Ilustración 2-6:** Convección natural y forzada.

Fuente: (Cengel, 2011).

$$\dot{Q}_{Conv} = h * A_S * (T_S - T_\infty) \quad \text{Ecuación 10-2}$$

Donde:

$\dot{Q}_{Conv}$ : Razón de transferencia de calor por convección [W]

$h$ : Coeficiente convectivo  $\left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right]$

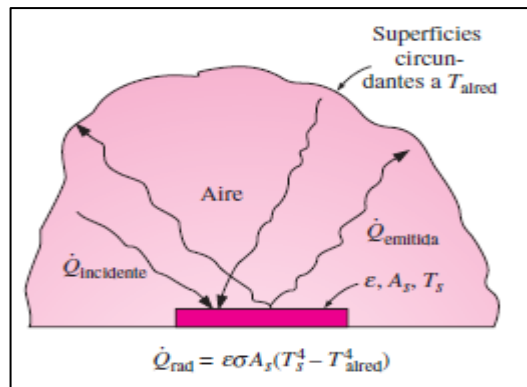
$A_S$ : Área superficial de transferencia de calor [ $m^2$ ]

$T_S$ : Temperatura superficial [ $^\circ C$ ]

$T_\infty$ : Temperatura del fluido lo suficientemente alejado a la superficie [ $^\circ C$ ]

### 2.3.2.5. Transferencia de calor por radiación.

Otro tipo de transferencia de calor es la radiación, se presenta en forma de ondas electromagnéticas que se propaga a través de la energía emitida por el objeto, tomando en cuenta que no se requiere contacto directo con un objeto para esta forma de transferencia de energía, ya que la radiación puede viajar en el vacío. Esta expresado por la Ley de Stefan Boltzmann. (Cengel, 2011).



**Ilustración 2-7:** Radiación entre superficies.

Fuente: (Cengel, 2011).

$$\dot{Q}_{Rad} = \sigma * A_S * T_S^4$$

**Ecuación 11-2**

Donde:

$\dot{Q}_{Rad}$ : Razón de transferencia de calor por radiación [W]

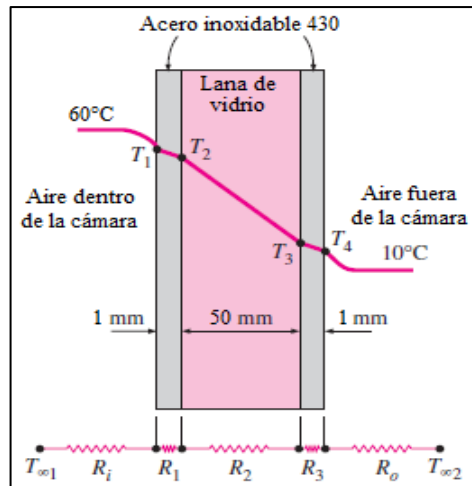
$\sigma$ : Constante de Stefan Boltzmann  $\left[5,67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 * ^\circ K^4}\right]$

$A_S$ : Área superficial de transferencia de calor [ $m^2$ ]

$T_S$ : Temperatura superficial [ $^\circ C$ ]

### 2.3.2.6. Resistencia térmica.

La resistencia térmica, como su nombre indica es la resistencia que presentan los materiales para transmitir el calor, esta resistencia depende del mecanismo de transferencia de calor presente. Analizaremos las resistencias por conducción y convección comúnmente aplicadas y se las encuentra en el medio. (Cengel, 2011).



**Ilustración 2-8:** Resistencias térmicas de pared.

Fuente: (Cengel, 2011).

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

### 2.3.2.7. Resistencia por conducción.

La resistencia por conducción se producirá en materiales sólidos y se define por la ecuación:

$$R_{Cond} = \frac{L}{k \cdot A} \quad \text{Ecuación 12-2}$$

Donde:

$R_{Cond}$ : Resistencia por conducción  $\left[\frac{W}{^{\circ}C}\right]$

$L$ : Espesor del material  $[m]$

$k$ : Conductividad térmica del material  $\left[\frac{W}{m \cdot ^{\circ}C}\right]$

$A$ : Área de transferencia de calor  $[m^2]$

### 2.3.2.8. Resistencia por convección.

La presencia de un fluido también resiste la transferencia de calor, creando así una resistencia por convección.

$$R_{Conv} = \frac{1}{h \cdot A} \quad \text{Ecuación 13-2}$$

Donde:

$R_{Conv}$ : Resistencia por convección  $\left[\frac{W}{^{\circ}C}\right]$

$h$ : Coeficiente convectivo del fluido  $\left[\frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C}\right]$

$A$ : Área de transferencia de calor  $[m^2]$

### 2.3.2.9. Resistencia total.

Las resistencias térmicas tanto por conducción como por convección se podrán sumar para obtener una resistencia total.

$$R_{Total} = \sum R_{Cond} + \sum R_{Conv} \quad \text{Ecuación 14-2}$$

Donde:

$R_{Total}$ : Resistencia total.

$\sum R_{Cond}$ : Sumatoria de las resistencias por conducción.

$\sum R_{Conv}$ : Sumatoria de las resistencias por convección.

### 2.3.2.10. Razón de transferencia de calor a partir de una resistencia térmica.

Según (Cengel, 2011) en su libro determina que la razón de transferencia de calor se logra a partir de una resistencia térmica y se expresa a través de la siguiente formula:

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R} \quad \text{Ecuación 15-2}$$

Donde:

$\Delta T$ : Gradiente de temperatura [°C]

$R$ : Resistencia térmica  $\left[\frac{W}{\text{°C}}\right]$

### 2.3.2.11. Coeficiente convectivo.

El coeficiente de convectivo depende del tipo de convección que se produce, esta puede ser convección forzada o convección natural, diferenciándose principalmente en las propiedades necesarias para definir las. (Cengel, 2011).

### 2.3.2.12. Coeficiente convectivo para convección natural.

La determinación del coeficiente convectivo de la convección natural se define calculando el número de Rayleigh en el siguiente término:

$$Ra_L = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_S + T_\infty) \cdot L^3}{\nu^2} * Pr \quad \text{Ecuación 16-2}$$

Donde:

$Ra_L$ : Número de Rayleigh

$g$ : Velocidad del aire



$\beta$ : Coeficiente de expansión volumétrica

$T_S$ : Temperatura de la superficie

$T_\infty$ : Temperatura del aire

$L$ : Longitud característica

$\nu$ : Viscosidad cinemática del aire

$Pr$ : Número de Prandtl

Número de Nusselt estará determinado por la geometría a utilizar, el siguiente caso se referirá a una placa plana ubicada verticalmente en convección natural.

$$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 \cdot Ra_L^{\frac{1}{4}}}{\left[ 1 + \left( \frac{0,429}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{1}{4}}} \right\}^2 \quad \text{Ecuación 17-2}$$

### 2.3.2.13. Coeficiente convectivo para convección forzada.

La determinación del coeficiente convectivo para convección forzada se define con el cálculo de los siguientes términos:

Número de Reynolds:

$$Re = \frac{v \cdot L}{\nu} \quad \text{Ecuación 18-2}$$

Donde:

$Re$ : Número de Reynolds

$v$ : Velocidad del aire

$L$ : Distancia recorrida por el fluido

$\nu$ : Viscosidad dinámica del aire a la temperatura de película

Número de Nusselt:

Este estará determinado por la geometría a utilizar, el siguiente caso se referirá a una placa plana en donde se producirá una convección forzada.

$$Nu = 0,664 \cdot Re_l^{0,5} \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ecuación 19-2}$$

### 2.3.2.14. Conducción de calor en régimen transitorio.

La conducción de calor se puede presentar en régimen transitorio es decir que sus propiedades variarán a lo largo de sus dimensiones, estas teorías nos ayudarán principalmente a determinar el tiempo que se demorará un cuerpo en adquirir cierta temperatura. (Cengel, 2011).

Las principales propiedades que se analizarán serán:

Número de Biot:

$$Bi = \frac{h \cdot l}{k} \quad \text{Ecuación 20-2}$$

Donde:

$Bi$ : Número de Biot.

$h$ : Coeficiente convectivo.

$l$ : Espesor de la transferencia.

$k$ : Coeficiente de conducción.

La expresión que me servirá para determinar el tiempo antes dicho en una pared plana será:

$$\frac{T_0 - T_\infty}{T_i - T_\infty} = A_1 * e^{-\lambda_1^2 * \tau} \quad \text{Ecuación 21-2}$$

Donde:

$T_0$ : Temperatura Superficial

$T_\infty$ : Temperatura del medio convectivo

$T_i$ : Temperatura inicial

$\tau$ : Tiempo adimensional o número de Fourier

Donde para determinar el tiempo aplicaremos la definición del número de Fourier donde deduciremos:

$$\tau = \frac{\alpha t}{l^2} = Fo \quad \text{Ecuación 22-2}$$

$$t = \frac{\tau * l^2}{\alpha} \quad \text{Ecuación 23-2}$$

Donde:

$t$ : Tiempo necesario

$\tau$ : Tiempo adimensional o número de Fourier

$l$ : Espesor de la sección

$\alpha$ : Difusividad térmica

### 2.3.2.15. *Transferencia de masa en medio convectivo.*

Es el mecanismo semejante a la transferencia de calor donde se transmitirá masa dependiendo principalmente de la difusividad de la masa y del movimiento generado por un fluido, aquí calcularemos la razón de transferencia de masa que tendrá cierta similitud tanto en fórmulas como en cálculos con la razón de transferencia de calor. Se calculará por medio de las siguientes expresiones las cuales aplicaremos para el caso de transferencia de vapor de agua hacia el aire. (Cengel,2011).

Razón de transferencia de masa o flujo másico

$$\dot{m}_v = h_{masa} * A_s * (\rho_{v,s} - \rho_{v,\infty}) \quad \text{Ecuación 24-2}$$

Donde:

$\dot{m}_v$ : Flujo másico de vapor hacia el aire

$h_{masa}$ : Coeficiente de transferencia de masa

$A_s$ : Área superficial

$\rho_{v,s}$ : Densidad del vapor de agua en la superficie

$\rho_{v,\infty}$ : Densidad del vapor de agua lejos de la superficie

El coeficiente de transferencia de masa también se lo calculará utilizando expresiones parecidas al coeficiente convectivo, pero en este caso serán:

Número de Schmidt:

$$Sc = \frac{\nu}{D_{AB}} \quad \text{Ecuación 25-2}$$

Donde:

$Sc$ : Número de Schmidt

$\nu$ : Viscosidad dinámica del aire a la temperatura de película

$D_{AB}$ : Coeficiente de difusión del vapor de agua en el aire a la temperatura de película

El coeficiente de difusión:

$$D_{AB} = D_{H2O-Aire} = 1,87 * 10^{-10} * \frac{T^{2,072}}{P} \quad \text{Ecuación 26-2}$$

Donde:

$T$ : Temperatura de película en °K

$P$ : Presión total en atmosferas

Número de Sherwood:

$$Sh = 0,664 * Re_l^{0,5} * Sc^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ecuación 27-2}$$

Donde:

$Sh$ : Número de Sherwood

$Re_l$ : Número de Reynolds en la longitud recorrida por el fluido

$Sc$ : Número de Schmidt

La densidad del vapor de agua en la superficie será:

$$\rho_{v,s} = \frac{P_{v,s}}{R_v * T_s} \quad \text{Ecuación 28-2}$$

Donde:

$\rho_{v,s}$ : Densidad del vapor de agua en la superficie de la fruta a cierta temperatura

$P_{v,s}$ : Presión de vapor de agua en la superficie que será igual a la presión de saturación del agua

$R_v$ : Constante de gas del vapor de agua.

$T_s$ : Temperatura superficial en °K

La densidad del vapor de agua lejos de la superficie de la fruta:

$$\rho_{v,\infty} = \frac{P_{v,\infty}}{R_v * T_{\infty}} \quad \text{Ecuación 29-2}$$

Donde:

$\rho_{v,s}$ : Densidad del vapor de agua lejos de la superficie de la fruta.

$P_{v,\infty}$ : Presión de vapor de agua lejos de la superficie.

$R_v$ : Constante de gas del vapor de agua.

$T_{\infty}$ : Temperatura lejos de la superficie en °K

#### 2.3.2.16. *Humedad contenida en alimentos*

Para analizar el contenido de humedad en un alimento hay que entender que la mayoría de los seres vivos están formados de materia sólida y agua contenida en cada cuerpo, en nuestro caso de análisis de productos alimentarios como son las frutas también lo estarán. Haciendo un pequeño balance de masa resulta que:

$$m_{Total} = m_{agua} + m_{sólida\ seca} \quad \text{Ecuación 30-2}$$

Donde:

$m_{Total}$ : Masa total.

$m_{agua}$ : Masa de Agua.

$m_{sólida\ seca}$ : Masa solida seca.

Cabe mencionar que la masa sólida seca existente en el producto será constante durante el proceso ya que en la deshidratación no se pierde masa, más si agua. Existen varias formas de expresar el contenido de humedad como es en base sólida y húmeda. (Singh,2001).

#### 2.3.2.17. *Humedad en base sólida.*

La humedad en base sólida es la relación entre la masa de agua contenida en el producto sobre la masa sólida seca:

$$w_{bs} = \frac{m_{agua}}{m_{sólida\ seca}} \quad \text{Ecuación 31-2}$$

$w_{bs}$ : Humedad en base sólida.

#### 2.3.2.18. *Humedad en base húmeda.*

La humedad en base húmeda es la relación entre la masa de agua contenida en el producto sobre la masa total del producto:

$$w_{bh} = \frac{m_{agua}}{m_{Total}} \quad \text{Ecuación 32-2}$$

$w_{bs}$ : Humedad en base húmeda.

### 2.3.2.19. *Relación de equivalencia entre humedad en base sólida y húmeda.*

Analizando las ecuaciones dadas se pueden representar tanto la humedad en base sólida en función de la humedad de base húmeda, como viceversa, por lo que es importante deducir estas expresiones que las ocuparemos más adelante. (Martines,2010)

$$w_{bs} = \frac{w_{bh}}{1-w_{bh}} \quad \text{Ecuación 33-2}$$

$$w_{bh} = \frac{w_{bs}}{1+w_{bs}} \quad \text{Ecuación 34-2}$$

## 2.4. **Diseño mecánico**

El proceso de diseño y correcta selección de componentes se caracteriza por ser un proceso de definición de objetos y sistemas mecánicos utilizando diversas técnicas y principios científicos conocidos, con el propósito de definir objetos o sistemas mecánicos. Las dimensiones de la cámara de secado están determinadas por los materiales, para garantizar un mejor uso y manejo también se estimará el número de bandejas y los métodos para circulación del aire dentro del equipo. (Castaño y Moreno, 2004).

### 2.4.1. *Diseño de la cámara de secado*

Al considerar las dimensiones de la cámara de secado del equipo deshidratador de acuerdo con la capacidad, se determina según la ecuación 35-2. Se deben tomar en cuenta las siguientes condiciones y consideraciones: el acero inoxidable material con el que consta la construcción del equipo no debe presentar deformaciones grandes o bruscas, debe ser capaz de resistir elevadas temperaturas y se debe diseñar correctamente para optimizar el uso del material de construcción. (Herrera y Zapata, 2015).

$$\rho = \frac{m}{l \times a \times h} \quad \text{Ecuación 35-2}$$

Donde:

$\rho$  : Densidad del producto [Kg/m<sup>3</sup>]

m: Capacidad de secado [Kg]

l: Largo [m]

a: Ancho [m]

h: Altura [m]

#### 2.4.2. Diseño de las bandejas

(Rocha, 2021). En su investigación afirma que, al diseñar un elemento siempre hay algunos factores a considerar para adaptarse a lo que se está diseñado, para diseñar las bandejas, es importante considerar las medidas de la cámara de secado, dimensiones de las bandejas para una fácil manipulación, el peso y diámetro del producto a secar. Las primeras consideraciones son la masa total de producto fresco y su densidad para obtener el volumen de los productos que serán deshidratados obtenido de la ecuación. 36-2.

$$\delta_n = \frac{m_h}{V} \quad \text{Ecuación 36-2}$$

Donde:

$\delta_n$  : Densidad del producto [Kg/m<sup>3</sup>]

$m_h$ : Masa húmeda del producto a deshidratar [Kg]

$V$ : Volumen del producto a deshidratar [m<sup>3</sup>]

Para realizar el cálculo del número de bandejas se realizará mediante la fórmula.

$$\#Bandejas = \frac{V_{max}}{V_{bandeja}} \quad \text{Ecuación 37-2}$$

Donde:

$V_{max}$ : Máximo volumen calculado de los productos. [m<sup>3</sup>]

$V_{bandeja}$ : Volumen de la bandeja. [m<sup>3</sup>]

Una vez que se ha calculado el número de bandejas hay que corregir este valor por un número real de bandejas, el cual se aplicara un factor de corrección.

$$\#Bandejas\ real = \frac{\#Bandejas}{n_{bandeja}} \quad \text{Ecuación 38-2}$$

Donde:

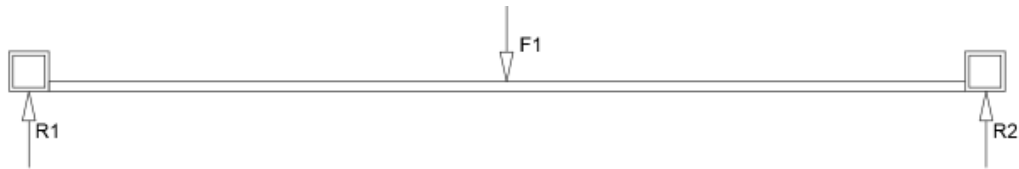
$n_{bandeja}$ : Factor de seguridad aplicado a las bandejas.

$\#Bandejas\ real$ : Número de bandejas real.

$\#Bandeja$ : Número de bandejas sin corregir.

#### 2.4.3. Análisis de carga en las bandejas

Para analizar las cargas que actúan sobre las bandejas se debe considerar las principales componentes, cómo se distribuye la carga y dónde va a estar apoyada la bandeja, para ello se analiza la sección transversal de la carga como se muestra en la ilustración. (Rocha, 2021).



**Ilustración 2-9:** Cargas en la bandeja.

Fuente: (Rocha, 2021).

Se aplica la sumatoria de fuerzas para poder calcular las reacciones.

$$\sum F_y = 0 \quad \text{Ecuación 39-2}$$

$$R_1 + R_2 = pe * L_b \quad \text{Ecuación 40-2}$$

Donde:

$R_1, R_2$ : Reacciones. [N]

$W$ : Peso de cada bandeja. [Kg]

$pe$ : Carga distribuida. [N/m]

$L_b$ : Longitud de la bandeja. [mm]

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad \text{Ecuación 41-2}$$

$$\frac{Sy}{n} = \sigma \quad \text{Ecuación 42-2}$$

Donde:

$Sy$ : Resistencia a la fluencia del material

$n$ : Factor de seguridad.

$$\frac{Sy}{n} = \frac{Mc}{I} \quad \text{Ecuación 43-2}$$

#### 2.4.4. Diseño del sistema de ventilación

Para que circule el aire caliente hacia las bandejas de la cámara de deshidratación, es necesario crear corrientes de aire por diferencia de presión con ayuda de un ventilador o un similar. El ventilador es uno de los elementos más importantes del equipo, pues este empuja y obliga a circular el aire caliente dentro de la cámara de manera distribuida por todas las bandejas.

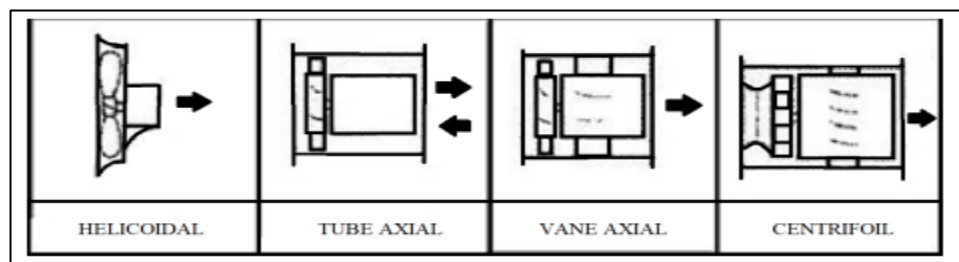
##### 2.4.4.1. Tipos de ventiladores.

Los ventiladores se pueden clasificar según su función, en axiales y centrífugos. (Narea y Tapia, 2021).

#### 2.4.4.2. Ventiladores axiales

Los ventiladores axiales se pueden utilizar en una amplia gama de aplicaciones porque las trayectorias de entrada y salida de aire dependen de la superficie, lo que los hace fáciles de instalar y cambiar los sentidos de giro, por ello se pueden clasificar en:

- **Ventiladores axiales helicoidales:** se usan para mover caudales grandes de aire a presión baja, la conversión de energía se produce en forma de presión dinámica, pero con menor rendimiento.
- **Ventiladores de tuve axial:** su rendimiento es superior al axial helicoidal, puede generar presiones estáticas más altas y son ideales para sistemas robustos de ventilación, calefacción o aire acondicionado de flujo medio a bajo.
- **Ventiladores vane axial:** el excelente desempeño según el diseño de las hélices permite obtener presiones altas y medias, con ángulos fijos o ajustables para su uso en extracciones localizadas o sistemas que requieran altos caudales de aire.
- **Ventilador centrífugo de flujo axial:** se trata de un ventilador con rotor centrífugo, pero su flujo es axial, combinar las ventajas de los ventiladores centrífugos con las de los ventiladores axiales ahorra espacio, instalaciones más fáciles y sus aplicaciones son muy similares solo a los axiales.



**Ilustración 2-10:** Tipos de ventiladores axiales.

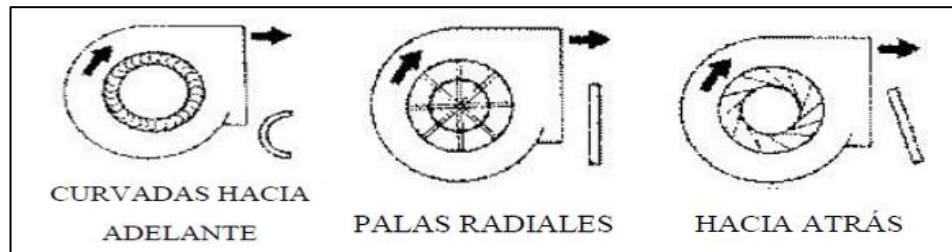
**Fuente:** (Narea y Tapia, 2021).

#### 2.4.4.3. Ventiladores centrífugos

Según (Herrera y Zapata, 2015) en su investigación distinguen a los ventiladores centrífugos por el flujo de aire, que puede orientarse en ángulos diferentes entre la entrada y salida del ventilador y se pueden clasificar en algunos tipos:



- **Curvas hacia adelante:** consta de un rotor con palas curvas, ideales para flujos altos y bajos de aire, utilizados en instalaciones de aire acondicionado y calefacción por conductos de baja presión.
- **Palas radiales:** consta de palas radiales y tiene un diseño sencillo y de fácil manejo, pero su rendimiento es bajo, aplicado en el mantenimiento de maquinaria industrial.
- **Hacia atrás:** este es uno de los mejores ventiladores por su rendimiento y está equipado con aspas curvas y planas, se puede utilizar para la ventilación y también para el aire acondicionado.



**Ilustración 2-11:** Tipos de ventiladores centrífugos.

**Fuente:** (Herrera y Zapata, 2015).

#### 2.4.4.4. Selección del ventilador.

Al máximo caudal de aire se analizan las características técnicas de los ventiladores y se selecciona el mejor, para calcular el flujo máximo existente, necesitamos los parámetros necesarios para su desarrollarlo, se requieren fluctuaciones de temperatura y aire. Y para calcular el flujo de aire máximo se determina con la ecuación.

$$\dot{m}_{aire} = \frac{mw*(Cpw*\Delta T_{agua}+hfg)}{t*ns*Cpa*\Delta T_{aire}} \quad \text{Ecuación 44-2}$$

Donde:

$\dot{m}_{aire}$ : Flujo máximo de aire. [Kg/s]

m: Masa del Producto. [Kg]

w: Humedad del producto. [%]

$Cpw$ : Calor específico del agua. [KJ/Kg. °K]

$\Delta T_{agua}$ : Variación de temperatura del agua. [°C]

$hfg$ : Diferencia de entalpias. [KJ/Kg]

$ns$ : Eficiencia de la máquina. [%]

$Cpa$ : Calor específico del aire. [KJ/Kg. °K]

$\Delta T_{aire}$ : Variación de temperatura del aire. [°C]

t: Tiempo estimado.

#### *2.4.4.5. Software SolidWorks.*

Es un software de diseño asistido por ordenador CAD que permite trabajar en entornos 2D y 3D, para generar y modelar piezas y conjuntos. También ayuda a crear planos de detalle para cada pieza individual o el ensamble, generar vistas explotadas de todo el ensamble. Posee un sinnúmero de herramientas que facilitan el trabajo del diseñador durante el desarrollo de un producto. (Dassault Systemes, 2018).

#### *2.4.4.6. Ensamblaje mediante software solid works.*

Es un entorno de SolidWorks con varias herramientas que facilitan el desempeño del diseñador y ayudan establecer condiciones restricción como: perpendicularidad, concetricidad, relaciones entre entidades, coincidencia, entre otras. Si el diseño de algún equipo contiene muchos elementos se puede realizar sub-ensamblajes con el fin de ayudar al ensamblaje final. Una ventaja de utilizar estas herramientas es que cuando se insertan componentes al ensamble crean automáticamente un vínculo entre ellos, y los cambios en el componente se mostraran en el ensamble final. (Dassault Systemes, 2018).

#### *2.4.4.7. Análisis y cálculos mediante elementos finitos.*

El elemento finito como método se emplea para resolver ecuaciones diferenciales e integrales utilizando métodos clásicos de variación. Esto permite predecir con razonable precisión y con menor los esfuerzos y deformaciones que internamente sufre un elemento al ser sometido a cargas. ANSYS es un programa que aplica de manera general al cálculo con elementos finitos se puede resolver problemas de estructuras y elementos, térmicos, eléctricos, magnéticos, de fluidos, entre otros. (Moreno y Pérez, 2015).

#### *2.4.4.8. Procedimiento general para análisis mediante elementos finitos.*

Este método consta de tres etapas de trabajo que son: preproceso, proceso y postproceso. Siempre se utilizan para el análisis de los elementos.

**Preproceso:** donde se describe como tal el problema, se realizan las siguientes operaciones:

- Definir el modelo del elemento, o importar a través de ficheros compatibles.
- Seleccionar el elemento.
- Definir las propiedades de material.
- Definir propiedades geométricas.

- Definir mallas.
- Definir las restricciones.
- Definir cargas.
- Aplicar condiciones en especial de contorno.

La primera acción no debe tomarse a la ligera, ya que no se puede ingresar información incorrecta, esto puede generar resultados incorrectos.

**Proceso:** dentro del programa donde se realizan los cálculos internos de elemento finito y se generan las soluciones.

**Postproceso:** los resultados se muestran gráficamente y se realiza el análisis y evaluación de resultados obtenidos:

- Orden en los esfuerzos según su magnitud.
- Verificación del equilibrio.
- Cálculo de factores de seguridad.
- Grafica de deformaciones.
- Animaciones del comportamiento del elemento.
- Presentación de soluciones en código de colores.

Los resultados se pueden manipular de diferentes maneras, pero se debe aplicar el juicio y conocimiento de ingeniería para lograr resultados razonables. (Moreno y Pérez, 2015).

## **2.5. Sistema de control y mando**

Lograr un rendimiento superior de los equipos o máquinas requiere implementación de un sistema de control que integre y controle los elementos que componen el equipo, facilitando el uso y operación del equipo durante el proceso. Para ello la implementación de este sistema se debe ajustarse al presupuesto y sin descuidar los parámetros básicos de funcionamiento. (Llumiquina, Suquillo, 2015)

### *2.5.1. Sensores.*

Un dispositivo que mide la energía de un medio en el que se coloca se considera un sensor, obtiene señales de salida transductible que es función de la variable que se está midiendo. El sensor

contiene un circuito que convierte y amplifican las señales recibidas, para seleccionar el sensor correcto se debe tomar la decisión de cuál es el más adecuado para su objeto. (Pallas, 2001).

#### *2.5.1.1. Clasificación de sensores.*

Existen diferentes tipos de sensores para medir cada una de las magnitudes físicas, también hay una extensa clasificación de ellos. Para facilitar la clasificación hemos considerado la magnitud de entrada a detectar y obtenemos los siguientes. (Pallas, 2001).

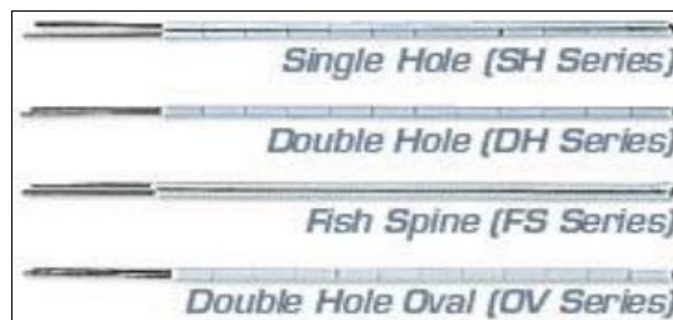
#### *2.5.1.2. Sensores de temperatura.*

La temperatura está asociada a la magnitud física de calor, también relacionada con la energía interna de los sistemas termodinámicos como el caso del aire, los cambios de temperatura a menudo pueden ser medidas cuando ocurren fluctuaciones térmicas en el aire, agua, como se había mencionado capta los cambios de la característica física y las transforma en señales eléctricas, lo que lleva a cambios en el sistema electrónico que se usan para la regulación de la temperatura. (Matamoros y Chichande, 2021).

#### *2.5.1.3. Tipos de sensores de temperatura*

#### *2.5.1.4. Termopares*

Su funcionamiento básico se basa en conectar dos tiras fabricadas de diferentes metales en un extremo, los cambios de temperatura que ocurren en las juntas generan una FEM fuerza electromotriz entre ambos externos. (Matamoros, Chichande, 2021).



**Ilustración 2-12:** Sensores de temperatura tipo termopar.

**Fuente:** (Matamoros, Chichalde, 2021).

### 2.5.1.5. Termocupla

Básicamente es un transductor de temperatura, un dispositivo que convierte la medida de la magnitud física en una señal eléctrica. La conexión de dos alambres metálicos de diferentes materiales unidos entre crean una diferencia de potencial eléctrico, este cambio es aproximadamente proporcional a la temperatura del extremo de conexión. Los materiales de construcción son metales puros o aleaciones y se utilizan para medir temperaturas en un rango más alto que otros termómetros. (López, Moyón, 2011).



**Ilustración 2-13:** Sensores tipo termocupla.

Fuente: (López, Moyón, 2011).

### 2.5.2. Tablero de control

Contiene dentro los contactores, relés, fusibles y todo lo que sea necesario para la protección de los equipos incluido cableado, generalmente consiste en circuitos encargados de acondicionar señales y encender los elementos electromecánicos, su función también consiste en alimentar o quitar la energía. Cuentan con un sistema de botones, pulsadores, luces piloto, bocinas, entre otros elementos, los pulsadores son de marcha, parada y de emergencia. (Mariño, Chico, 2012).



**Ilustración 2-14:** Tablero de control.

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

### 2.5.2.1. Sistemas automatizados

Son las herramientas que utilizamos para abrir las puertas hacia el futuro, este sistema puede implementar tecnología que suple las tareas realizadas por los operadores humanos. Actualmente se presenta como una necesidad para la producción en las grandes y pequeñas industrias. La parte de control y mando suele ser un autómatas programable con tecnología interna programada que permite disponer de esta programación de forma controlada en un proceso determinado. (Herrera, Zapata, 2015).

### 2.5.2.2. Principales objetivos de la automatización.

Entre los principales objetivos de automatizar un proceso de producción tenemos:

- Mejora la productividad de un determinado proceso.
- Minimizar las operaciones intelectuales y manuales por parte del operador.
- Eliminar procesos donde se requiera de mantenimiento y afecte a los procesos de producción.

### 2.5.2.3. Controlador tiempo temperatura

Controlador es un término que se interpreta en un control de lazo cerrado, generalmente está asociado con los elementos de trayectoria directa de señal y la variable de control, también los elementos de este controlador se basan en los componentes primarios de medidas, esta medición es un requisito previo al proceso de control automático incluidos sensores, controladores y actuadores. (López, Zambrano, 2014).



**Ilustración 2-15:** Controlador Tiempo – Temperatura.

**Fuente:** (López y Zambrano, 2014).

#### 2.5.2.4. Electroválvula

Una electroválvula o también se la conoce como válvula electromagnética, son elementos mixtos que realizan la función de las válvulas de distribución a través de una señal eléctrica externa. La parte más importante de la electroválvula es el electroimán, que puede mover directamente el distribuidor si el caudal es bajo, o por medio de un mando indirecto. Permitiendo de esta manera hacer que los flujos de caudal sean controlados para cualquier proceso. (Cembranos, 2002).



**Ilustración 2-16:** Electroválvula.

**Realizado por:** López D.; Toscano C. 2023.

#### 2.5.2.5. Pulsadores y luz piloto

Estos son elementos auxiliares que se los utiliza para realizar maniobras de parada y marcha del circuito eléctrico de un equipo. Hay una gran variedad de pulsadores que se los clasifica principalmente por su función como es: de marcha, de parada y de emergencia. Algunos pulsadores incorporan su propia luz piloto o a su vez son de colores para diferenciar su función y otros solamente como indicadores de luz para diferenciar el proceso en el que se encuentra el equipo. (López y Zambrano, 2014).



**Ilustración 2-17:** Pulsador de puesta en marcha.

**Fuente:** (Parra y Moreno, 2019).

#### 2.5.2.6. Selectores

Estos son elementos que funcionan para simular la presencia o ausencia de energía eléctrica, hay una gran variedad de selectores para el caso mencionaremos los selectores de dos posiciones, es decir le permite interrumpir o ceder el paso de la corriente para simular la apertura y cierre de cada línea de alimentación en el circuito. (Alay y Sánchez, 2015).



**Ilustración 2-18:** Selector.

**Fuente:** (Alay y Sánchez, 2015).

#### 2.5.2.7. Chispero

Comprende un sistema que es un mecanismo o dispositivo básico que se utiliza para crear chispas eléctricas de alto voltaje, dichas chispas se generan al hacer pasar una gran cantidad de voltaje a través del espacio entre dos electrodos, creando un arco eléctrico que produce una chispa visible. (Chango, 2018).



**Ilustración 2-19:** Chispero industrial.

**Realizado por:** López D.; Toscano C. 2023.



#### 2.5.2.8. *Sensor de llama*

El sensor de llama se define como un detector, es decir, tiene la capacidad de responder a la presencia de una flama o llama, son muy utilizados en hornos y calderas y como se trata de un detector también captan la presencia de calor, estos tipos de sensores están conectados directamente con el controlador el cual recibe la señal y si aún no detecta llama, enviara la señal para generar chispa o dar paso a la electroválvula a abrir el combustible. (Chango, 2018).



**Ilustración 2-20:** Sensor de llama.

**Realizado por:** López D.; Toscano C. 2023.

## 2.6. Elementos y materiales

Durante la fase de construcción, se utilizan materiales conocidos y comerciales, además se requiere unir las partes con conexiones permanentes y otras no permanentes.

### 2.6.1. *Descripción general de un acero inoxidable*

Se considera acero inoxidable si su característica principal es el contenido de cromo y su valor esta entre 10.5% hasta 30% y también contener otros elementos de aleación. Debido a que el material presenta alta resistencia a la oxidación y corrosión tanto a temperatura ambiente como a altas temperaturas, las aplicaciones de este acero en ingeniería son diversas. El acero inoxidable se utiliza en innumerables aplicaciones en la industria y en la construcción como: industria alimenticia, cocinas industriales, hospitales, laboratorios, industria de la aviación, entre otras. Es un material que frente a los alimentos se presenta neutro es decir no se descascara, no se oscurece al transcurrir el tiempo y tiene gran aspecto estético. (Almeida, Villena, 2009).

### *2.6.1.1. Propiedades y clasificación de aceros inoxidable.*

Se seleccionan aceros inoxidable para la construcción y aplicación, los cuales en general presentan alta resistencia a la corrosión, y principalmente pueden soportar altas temperaturas, se consideraron dos tipos de la serie 400 y serie 300.

**Ferríticos serie 300:** Aceros austeníticos inoxidable de aleaciones de hierro, cromo y níquel. Se pueden agregar otros elementos de aleación como cromo, cobre, entre otros. Para mejorar la resistencia a la corrosión, el estado del acero dependerá siempre del medio en donde se trabaje, ya sea como acabado superficial o como un tipo de acero de estructura. Sus propiedades básicas y sobresalientes son: la alta resistencia a la tensión, buen factor de higiene y limpieza, excelente soldabilidad, habilidad de trabajar a altas temperaturas hasta 925 grados centígrados.

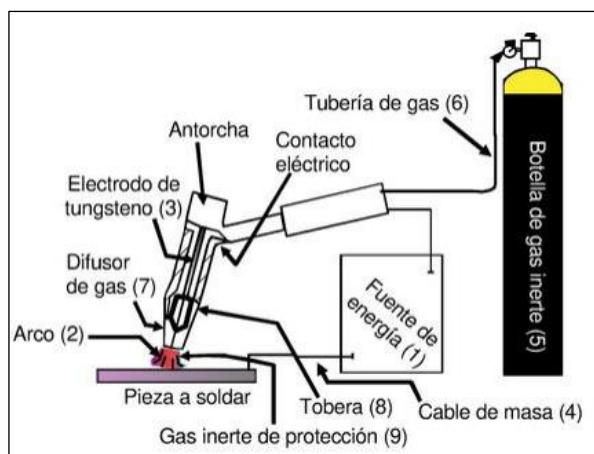
**Ferríticos serie 400:** Las principales características de esta serie se consideran resistentes a la corrosión, moderada a buena, la aleación de cromo o molibdeno aumenta la resistencia y durabilidad, endurecidos para trabajo en frío o en caliente ya que estos no se deforman ni se endurecen cuando trabajan, tienen una característica magnética y soportan mejor la soldadura.

### *2.6.2. Soldadura*

La soldadura se define como el proceso de unir dos o más piezas de metal de manera permanente, este proceso puede realizarse mediante la aplicación de presión, calor o una combinación de ambos, con o sin otro material de metal, llamado material de aporte. La temperatura de fusión de este material de aporte suele ser inferior que el de los materiales base o los metales a unir. (Bombón, 2014).

#### *2.6.2.1. Soldadura por proceso TIG.*

El proceso de soldadura TIG (Tungsten Inert Gas), es una soldadura eléctrica con electrodo no consumible, el proceso es protegido por un gas regulable, este tipo de soldadura también se puede utilizar sin la presencia de material de aporte, ideal para soldaduras de alto y bajo impacto, este proceso puede ser similar al proceso MIG, pero presenta sus mejoras. La protección provista por medio del gas genera una atmósfera que cubre el material fundido y lo protege de impurezas durante el proceso. Un gas de uso común es el argón, y también una mezcla de argón con helio también existen una gran variedad de gases, cada uno de los cuales aporta una mejora a la calidad de la soldadura. (Comejo, 2021).



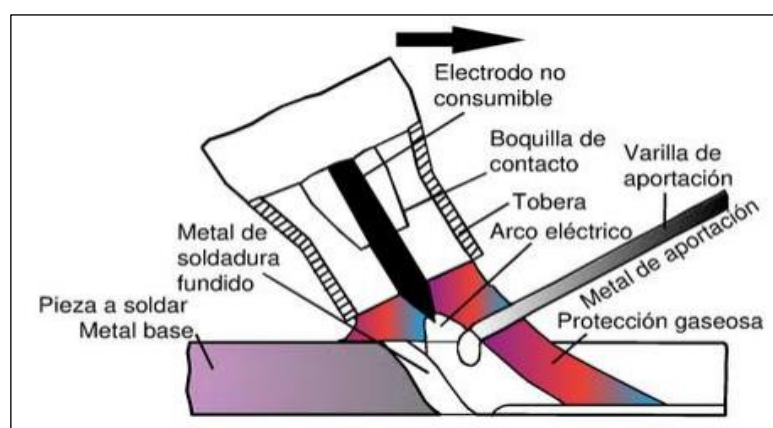
**Ilustración 2-21:** Elementos que intervienen en el proceso TIG.

Fuente: (Cornejo, 2021).

El amplio campo de aplicación de la soldadura TIG presenta facilidad y versatilidad en su aporte de material, esto brinda calidad en la soldadura y es aplicable en materiales como: acero inoxidable, cobre y sus aleaciones, aleaciones ligeras de aluminio, titanio y varios metales.

#### 2.6.2.2. Material de aporte

Para el proceso de soldadura TIG requiere el uso de varillas de soldadura de acero inoxidable, esto puede considerarse como material de aporte que se emplea en la soldadura, la mayoría de los prefijos que acompañan a estos materiales de aporte son R o ER, el material también puede utilizarse como electrodo o varilla de soldadura. Esto asegura que la composición del metal de soldadura sea similar a la del material base. (Camacho, y otros, 2011).



**Ilustración 2-22:** Proceso de soldadura TIG.

Fuente: (Cornejo, 2021).

### 2.6.3. *Fibra de vidrio*

Este material tiene propiedades químicas estables, no absorbentes y no es inflamable. Como elementos activos adicionales: son resistentes a los ataques de insectos, roedores y hongos. Una de las propiedades más relevantes que presentan las fibras de vidrio es su aislamiento térmico. Es un material fibroso que se obtiene a partir del vidrio, obtenido a través de procesos como: centrifugación y estirado mecánico. La fibra de vidrio constituye una gran ayuda al aislamiento térmico, es de poco peso y fácil de instalar. (Morales, 2008).

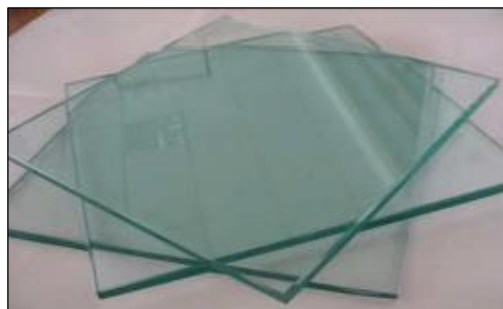


**Ilustración 2-23:** Fibras de vidrio.

**Realizado por:** López D.; Toscano C. 2023.

### 2.6.4. *Vidrio templado*

El vidrio es un tipo de material duro, transparente y frágil o quebradizo, estas son las características principales que lo definen, aunque es sólido se encuentra como un líquido sobre enfriado sin forma. El vidrio templado, también conocido como vidrio tensionado, se denomina así porque se somete a un proceso de templado que consiste en calentarlo hasta llegar a temperaturas que superen los 650 °C y luego soplando aire frío de manera brusca, esto hace que aumente su resistencia térmica y mecánica. El vidrio templado se considera un vidrio de seguridad y se recomienda su uso en distintas áreas y sus aplicaciones son: fachadas de locales comerciales, mamparas, en la industria automotriz y visores de puertas para hornos. (Guerrero, 2012).



**Ilustración 2-24:** Vidrio templado.

**Fuente:** (Carbajal, y otros, 2009).

### 2.6.5. Quemador

El término quemador se refiere de manera general a un dispositivo que favorece la combustión al combinar un combustible y un comburente. Existen algunos que tienen baja potencia y otros son mucho mejores, también pueden ser tan simples como un tubo o un disco con perforaciones, a través de los cuales el gas fluye por un inyector y se introduce aire comburente mediante el efecto Venturi. (Guamán, 2021).

### 2.6.6. Tipos de quemadores

Para los tipos de quemadores se toma en cuenta la función principal de cada uno de ellos y analizando las ventajas y desventajas que presenta uno frente al otro.

#### 2.6.6.1. Quemador radial.

Este quemador es de tipo industrial, fabricado en fundición de hierro, puede resistir altas temperaturas y está diseñado para utilizar como combustible a él GLP o gas natural, además son aptos para trabajar bajo altas presiones. (Guamán, 2021).



**Ilustración 2-25:** Quemador radial.

**Fuente:** (Guamán,2021).

Ventajas:

- Alta eficiencia.
- Tienen sistemas de seguridad integrados.
- Sistema de control para temperatura.
- Alta capacidad de trabajo.

Desventajas:

- Alto costo.
- Disponibilidad.
- Muy robusto para aplicación semi industrial

#### 2.6.6.2. *Quemador de llama continua*

A estos se los conoce comúnmente como quemadores de llama tipo flauta, por lo general se los fabrica utilizando acero inoxidable AISI 304 esto por las normas y regulaciones alimenticias. En este tipo de quemador, no hay ningún tipo control ni de paso de gas, por lo que se recomienda instalarlos adicionalmente. (Guamán, 2021).



**Ilustración 2-26:** Quemador tipo flauta.

**Fuente:** (Guamán, 2021).

Ventajas:

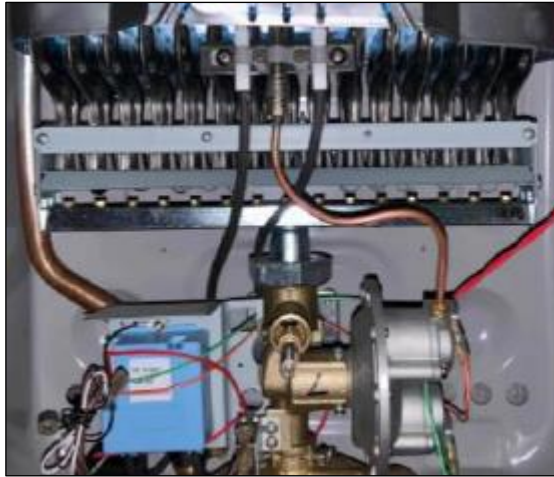
- Por el uso de GLP, no hay energía eléctrica.
- Apto para trabajo semi industrial.
- Bajo costo.

Desventajas:

- No tiene control de llama.
- No incluye el control de temperatura.
- Medidas estándares.

#### 2.6.6.3. *Quemador con shiglores.*

Se recomienda utilizar estos elementos para obtener llama adecuada y optima, ya que estos generan una elevada temperatura en un reducido tiempo.



**Ilustración 2-27:** Quemador con shiglores.

**Fuente:** (Guamán, 2021).

Ventajas:

- Control de temperatura.
- Consumo bajo de gas.
- Alta eficiencia.
- Encendido automático.
- Disponibilidad automática.

Desventajas:

- Diseño cerrado.
- Utiliza energía eléctrica.
- Necesita mantenimiento periódicamente.

## **2.7. Protocolo de pruebas**

### **2.7.1. Muestreo de aceptación utilizando las tablas MIL STD 105**

El muestreo de aceptación consiste en extraer de forma aleatoria una muestra del lote dependiendo de qué cantidad me defina las tablas MIL ST 105, esta inspección se la realiza por atributos es decir se clasifica simplemente las unidades de muestra como conforme o no conforme, con el objetivo de ahorrar tiempo y dinero al no analizar todo el lote. (INEN, 2023)

Se utilizarán varios factores como:

El AQL o NCA, que es el nivel de calidad aceptable que representa el nivel máximo que puedo aceptar de calidad.

El tipo de inspección, que puede ser reducida, normal o severa la cual dependerá del tipo de análisis que se va a ejecutar y en donde se lo ejecutará.

Niveles, estos se clasifican en tres niveles donde el nivel 1 se lo utiliza cuando pocos productos son rechazados, el nivel 2 es el más usual y aplicable y el nivel 3 cuando se conoce de antemano la mala calidad y que habrá muchas muestras rechazadas. (INEN, 2023).

**Letras código para el tamaño de la muestra (MIL STD 105E)**

| Tamaño del lote   | Niveles especiales de inspección |     |     |     | Niveles generales de inspección |    |     |
|-------------------|----------------------------------|-----|-----|-----|---------------------------------|----|-----|
|                   | S-1                              | S-2 | S-3 | S-4 | I                               | II | III |
| 2 a 8             | A                                | A   | A   | A   | A                               | A  | B   |
| 9 a 15            | A                                | A   | A   | A   | A                               | B  | C   |
| 16 a 25           | A                                | A   | B   | B   | B                               | C  | D   |
| 26 a 50           | A                                | B   | B   | C   | C                               | D  | E   |
| 51 a 90           | B                                | B   | C   | C   | C                               | E  | F   |
| 91 a 150          | B                                | B   | C   | D   | D                               | F  | G   |
| 151 a 280         | B                                | C   | D   | E   | E                               | G  | H   |
| 281 a 500         | B                                | C   | D   | E   | F                               | H  | J   |
| 501 a 1 200       | C                                | C   | E   | F   | G                               | J  | K   |
| 1201 a 3 200      | C                                | D   | E   | G   | H                               | K  | L   |
| 3 200 a 10 000    | C                                | D   | F   | G   | J                               | L  | M   |
| 10 001 a 35 000   | C                                | D   | F   | H   | K                               | M  | N   |
| 35 001 a 150 000  | D                                | E   | G   | J   | L                               | N  | P   |
| 151 000 a 500 000 | D                                | E   | G   | J   | M                               | P  | Q   |
| 500 001 y mas     | D                                | E   | H   | K   | N                               | Q  | R   |

**Ilustración 2-28:** Código para el tamaño de muestra.

Fuente: (INEN, 2023).

**Tabla para inspección normal: Muestreo simple (MIL STD 105E)**

| Letra código para el tamaño de la muestra | Tamaño de la muestra n | Nivel de calidad aceptable (NCA o AQL): en porcentaje |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---|------------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|   |                        | 0,010   | 0,015 | 0,025 | 0,040 | 0,065 | 0,10  | 0,15  | 0,25  | 0,4   | 0,65  | 1,0   | 1,5   | 2,5   | 4     | 6,5   | 10    | 15    | 25    | 40    | 65    | 100   | 150   | 250   | 400   |
|   |                        | Ac Re   | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re | Ac Re |
| A   | 2                      |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| B   | 3                      |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| C   | 5                      |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| D   | 8                      |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| E   | 13                     |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| F   | 20                     |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| G   | 32                     |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| H   | 50                     |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| J   | 80                     |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| K   | 125                    |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| L   | 200                    |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| M   | 315                    |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| N   | 500                    |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| P   | 800                    |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Q   | 1250                   |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| R   | 2000                   |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

Indicaciones: Si en la intersección del renglón (letra código) y de la columna (NCA) se encuentra una flecha en lugar de los números de aceptación (Ac) y de rechazo (Re) entonces siga la dirección de la flecha y use el primer plan que este después de la flecha. Por ejemplo suponga aquí la letra código para un caso particular es H, por lo que el tamaño de muestra asociado a esta letra es n=50, y si el NCA = 0,1 5% entonces en la intersección correspondiente se encuentra una flecha con dirección hacia abajo, al seguirlo, el primer plan que se encuentra es Ac = 0 1, Re = 1, z el tamaño de muestra a usar es n = 25

**Ilustración 2-29:** Muestreo simple.

Fuente: (INEN, 2023).



## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

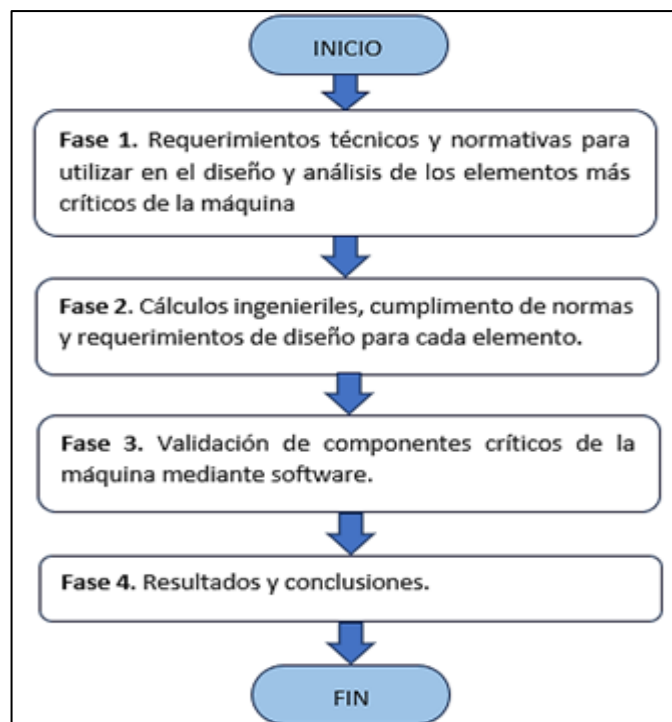
#### 3.1. Diseño de la deshidratadora de frutas

##### 3.1.1. *Diseño conceptual*

###### 3.1.1.1. *Matriz QFD*

En el presente proyecto de investigación se pretende diseñar una máquina deshidratadora de frutas cítricas que sea capaz de deshidratar una capacidad de 20 Kg de producto mediante bandejas distribuidas de manera vertical, además contara con un sistema de control tiempo-temperatura el cual le proporcionara un funcionamiento semi automático.

En la primera etapa de diseño se presenta un diagrama con la metodología empleada se observa en la ilustración 3-1, la misma que deberá respetar la máquina, será también la base para fomentar los respectivos cálculos. En la siguiente instancia se realizará la matriz morfológica la cual nos permitirá justificar una solución correcta al problema, para finalizar se desarrollará el proyecto.



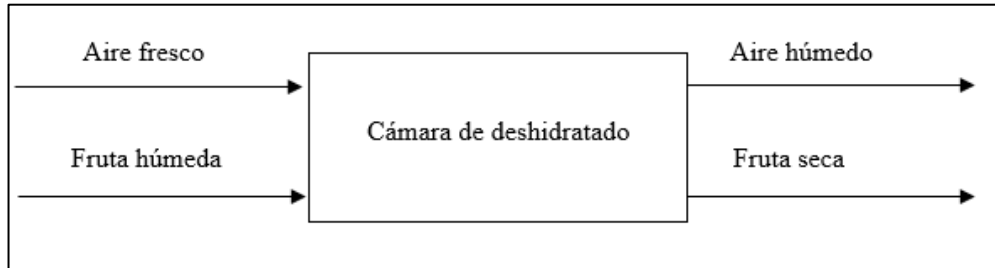
**Ilustración 3-1:** Diagrama de la metodología.

**Fuente:** (Nivicela, y otros, 2021).

**Realizado por:** López D.; Toscano C. 2023.

### 3.1.1.2. Evaluación de la estructura funcional.

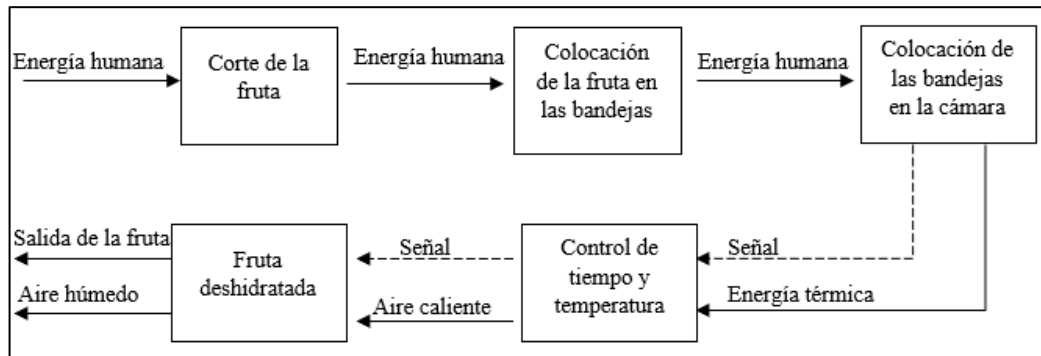
Esta evaluación proporciona una idea general y básica de la secuencia que tiene el sistema de deshidratación de frutas cítricas, entre el flujo de entrada y salida del proceso en el nivel 0 y nivel 1 que se presentan en las ilustraciones siguientes.



**Ilustración 3-2:** Análisis funcional Nivel 0.

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

A continuación, se presenta el nivel 1 de la estructura funcional.



**Ilustración 3-3:** Análisis funcional Nivel 1

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

### 3.1.1.3. Características técnicas.

Todas las características técnicas se consideran en función de las necesidades del cliente. Esta es la base que se necesita para considerar cada opción y realizar su propia evaluación. A esto se suma la voz del ingeniero como se muestra en la Tabla 3-1. Además, se debe realizar el estudio de la casa de la calidad, y de esta manera seleccionar la mejor opción en función de esa ponderación.

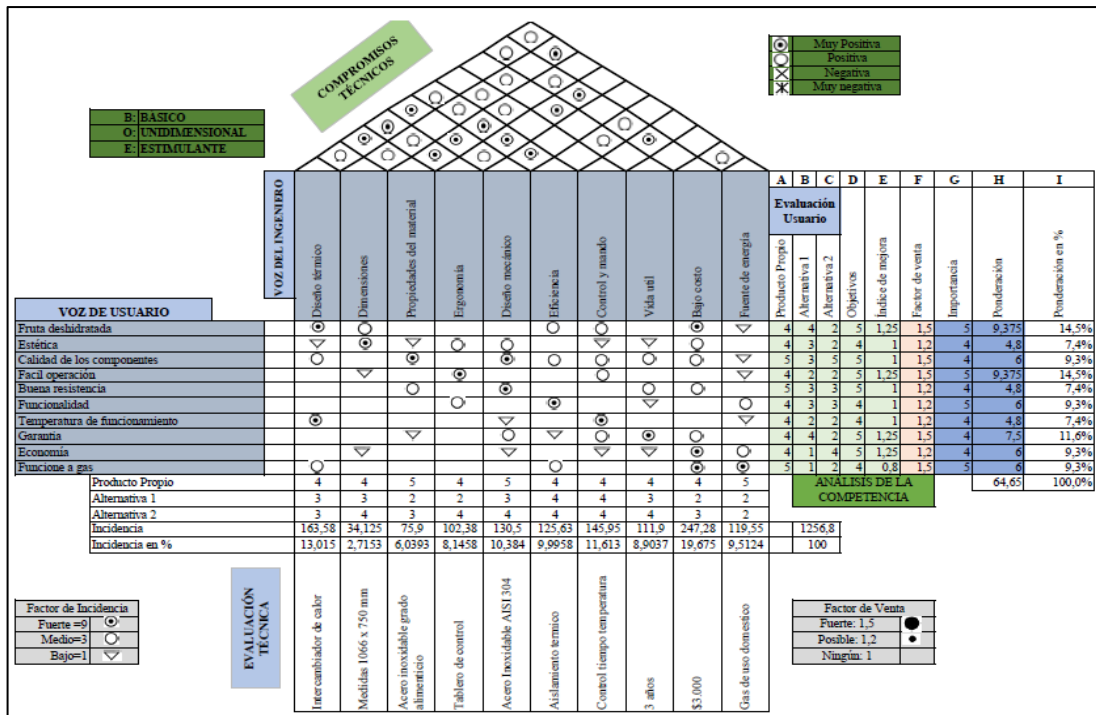
**Tabla 3-1: Voz del usuario vs voz del ingeniero.**

| Voz del usuario               |   | Voz del ingeniero        |
|-------------------------------|---|--------------------------|
| Fruta deshidratada            | B | Diseño térmico           |
| Estética                      | E | Dimensiones              |
| Calidad de los componentes    | O | Propiedades del material |
| Fácil operación               | E | Ergonomía                |
| Buena resistencia             | B | Diseño mecánico          |
| Funcionalidad                 | E | Eficiencia               |
| Temperatura de funcionamiento | B | Control y mando          |
| Garantía                      | O | Vida útil                |
| Económica                     | E | Bajo costo               |
| Funcionamiento a gas          | E | Fuente de energía        |

Realizado por: López, D.; Toscano, C. 2023.

3.1.1.4. Casa de la calidad.

La comparación de los tipos de secadoras que existen se define con los equipos que existen en el mercado y aquellos que poseen similares requisitos técnicos que describimos anteriormente, con ayuda de la tasa de ocurrencia se evalúan las características del equipo competente, se involucran de manera directa tanto la voz del usuario como la voz del ingeniero. Se aprecia en la ilustración 3-4. Dicha relación de los factores mencionados gracias a la casa de la calidad.













**Ilustración 3-4: Casa de la calidad.**

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

### 3.1.1.5. Matriz morfología de alternativas.

La tabla 2-3 que representa la matriz morfológica de alternativas da paso a que se puedan generar opciones para cada característica empleada en el diseño, habilitando la generación de alternativas de materiales y diseño de detalle. Por lo general los trabajos de integración curricular involucran generar satisfacción y solución a las necesidades por medio del producto final. Por lo tanto, el porvenir de este proyecto está en dependencia de la acogida que tenga la máquina en el mercado.

**Tabla 3-2:** Matriz morfológica.

| Función                              | Componentes  |   |   |
|--------------------------------------|--|---|---|
| Tipo de deshidratador                | <br>Bandejas          | <br>Banda transportadora             |   |
| Control del proceso                  | <br>Control digital | <br>Controlador Tiempo-Temperatura |   |
| Medición de temperatura              | <br>Sensor EA1240   | <br>Termocupla tipo J               | <br>Senosr Pt-100        |
| Alimentación y descarga del producto | <br>Manual bandejas | <br>Cinta transportadora            | <br>Conjunto de bandejas |
| Alternativas                         | Alternativa 1  | Alternativa 2   | Alternativa 3   |

Realizado por: López, D.; Toscano, C. 2023.

Una vez que se crea la matriz de alternativas, las mismas que están unidas y relacionadas mediante flechas del mismo color, donde se establecen las combinaciones en donde la ruta de color rojo representa la primera alternativa, la ruta de color azul es la segunda alternativa y la ruta de color naranja representa la tercera alternativa.

### **Alternativa 1**

En esta alternativa, el tipo de deshidratador es un horno rectangular tipo bandejas, con un accionamiento de control tiempo-temperatura, para la medición de temperatura se realiza mediante una termocupla tipo J y para la carga y descarga del producto es de forma manual en las bandejas.

### **Alternativa 2**

Para esta alternativa, el tipo de deshidratador es de bandas transportadoras, con un accionamiento y control digital con una pantalla HDMI, para la medición de temperatura se utilizan sensores Pt-100 y para la carga y descarga del producto es directamente en la banda donde va a ser transportado el producto.

### **Alternativa 3.**

Esta última alternativa, este tipo son utilizado de manera artesanal en el campo, para el tipo de deshidratador es rectangular tipo horno de bandejas, el control se realiza mediante un controlador tiempo-temperatura el cual también se puede adaptarlo ya que generalmente no tienen controladores de temperatura, para la medición de temperaturas utiliza un sensor tipo EA 1240 que también se los adapta y para la carga y descarga de producto será de tipo bandejas, pero es un conjunto de bandejas.

#### *3.1.1.6. Método ordinal corregido de los criterios ponderados*

La aplicación de este método permite la comparación y evaluación de las alternativas encontradas previamente, los factores de evaluación son cuantitativos, asignar un valor de 1 significa que el criterio de la fila es superior que el criterio de la columna, 0.5 si el criterio de la fila es igual o equivalente al de la columna y toma el valor de 0 si el criterio de la fila es inferior al de la columna.

### **Criterios para la evaluación de las alternativas**

Planteamos los siguientes criterios de evaluación que se detallan a continuación para cada una de las alternativas antes determinadas:

- **Costo:** Consiste en evaluar los rubros que se necesitan invertir para fabricar el equipo de deshidratación, debe incluir los costos de compra de materiales, pago de trabajador, transporte y otros valores que se deben considerar.
- **Capacidad:** Determina el total de producto, en este caso la cantidad de fruta que abarca el equipo para poder lograr el objetivo de deshidratar.
- **Dimensiones:** Responde a las dimensiones que tiene el equipo, en esencia es las longitudes de la cámara de secado.
- **Operación:** Este criterio está basado en el manejo del equipo, además de satisfacer la necesidad del usuario, la cantidad de fruta que es capaz de deshidratar en una jornada.
- **Mantenimiento:** Se refiere a todos los procesos y mantenimientos que se le puedan dar al equipo, y que complicado y a que tiempo se le debe suministrar.

### *Evaluación del peso específico para cada alternativa*

Luego de obtener los criterios de evaluación para cada una de las alternativas, detallado en el apartado 3.1.1.6.1. se debe catalogar conforme al orden de importancia, de la siguiente manera:

**Tabla 3-3:** Evaluación del peso específico para todos los criterios.

|               | Capacidad | Dimensiones | Operación | Costo | Mantenimiento | $\Sigma+1$ | Pond |
|---------------|-----------|-------------|-----------|-------|---------------|------------|------|
| Capacidad     |           | 0,5         | 1         | 0,5   | 0,5           | 3,5        | 0,23 |
| Dimensiones   | 0,5       |             | 1         | 0,5   | 0,5           | 3,5        | 0,23 |
| Operación     | 0         | 0           |           | 0     | 0,5           | 1,5        | 0,10 |
| Costo         | 0,5       | 0,5         | 1         |       | 1             | 4          | 0,27 |
| Mantenimiento | 0,5       | 0,5         | 0,5       | 0     |               | 2,5        | 0,17 |
|               |           |             |           |       |               | 15         | 1    |

Realizado por: López, D.; Toscano, C. 2023.

Luego de establecer el orden de importancia para cada uno de los criterios se debe evaluar los pesos específicos para cada uno de ellos, esto ayuda a encontrar la ponderación en la función de las alternativas y determinar su orden de importancia.

**Tabla 3-4:** Evaluación del criterio Costo.

| <b>Criterio: Costo</b> |               |               |               |            |      |
|------------------------|---------------|---------------|---------------|------------|------|
| Costo                  | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 | $\Sigma+1$ | Pond |
| Alternativa 1          |               | 1             | 0,5           | 2,5        | 0,42 |
| Alternativa 2          | 0             |               | 0             | 1          | 0,17 |
| Alternativa 3          | 0,5           | 1             |               | 2,5        | 0,42 |
|                        |               |               |               | 6          | 1    |

Realizado por: López, D.; Toscano, C. 2023.

El orden de importancia para el cuarto criterio “Costo” es el siguiente:

Alternativa 1 = Alternativa 3 > Alternativa 2

**Tabla 3-5:** Evaluación del criterio Dimensiones.

| <b>Criterio: Dimensiones</b> |               |               |               |          |             |
|------------------------------|---------------|---------------|---------------|----------|-------------|
| Dimensiones                  | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 | $\sum+1$ | <b>Pond</b> |
| Alternativa 1                |               | 0,5           | 0,5           | 2        | 0,33        |
| Alternativa 2                | 0,5           |               | 0,5           | 2        | 0,33        |
| Alternativa 3                | 0,5           | 0,5           |               | 2        | 0,33        |
|                              |               |               |               | 6        | 1           |

Realizado por: López, D.; Toscano, C. 2023.

El orden de importancia para el segundo criterio “Dimensiones” es el siguiente:

Alternativa 1 = Alternativa 2 = Alternativa 3

**Tabla 3-6:** Evaluación del criterio capacidad.

| <b>Criterio: Capacidad</b> |               |               |               |          |             |
|----------------------------|---------------|---------------|---------------|----------|-------------|
| Capacidad                  | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 | $\sum+1$ | <b>Pond</b> |
| Alternativa 1              |               | 1             | 0,5           | 2,5      | 0,42        |
| Alternativa 2              | 0             |               | 1             | 2        | 0,33        |
| Alternativa 3              | 0,5           | 0             |               | 1,5      | 0,25        |
|                            |               |               |               | 6        | 1           |

Realizado por: López, D.; Toscano, C. 2023.

El orden de importancia para el primer criterio “Capacidad” es el siguiente:

Alternativa 1 > Alternativa 2 > Alternativa 3

**Tabla 3-7:** Evaluación del criterio Mantenimiento.

| <b>Criterio: Mantenimiento</b> |               |               |               |          |             |
|--------------------------------|---------------|---------------|---------------|----------|-------------|
| Mantenimiento                  | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 | $\sum+1$ | <b>Pond</b> |
| Alternativa 1                  |               | 1             | 1             | 3        | 0,50        |
| Alternativa 2                  | 0             |               | 1             | 2        | 0,33        |
| Alternativa 3                  | 0             | 0             |               | 1        | 0,17        |
|                                |               |               |               | 6        | 1           |

Realizado por: López, D.; Toscano, C. 2023.

El orden de importancia para el quinto criterio “Mantenimiento” es el siguiente:

Alternativa 1 > Alternativa 2 > Alternativa 3

**Tabla 3-8:** Evaluación del criterio Operación.

| Criterio: Operación |               |               |               |            |      |
|---------------------|---------------|---------------|---------------|------------|------|
| Operación           | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 | $\Sigma+1$ | Pond |
| Alternativa 1       |               | 1             | 0,5           | 2,5        | 0,42 |
| Alternativa 2       | 0             |               | 0             | 1          | 0,17 |
| Alternativa 3       | 0,5           | 1             |               | 2,5        | 0,42 |
|                     |               |               |               | 6          | 1    |

Realizado por: López, D.; Toscano, C. 2023.

El orden de importancia para el tercer criterio “Operación” es el siguiente:

Alternativa 1 = Alternativa 3 > Alternativa 3

### **Conclusión de alternativas.**

Se analiza el resultado final de conclusiones en las alternativas, esto nos permite visualizar la mejor alternativa entre los resultados y seleccionar la mejor alternativa como un modelo de prediseño para continuar con el proceso de diseño del equipo de deshidratación.

**Tabla 3-9:** Resultado de prioridad de alternativas.

| Resultados Finales      |       |           |             |               |           |          |           |
|-------------------------|-------|-----------|-------------|---------------|-----------|----------|-----------|
| Criterio<br>Alternativa | Costo | Capacidad | Dimensiones | Mantenimiento | Operación | $\Sigma$ | Prioridad |
| Alternativa 1           | 0,097 | 0,078     | 0,042       | 0,111         | 0,083     | 0,411    | 1         |
| Alternativa 2           | 0,078 | 0,078     | 0,017       | 0,044         | 0,056     | 0,272    | 3         |
| Alternativa 3           | 0,058 | 0,078     | 0,042       | 0,111         | 0,028     | 0,317    | 2         |

Realizado por: López, D.; Toscano, C. 2023.

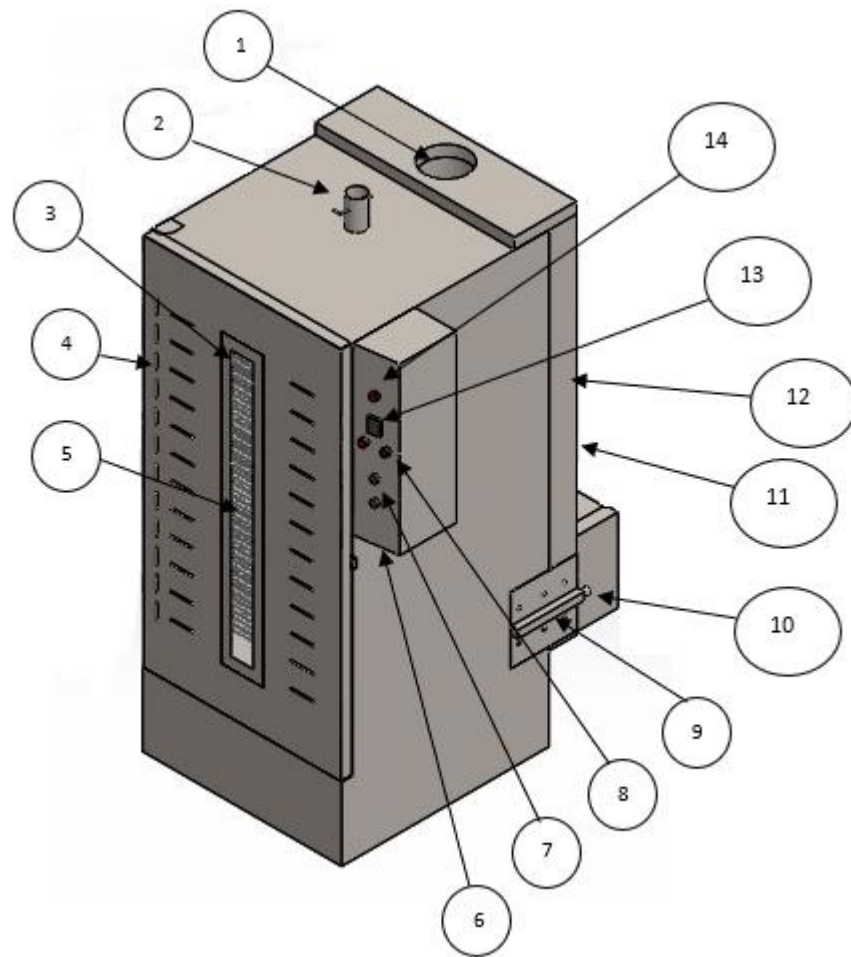
Como se puede evidenciar en la tabla 9-3 la alternativa 1 es considerada como un modelo de inicio al diseño, por medio de los criterios y las alternativas se obtienen los presentes resultados.

### **3.1.1.7. Diseño preliminar.**

Este paso es fundamental en el inicio del proceso para desarrollar los productos, esta es la base primordial para continuar con el desarrollo, diseño térmico y mecánico, control de proceso, fabricación y por ultimo las pruebas finales de funcionamiento.



3.1.1.8. Modelo 3D de la alternativa.



**Ilustración 3-5:** Diseño preliminar.

**Realizado por:** López D.; Toscano C. 2023.

**Tabla 3-10:** Partes principales del diseño preliminar.

|                                    |                              |
|------------------------------------|------------------------------|
| 1.- Escape de gases de combustión  | 8.- Luz piloto               |
| 2.- Escape de vapor                | 9.- Ingreso a los quemadores |
| 3.- Puerta y ventanilla            | 10.- Electroválvula          |
| 4.- Orificios de escape de humedad | 11.- Ventilador              |
| 5.- Bandejas                       | 12.- Cámara de combustión    |
| 6.- Tablero de control             | 13.- Controlador             |
| 7.- Selectores ON/OFF              | 14.-Bocina                   |

**Realizado por:** López, D.; Toscano, C. 2023.

### 3.2. Diseño térmico

Para desarrollar el diseño térmico será necesario determinar el Calor necesario para calentar el producto y el calor perdido en transferencia de calor tanto internamente como externamente.

Internamente existirán componentes físicos como son las bandejas donde se ubicará la fruta, las paredes internas entre otros elementos que al igual que el producto se calentarán utilizando un calor. En cambio, externamente pese a existir aislantes de por medio también se producirán pérdidas de calor con el ambiente que lo rodea las cuales también tendrán que ser calculadas.

Al final se determinará la cantidad necesaria de calor para que funcione nuestro equipo y lo compararemos con la fuente de calor para verificar que este proporcione la energía térmica necesaria para alimentar nuestro equipo. Los cálculos los realizaremos en un principio para la piña y luego los extenderemos para las demás frutas.

#### 3.2.1. *Propiedades del aire para los cálculos*

Según las bibliografías revisadas la temperatura ideal para producirse la deshidratación será igual a:

$$T_{\infty} = 60^{\circ}\text{C}$$

La temperatura de la superficie de la fruta será igual a la temperatura de bulbo húmedo a la temperatura del ambiente convectivo esta se la podrá calcular al asumir nuestra humedad relativa de diseño. (Singh,2001)

Diseñaremos nuestro proceso con una temperatura ambiente igual a la temperatura promedio más baja que se ha producido en la ciudad de Riobamba la cual es de alrededor de 10 °C y con una humedad relativa de 79,9%.

$$\omega_{absoluta} = 0,006$$

#### 3.2.2. *Cálculo de Flujos máxicos y velocidades*

Como primer punto calcularemos los flujos máxicos y velocidades necesarios para garantizar el control del proceso de deshidratación para lo cual según bibliografías e investigaciones revisadas asumiremos algunos valores de diseño y según los resultados si es necesario recalcularemos estas propiedades:

$$\emptyset = 30\%$$

$$v = 1,5 \frac{m}{s}$$

Donde:

$\phi$ : Humedad relativa del aire

$v$ : Velocidad del aire por cada bandeja

La humedad relativa se la asumió de acuerdo con una investigación donde se comprobaba que para conservar los nutrientes de la fruta como la vitamina C que en nuestro caso al tratarse de frutas cítricas es de vital importancia la humedad relativa debe estar en alrededor del 20%, pero consecuentemente para obtener un color adecuado para nuestro producto que también será importante la humedad deberá ser alrededor del 40% por lo que decidimos considerar un promedio de una humedad relativa del 30%. (Espin,2013)

La velocidad de secado se la asumió también de acuerdo con investigaciones donde determinan la velocidad óptima del aire circundante a la fruta, estas nos dicen que el aire se debe encontrar en el rango de 1 a 2 m/s para conseguir que el calor no se disipe tan rápido obteniendo el efecto contrario al deseado por lo que decidimos asumir la velocidad promedio de 1,5 m/s para que según nuestros cálculos aumentarla o disminuirla para próximas iteraciones de ser el caso. (Llumiquinga,2015)

### 3.2.2.1. Cálculo del Flujo másico de vapor producido por las frutas.

Es necesario conocer el flujo másico de vapor que se producirá por la deshidratación de las frutas, el cual se lo calculará por medio de la transferencia de masa que existe entre la fruta y el ambiente convectivo. A continuación, realizaremos el cálculo para una sección de la fruta:

Calculamos el número de Reynolds:

$$Re = \frac{v * D}{\nu}$$

Nuestra temperatura de bulbo húmedo a 60°C y 30% de humedad relativa será:

$$T_{b,h} = 39,4 \text{ °C}$$

La temperatura de película en este caso será igual a la que resulta del ambiente convectivo y la temperatura de bulbo húmedo, esta temperatura me servirá para calcular las propiedades:

$$T_f = \frac{T_{\infty 1} + T_1}{2}$$

$$T_f = \frac{60 \text{ °C} + 39,4 \text{ °C}}{2}$$

$$T_f = 49,7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Reemplazando tenemos:

$$Re = \frac{\left(1,5 \frac{m}{s}\right) (0,09 \text{ m})}{1,795 * 10^{-5} \frac{m^2}{s}}$$

$$Re = 7520,89137$$

Ahora calculamos el número de Schmidt:

$$Sc = \frac{v}{D_{AB}}$$

Donde:

$$D_{AB} = D_{H_2O-Aire} = 1,87 * 10^{-10} * \frac{T^{2,072}}{P}$$

$$D_{AB} = 1,87 * 10^{-10} * \frac{(322,7)^{2,072}}{1 \text{ atm}}$$

$$D_{AB} = 2,952 * 10^{-5} \frac{m^2}{s}$$

Reemplazando:

$$Sc = \frac{1,795 * 10^{-5} \frac{m^2}{s}}{2,952 * 10^{-5} \frac{m^2}{s}}$$

$$Sc = 0,60806$$

Con esto calcularemos el número de Sherwood:

$$Sh = 0,664 * Re_l^{0,5} * Sc^{\frac{1}{3}}$$

$$Sh = 0,664 * (7520,89137)^{0,5} * (0,60806)^{\frac{1}{3}}$$

$$Sh = 48,78484$$

Ahora calcularemos el coeficiente de transferencia de masa:

$$h_{masa} = \frac{Sh * D_{AB}}{D}$$

$$h_{masa} = \frac{(48,78484) \left(2,952 * 10^{-5} \frac{m^2}{s}\right)}{0,09 \text{ m}}$$

$$h_{masa} = 0,016 \frac{m}{s}$$

Por último, calcularemos el flujo másico de vapor:

$$\dot{m}_v = h_{masa} * A_s * (\rho_{v,s} - \rho_{v,\infty})$$

Donde:

$$A_s = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$A_s = \frac{\pi * (0,09)^2}{4}$$

$$A_s = 0,00636 \text{ m}^2$$

Determinaremos la densidad del vapor de agua en la superficie de la fruta:

$$\rho_{v,s} = \frac{P_{v,s}}{R_v * T_s}$$

$$\rho_{v,s} = \frac{7,17438 \text{ kPa}}{\left(0,4615 \frac{\text{kPa} * \text{m}^3}{\text{kg} * ^\circ\text{K}}\right) * (312,4^\circ\text{K})}$$

$$\rho_{v,s} = 0,04976 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Determinaremos la densidad del vapor de agua lejos de la superficie de la fruta:

$$\rho_{v,\infty} = \frac{P_{v,\infty}}{R_v * T_\infty}$$

Donde:

$$P_{v,\infty@60^\circ\text{C}} = \phi * P_{\text{Sat,Agua}@60^\circ\text{C}}$$

$$P_{v,\infty@60^\circ\text{C}} = 0,3 * (19,947 \text{ kPa})$$

$$P_{v,\infty@60^\circ\text{C}} = 5,9841 \text{ kPa}$$

Por lo que:

$$\rho_{v,\infty} = \frac{5,9841 \text{ kPa}}{\left(0,4615 \frac{\text{kPa} * \text{m}^3}{\text{kg} * ^\circ\text{K}}\right) * (333^\circ\text{K})}$$

$$\rho_{v,\infty} = 0,03894 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Por lo tanto, el flujo másico de vapor para una sección de fruta será igual a:

$$\dot{m}_v = h_{\text{masa}} * A_s * (\rho_{v,s} - \rho_{v,\infty})$$

$$\dot{m}_v = \left(0,016 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) * (0,00636 \text{ m}^2) * \left(0,04976 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - 0,03894 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$$

$$\dot{m}_v = 0,00000110104 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Para el flujo másico total de vapor multiplicaremos por 320 secciones que será la carga total del deshidratador:

$$\dot{m}_{vT} = \left(0,00000110104 \frac{\text{kg}}{\text{s}}\right) * 320$$

$$\dot{m}_{vT} = 0,000352332 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Los calculos se resumen en la Tabla 3-11. Donde contiene los valore calculados para las frutas seleccionadas.

**Tabla 3-11:** Flujos máscicos de vapor total.

| Frutas  | Diámetro de las secciones de fruta "D" [m] | Número de Reynolds "Re" | Número de Schmidt "Sc" | Número de Sherwood "Sh" | Coefficiente de transferencia de masa "hmasa" [m/s] | Área superficial "As" [m <sup>2</sup> ] | Flujo máscico de vapor por sección "mv" [Kg/s] | Número de secciones totales | Flujo máscico de vapor total "mv" [Kg/s] |
|---------|--|-------------------------|------------------------|-------------------------|---|---|--|-----------------------------|--|
| Piña    | 0,09                                       | 7520,89137              | 0,60806                | 48,78484                | 0,016   | 0,00636                                 | 1,101E-06                                      | 320                         | 0,0003523                                |
| Naranja | 0,07                                       | 5849,58217              | 0,60806                | 43,02418                | 0,01814   | 0,00385                                 | 7,557E-07                                      | 460                         | 0,0003476                                |
| Limón   | 0,06                                       | 5013,92758              | 0,60806                | 39,83265                | 0,019   | 0,00636                                 | 5,818E-07                                      | 600                         | 0,0003491                                |

Realizado por: López, D.; Toscano, C. 2023.

### 3.2.2.2. Cálculo del Flujo Máscico de aire requerido para el proceso de deshidratación

Es necesario conocer el flujo máscico de aire necesario para mi proceso de deshidratación, especialmente para controlar mi humedad relativa del ambiente ya que el flujo de vapor de las frutas alterará la humedad del ambiente donde se produce la deshidratación, para lo cual se aplica un balance de masa para el vapor de agua presente en nuestro sistema:

$$\dot{m}_{v1} + \dot{m}_{vT} = \dot{m}_{v2}$$

Donde:

$\dot{m}_{v1}$ : Flujo máscico de vapor contenida en el flujo máscico de aire en la entrada

$\dot{m}_{vT}$ : Flujo máscico de vapor de agua producido por la deshidratación

$\dot{m}_{v2}$ : Flujo máscico de vapor contenida en el flujo máscico de aire a la salida

Sabiendo que la humedad absoluta es igual a:

$$\omega = \frac{\dot{m}_v}{\dot{m}_a}$$

Tendremos:

$$\dot{m}_a \omega_1 + \dot{m}_{vT} = \dot{m}_a \omega_2$$

De ahí despejaremos la expresión para determinar el flujo de aire:

$$\dot{m}_a (\omega_2 - \omega_1) = \dot{m}_{vT}$$

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{m}_{vT}}{(\omega_2 - \omega_1)}$$

Donde:

$\omega_2$ : Humedad absoluta a la temperatura de 60°C y 30% de humedad relativa

$$\dot{m}_a = \frac{0,0003523328 \frac{kg}{s}}{0,0385 - 0,006}$$

$$\dot{m}_a = 0,01084 \frac{kg}{s}$$

Este será el flujo másico requerido en cada bandeja para garantizar las condiciones de secado antes mencionadas.

### 3.2.3. Selección de ventilador.

Debido principalmente al espacio disponible, caudal requerido y disponibilidad en el mercado seleccionamos un ventilador con las siguientes características:

$$D = 8 \text{ in}$$

$$\text{Velocidad} = 1600 \text{ rpm}$$

$$Q = 780 \frac{m^3}{h} = 0,21667 \frac{m^3}{s}$$

Deberemos verificar que estos ventiladores me suministren el flujo másico requerido para cada bandeja por lo que el caudal en cada bandeja será de:

$$Q = \frac{0,21667 \frac{m^3}{s}}{20}$$

$$Q = 0,01083 \frac{m^3}{s}$$

Calculamos el flujo másico suministrado para saber si satisface nuestro caudal requerido:

$$\dot{m}_a = \rho * v * A$$

$$\dot{m}_a = \rho * Q$$

Donde:

$\rho$ : Densidad del aire @ 60°C

$$\dot{m}_a = \left(1,059 \frac{kg}{m^3}\right) * \left(0,01083 \frac{m^3}{s}\right)$$

$$\dot{m}_a = 0,01147 \frac{kg}{s}$$

Verificamos que cumpla:

$$\dot{m}_{a,requerido} \leq \dot{m}_{a,suministrado}$$

$$0,01084 \frac{kg}{s} \leq 0,01147 \frac{kg}{s}$$

Observamos que el ventilador si cumplen con las condiciones deseadas, además de alterar en mínima manera el flujo másico por lo que no es necesario iterar nuevamente.

### 3.2.4. Dimensionamiento de la entrada de aire a las bandejas

Obtenido el caudal suministrado a cada bandeja puedo obtener el área necesaria para que se cumpla nuestra velocidad de diseño:

$$A = \frac{Q}{v}$$
$$A = \frac{0,0260004 \frac{m^3}{s}}{1,5 \frac{m}{s}}$$
$$A = 0,01733 m^2$$

Con esta área dimensionaremos el ancho de las bandejas y el espacio que puede existir entre ellas, para garantizar el área requerida por lo que asumiremos las siguientes medidas:

$$\text{ancho de la bandeja} = 0,475 m$$
$$\text{espacio entre bandejas} = 0,04 m$$
$$\text{espesor de la bandeja} = 0,0035 m$$

Con estas dimensiones garantizo que el área que existirá entre bandejas sea:

$$A = \text{ancho de la bandeja} * (\text{espacio entre bandejas} - \text{espesor de la bandeja})$$
$$A = 0,475 * (0,04 - 0,0035)$$
$$A = 0,01734 m^2$$

Observamos que el error en el cálculo tanto en el flujo másico como en el área es menor del 1% por lo que comprobamos que nuestros valores asumidos al principio son correctos, por lo tanto, en adelante consideraremos para los cálculos los valores reales y la humedad relativa deseada, es decir:

$$\phi = 30\%$$
$$v = 1,5 \frac{m}{s}$$
$$\dot{m}_a = 0,02754 \frac{kg}{s}$$
$$\dot{m}_v = 0,00000220208 \frac{kg}{s}$$
$$\dot{m}_{vT} = 0,00088083456 \frac{kg}{s}$$
$$A = 0,01734 m^2$$
$$\text{ancho de la bandeja} = 0,475 m$$
$$\text{espacio entre bandejas} = 0,04 m$$
$$\text{espesor de la bandeja} = 0,0035 m$$



Estos valores nos ayudarán a seguir con el diseño térmico, así como también con el diseño mecánico que lo realizaremos posteriormente.

### 3.2.5. *Calor Sensible*

Realizaremos el cálculo de nuestro calor necesario para calentar al producto desde la temperatura ambiental, a la temperatura ambiente dentro de la cámara:

$$Q_S = mC_p\Delta T$$

$$Q_S = m_T C_p (T_2 - T_1)$$

Calcularemos el calor específico de nuestra fruta basándonos en su contenido de humedad inicial:

$$C_p = 0,837 + 3,349(w_{bh})$$

$$C_p = 0,837 + 3,349(0,849)$$

$$C_p = 3,6803 \frac{kJ}{kg^\circ K}$$

$$Q_S = (0,07kg) \left( 3,6803 \frac{kJ}{kg^\circ K} \right) (333 - 283)^\circ K$$

$$Q_S = 12,88105 kJ$$

Para calcular la razón de transferencia de calor sensible dividiremos nuestro calor para el tiempo necesario para calentar la fruta. Este tiempo se lo calculará aplicando la teoría de conducción de calor en régimen transitorio y asumiendo que se trata de una placa plana, siendo así:

Calculamos el número de Biot:

$$Bi = \frac{h * l}{k}$$

Para lo que primero calculamos el coeficiente convectivo, para lo cual nos basaremos en la expresión del número de Nusselt:

$$Nu = \frac{h * L}{k} = 0,664 * Re_l^{0,5} * Pr^{\frac{1}{3}}$$

Calculamos el número de Reynolds:

Sabiendo que:

$$T_f = 49,7^\circ C$$

Entonces:

$$Re = \frac{v * D}{\nu}$$

$$Re = \frac{\left(1,5 \frac{m}{s}\right) (0,09 m)}{1,795 * 10^{-5} \frac{m^2}{s}}$$

$$Re = 7520,89137$$

El número de Prandtl y el coeficiente de conducción del aire los determinaremos utilizando tablas de propiedades del aire a la temperatura fílmica:

$$Pr = 0,722878$$

$$k = 0,0273284 \frac{W}{m * ^\circ C}$$

Determinaremos el número de Nusselt:

$$Nu = 0,664 * Re_l^{0,5} * Pr^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu = 0,664 * (7520,89137)^{0,5} * (0,722878)^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu = 51,68023$$

De aquí despejaremos el coeficiente convectivo deseado:

$$Nu = \frac{h * L}{k}$$

$$h = \frac{Nu * k}{L}$$

$$h = \frac{(51,68023) * \left(0,0273284 \frac{W}{m * ^\circ C}\right)}{0,09 m}$$

$$h = 15,69264 \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

A continuación, se presenta la Tabla 3-12. De resumen para el cálculo de coeficientes convectivos.

**Tabla 3-12:** Coeficientes convectivos.

| Frutas  | Diámetro de las secciones de fruta "D" [m] | Número de Reynolds "Re" | Número de Prandtl "Pr" | Número de Nusselt "Nu" | Conductividad térmica del aire "K" [W/m.K] | Diámetro de las secciones de fruta "L" [m] | Coficiente convectivo "h" |
|---------|--|-------------------------|------------------------|------------------------|--|--|---------------------------|
| Piña    | 0,09                                       | 7520,89137              | 0,72288                | 51,68023               | 0,0273284                                  | 0,09                                       | 15,69264                  |
| Naranja | 0,07                                       | 5849,58217              | 0,72288                | 45,57768               | 0,0273284                                  | 0,07                                       | 17,79378                  |
| Limón   | 0,06                                       | 5013,92758              | 0,72288                | 42,19673               | 0,0273284                                  | 0,06                                       | 19,21948                  |

Realizado por: López, D.; Toscano, C. 2023.

Con esto procedemos a calcular como lo dijimos anteriormente el número de Biot:

$$Bi = \frac{h * l}{k}$$

Donde:

$k = 0,549 \frac{W}{m * ^\circ C}$  → Coeficiente de conducción de la piña

$$Bi = \frac{\left(15,69264 \frac{W}{m^2 * ^\circ C}\right) * (0,0035m)}{0,549 \frac{W}{m * ^\circ C}}$$

$$Bi = 0,1$$

Con el número de Biot determinamos los coeficientes:

$$\lambda_1 = 0,3111$$

$$A_1 = 1,0161$$

Por último, para determinar el tiempo utilizamos la siguiente expresión:

$$\frac{T_0 - T_\infty}{T_i - T_\infty} = A_1 * e^{-\lambda_1^2 * \tau}$$

$$\frac{(39,4 \text{ } ^\circ C) - (60 \text{ } ^\circ C)}{(10 \text{ } ^\circ C) - (60 \text{ } ^\circ C)} = (1,0161) * e^{-(0,3111)^2 * \tau}$$

Despejamos el tiempo adimensional que será igual a:

$$\tau = 9,32707$$

A continuación, se presenta la Tabla 3-13. De resumen para el cálculo tiempos adimensionales.

**Tabla 3-13:** Tiempos adimensionales.

| Frutas  | Coeficiente de conducción de las frutas "k" [W/m.K] | Mitad del espesor de las secciones de fruta "l" [m] | Número de Biot "Bi" | Coeficiente $\lambda_1$ | Coeficiente A1 | Tiempo adimensional "T" |
|---------|---|---|---------------------|-------------------------|----------------|-------------------------|
| Piña    | 0,549   | 0,0035  | 0,10004             | 0,3111                  | 1,0161         | 9,32707                 |
| Naranja | 0,58  | 0,0035  | 0,10738             | 0,32008                 | 1,01721        | 8,82172                 |
| Limón   | 0,49  | 0,0035  | 0,13728             | 0,35647                 | 1,02169        | 7,14711                 |

Realizado por: López, D.; Toscano, C. 2023.

Entonces conociendo la definición del número de Fourier deduciremos el tiempo:

$$\tau = \frac{\alpha t}{l^2} = Fo$$

$$t = \frac{\tau * l^2}{\alpha}$$

Determinaremos la difusividad térmica usando la expresión:

$$\alpha = \frac{k}{\rho * C_p}$$

$$\alpha = \frac{0,549 \frac{W}{m * ^\circ C}}{\left(1010 \frac{kg}{m^3}\right) * \left(3680,3 \frac{J}{kg * K}\right)}$$

$$\alpha = 0,1477 * 10^{-6}$$

Con lo cual el tiempo necesario para calentar la fruta a cierta temperatura será igual:

$$t = \frac{(9,32707) * (0,0035m)^2}{0,1477 * 10^{-6}}$$

$$t = 773,570 s$$

$$t = 0,215 horas$$

A continuación, se presenta la Tabla 3-14. De resumen para el cálculo tiempo del calor sensible.

**Tabla 3-14:** Tiempos del calor sensible.

| Frutas  | Flujo másico de vapor total "mv" [Kg/s] | Densidad "ρ" [Kg/m <sup>3</sup> ] | Calor específico de la fruta "Cp" [J/Kg.K] | Difusividad térmica "α" | Tiempo "t" [s] | Tiempo "t" [h] |
|---------|---|-----------------------------------|--|-------------------------|----------------|----------------|
| Piña    | 9,477235036                             | 1010                              | 3680,3                                     | 1,477E-07               | 773,59         | 0,215          |
| Naranja | 8,973538411                             | 1030                              | 3713,79                                    | 1,516E-07               | 712,71         | 0,198          |
| Limón   | 7,302135865                             | 1000                              | 3911,38                                    | 1,253E-07               | 698,88         | 0,194          |

Realizado por: López, D.; Toscano, C. 2023.

Para calcular la razón de transferencia de calor sensible dividiremos nuestro calor para el tiempo necesario para calentar nuestra fruta:

$$\dot{Q}_s = \frac{Q_s}{t}$$

$$\dot{Q}_s = \frac{12,88105 kJ}{773,57216 s}$$

$$\dot{Q}_s = 0,01665 kW$$

Este valor se lo ajustará a la capacidad total del deshidratador que estimamos sea de unas 320 secciones de piña.

$$\dot{Q}_S = (0,01655 \text{ kW}) * 320$$

$$\dot{Q}_S = 5,328 \text{ kW}$$

A continuación, se presenta la Tabla 3-15. De resumen para el cálculo razón de transferencia de calor sensible total.

**Tabla 3-15:** Razon de tranferencia de calor sensible total.

| FRUTAS  | Masa de cada sección "m" [Kg] | Calor sensible "Qs" [KJ] | Razón de transferencia de calor sensible [KW] | Número de secciones totales | Razón de transferencia de calor sensible total [KW] |
|---------|-------------------------------|--------------------------|---|-----------------------------|---|
| Piña    | 0,07                          | 12,88105                 | 0,01665                                       | 320                         | 5,33  |
| Naranja | 0,028                         | 5,10646                  | 0,00716                                       | 460                         | 3,30  |
| Limón   | 0,02                          | 3,91138                  | 0,00560                                       | 600                         | 3,36  |

Realizado por: López, D.; Toscano, C. 2023.

### 3.2.6. Calor latente

Calcularemos el calor necesario para evaporar parte del agua de nuestro producto, calculada a la temperatura del agua que se encontrará en la superficie del producto que será igual a la temperatura de bulbo húmedo del aire.

$$Q_L = m_{\text{agua, evap}} h_{fg@Temp, bulbo, humedo, aire}$$

Donde:

$$h_{fg@Temp, bulbo, humedo, aire} = h_{fg@39,4^\circ\text{C}} = 2407,428 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Para calcular la masa de agua a evaporarse tendremos que entender que tienen diferentes humedades de bulbo húmedo, una inicial del producto a sin deshidratar y una final a la que deseamos llegar luego del proceso de deshidratación. (Orrego,2003)

$$\% w_{bh, inicial} = 84,9\%$$

$$\% w_{bh, final} = 10\%$$

El primer paso será calcular la masa sólida seca la cual será constante para el proceso como lo mencionamos con anterioridad:

Sabiendo que:

$$w_{bh, inicial} = \frac{m_{\text{agua, inicial}}}{m_{\text{Total, inicial}}}$$

Despejaremos la masa de agua inicial:

$$m_{agua,inicial} = w_{bh,inicial} * m_{Total,inicial}$$

$$m_{agua,inicial} = (0,849)(0,07 \text{ kg})$$

$$m_{agua,inicial} = 0,05943 \text{ kg}$$

Calcularemos la masa sólida seca constante la cual será igual a:

$$m_{sólida \text{ seca}} = m_{Total,inicial} - m_{agua,inicial}$$

$$m_{sólida \text{ seca}} = 0,07 \text{ kg} - 0,05943 \text{ kg}$$

$$m_{sólida \text{ seca}} = 0,01057 \text{ kg}$$

Ahora calcularemos las humedades en base sólida inicial y final, ya que estas relacionan la masa sólida seca:

$$w_{bs,inicial} = \frac{m_{agua,inicial}}{m_{sólida \text{ seca}}}$$

$$w_{bs,inicial} = \frac{0,05943 \text{ kg}}{0,01057 \text{ kg}}$$

$$w_{bs,inicial} = 5,62252$$

Para la humedad en base sólida final debido a que no se conoce la masa de agua final contenida en el producto, se utilizará la ecuación que está en función de la humedad de base húmeda la cual si la conocemos:

$$w_{bs,final} = \frac{w_{bh,final}}{1 - w_{bh,final}}$$

$$w_{bs,final} = \frac{0,1}{1 - 0,1}$$

$$w_{bs,final} = 0,11111$$

Con este valor calcularemos la masa de agua final contenida a la humedad final deseada, sabiendo que:

$$w_{bs,final} = \frac{m_{agua,final}}{m_{sólida \text{ seca}}}$$

Ahora restaremos las dos humedades para poder relacionar estas expresiones resultando:

$$w_{bs,inicial} - w_{bs,final} = \frac{m_{agua,inicial}}{m_{sólida \text{ seca}}} - \frac{m_{agua,final}}{m_{sólida \text{ seca}}}$$

Resolviendo:

$$w_{bs, inicial} - w_{bs, final} = \frac{m_{agua, inicial} - m_{agua, final}}{m_{sólida\ seca}}$$

Despejando:

$$m_{agua, inicial} - m_{agua, final} = (w_{bs, inicial} - w_{bs, final})m_{sólida\ seca}$$

Sabiendo que la resta de la masa inicial y final del agua a las humedades requeridas nos dará la masa de agua evaporable:

$$m_{agua, evaporable} = m_{agua, inicial} - m_{agua, final}$$

Entonces tendremos:

$$m_{agua, evaporable} = (w_{bs, inicial} - w_{bs, final})m_{sólida\ seca}$$

$$m_{agua, evaporable} = (5,62252 - 0,11111)(0,01057\ kg)$$

$$m_{agua, evaporable} = 0,05826\ kg$$

Habiendo calculado la masa de agua evaporable y la entalpía de vaporización procederemos a calcular el calor latente de vaporización de la masa de agua deseada:

$$Q_L = m_{agua, evap} h_{fg@Temp, bulbo, humedo, aire}$$

$$Q_L = (0,05826\ kg) \left( 2407,428 \frac{kJ}{kg} \right)$$

$$Q_L = 140,25676\ kJ$$

Para calcular la razón de transferencia calor latente dividiremos nuestro calor para el tiempo que tome la evaporación de la masa de agua. Este tiempo se lo calculará a partir del flujo másico de evaporación ya calculado con anterioridad:

$$\dot{m}_v = 0,00000221722 \frac{kg}{s}$$

Sabiendo que:

$$\dot{m}_v = \frac{m_{agua, evaporable}}{t}$$

Donde el tiempo será igual a:

$$t = \frac{m_{agua, evaporable}}{\dot{m}_v}$$

$$t = \frac{0,05826 \text{ kg}}{0,00000220208 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}$$

$$t = 26448,15689 \text{ s}$$

$$t = 7,34671 \text{ horas}$$

A continuación, se presenta la Tabla 3-16, de resumen para el cálculo los tiempos de deshidratación.

**Tabla 3-16:** Tiempos de deshidratación.

| Frutas  | % de humedad de bulbo húmedo inicial | Masa total inicial [Kg] | Masa de agua inicial [Kg] | Masa sólida seca [Kg] | Humedad en base sólida inicial | Humedad en base sólida final | Masa de agua evaporable [Kg] | Flujo másico de vapor total "mv" [Kg/s] | Tiempo de deshidratación [s] | Tiempo de deshidratación [h] |
|---------|--------------------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|---|------------------------------|------------------------------|
| Piña    | 84,9                                 | 0,07                    | 0,05943                   | 0,01057               | 5,62252                        | 0,11111                      | 0,05826                      | 2,2E-06                                 | 26454,78618                  | 7,35                         |
| Naranja | 85,9                                 | 0,028                   | 0,02362                   | 0,00388               | 6,09220                        | 0,11111                      | 0,02319                      | 1,51E-06                                | 15345,50828                  | 4,26                         |
| Limón   | 91,8                                 | 0,02                    | 0,01836                   | 0,00164               | 11,19512                       | 0,11111                      | 0,01818                      | 1,16E-06                                | 15622,28448                  | 4,34                         |

Realizado por: López, D.; Toscano, C. 2023.

Para calcular la razón de transferencia de calor latente dividiremos nuestro calor ya calculado para el tiempo necesario para evaporar la masa de agua deseada:

$$\dot{Q}_L = \frac{Q_L}{t}$$

$$\dot{Q}_L = \frac{140,25676 \text{ kJ}}{26276,14761 \text{ s}}$$

$$\dot{Q}_L = 0,00534 \text{ kW}$$

Este valor se lo ajustará a la capacidad total del deshidratador que estimamos sea de unas 320 secciones de piña.

$$\dot{Q}_L = (0,00534 \text{ kW}) * 320$$

$$\dot{Q}_L = 1,70 \text{ kW}$$

A continuación, se presenta la Tabla 3-17. De resumen para el cálculo de la razón de transferencia de calor total.

**Tabla 3-17:** Razon de tranferencia de calor total.

| Frutas  | Calor latente de vaporización "QI" [KJ] | Razón de transferencia de calor latente [KW] | Número de secciones totales | Razón de transferencia de calor latente total [KW] |
|---------|---|--|-----------------------------|--|
| Piña    | 140,246                                 | 0,0053                                       | 320                         | 1,70   |
| Naranja | 55,832                                  | 0,0036                                       | 460                         | 1,67   |
| Limón   | 43,762                                  | 0,0028                                       | 600                         | 1,68   |

Realizado por: López, D.; Toscano, C. 2023.



### 3.2.7. Cálculo del calor útil

Finalmente calcularemos el calor útil de nuestro producto, que será el resultado de la suma del calor sensible más el calor latente producido en el sistema:

$$\dot{Q}_{Util} = \dot{Q}_S + \dot{Q}_L$$

$$\dot{Q}_{Util} = 5,328 \text{ kW} + 1,70 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{Util} = 7,02 \text{ kW}$$

A continuación, se presenta la Tabla 3-18. De resumen para el cálculo del calor útil.

**Tabla 3-18:** Calor útil.

| Frutas  | Razón de transferencia de calor sensible total [KW] | Razón de transferencia de calor latente total [KW] | Calor útil [KW] |
|---------|---|--|-----------------|
| Piña    | 5,33  | 1,70   | 7,02            |
| Naranja | 3,30  | 1,67   | 4,97            |
| Limón   | 3,36  | 1,68   | 5,04            |

Realizado por: López, D.; Toscano, C. 2023.

### 3.2.8. Tiempo de Secado

El tiempo total necesario para el proceso de deshidratación se lo determinará sumando los tiempos empleados, tanto en calor sensible como en calor latente, lo que me resulta:

$$t_{deshidratación} = 0,215 \text{ horas} + 7,347 \text{ horas}$$

$$t_{deshidratación} = 7,562 \text{ horas}$$

A continuación, se presenta la Tabla 3-19. De resumen para el cálculo tiempo total de secado.

**Tabla 3-19:** Tiempo total de secado.

| Frutas  | Tiempo de calor sensible [h] | Tiempo de calor latente [h] | Tiempo total de secado [h] |
|---------|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Piña    | 0,215                        | 7,349                       | 7,56                       |
| Naranja | 0,198                        | 4,263                       | 4,46                       |
| Limón   | 0,194                        | 4,340                       | 4,53                       |

Realizado por: López, D.; Toscano, C. 2023.

### 3.2.9. Resistencia térmica

Analizaremos el caso de una pared lateral donde existirá transferencia de calor provocada por la convección forzada en el interior y convección natural en el exterior del deshidratador, además de también existir transferencia de calor por conducción en las paredes y en el aislante. La resistencia térmica total que existirá en la pared lateral será:

$$R_{Total} = R_i + R_1 + R_2 + R_3 + R_o$$

Donde:

$R_{Total}$ : Resistencia total de la pared

$R_i$ : Resistencia producida por la convección forzada de calor al interior del deshidratador

$R_1$ : Resistencia por la conducción de calor en la pared interna del deshidratador

$R_2$ : Resistencia por la conducción de calor en el aislante formado por lana de vidrio

$R_3$ : Resistencia por la conducción de calor en la pared externa del deshidratador

$R_o$ : Resistencia producida por la convección natural al exterior del deshidratador

Para encontrar esta resistencia deberemos encontrar principalmente los coeficientes convectivos de calor que dependerá de varias condiciones, a diferencia de los coeficientes de conductividad térmica que ya están tabulados.

#### 3.2.9.1. Resistencia por conducción en las paredes $R_1$ , $R_3$ .

La resistencia por conducción de las paredes tanto en el interior como en el exterior serán iguales debido a que están hechas del mismo material, con el mismo espesor. El material será acero inoxidable 430.

$$R_1 = R_3 = \frac{L_1}{k_1 A}$$

Donde:

$L_1$ : Espesor de la plancha de acero inoxidable 430

$k_1$ : Conductividad térmica del acero inoxidable 430

$A$ : Área de transferencia de calor

$$R_1 = R_3 = \frac{0,001 \text{ m}}{\left(26,1 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}}\right) * (1,0088 \text{ m}^2)}$$
$$R_1 = R_3 = 0,000038 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$$

### 3.2.9.2. Resistencia por conducción en el aislante R2.

El aislante seleccionado es lana de vidrio el cual tiene una baja conductividad térmica lo que significa que actuará como un buen aislante.

$$R_2 = \frac{L_2}{k_2 A}$$

$L_2$ : Espesor de la capa de lana de vidrio

$k_2$ : Conductividad térmica de la lana de vidrio

$A$ : Área de transferencia de calor

$$R_2 = \frac{0,05m}{\left(0,038 \frac{W}{m^{\circ}C}\right) * (1,0088 m^2)}$$
$$R_2 = 1,30431 \frac{^{\circ}C}{W}$$

### 3.2.9.3. Resistencias convectivas.

Para hallar las resistencias convectivas primero tendremos que determinar los coeficientes convectivos para lo cual tendremos que asumir las temperaturas superficiales en que se encuentran las paredes, para posteriormente a través de un proceso iterativo recalculamos estas propiedades y determinar el valor real de las mismas. Esto se logra al saber que la razón de transferencia de calor será constante a lo largo del circuito.

$$R_{convección} = \frac{1}{h * A}$$

Donde:

$h$ : Coeficiente convectivo

$A$ : Área de transferencia de calor

Realizaremos el proceso realizado en la primera iteración y luego mostraremos los resultados tabulados para las demás iteraciones.

### **Primera iteración se las resistencias Ri y Ro.**

#### **Resistencia convectiva Ri.**

Para determinar la resistencia convectiva al interior de la cámara se tendrá que determinar el coeficiente convectivo producido en convección forzada para lo cual asumiremos la temperatura superficial de la pared al interior de la cámara para determinar las propiedades a la temperatura de película:

$T_1 = 55^\circ\text{C}$  : Temperatura superficial asumida de la plancha de acero inoxidable 430

Determinamos la temperatura de película:

$$T_f = \frac{T_{\infty 1} + T_1}{2}$$
$$T_f = \frac{60^\circ\text{C} + 55^\circ\text{C}}{2}$$
$$T_f = 57,5^\circ\text{C}$$

Ahora determinamos las propiedades necesarias del aire a esta temperatura de película:

$$k = 0,0278975 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$$
$$\nu = 0,000018715 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$
$$Pr = 0,72085$$

Calculamos el Número de Reynolds:

$$Re = \frac{v \cdot L}{\nu}$$

Donde:

$Re$ : Número de Reynolds

$v$ : Velocidad del aire

$L$ : Distancia recorrida por el fluido

$\nu$ : Viscosidad dinámica del aire a la temperatura de película

$$Re = \frac{\left(1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) (0,82 \text{ m})}{1,8715 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}$$
$$Re = 65722,68234$$

Calculamos el número de Nusselt:

$$Nu = 0,664 \cdot Re_l^{0,5} \cdot Pr^{\frac{1}{3}}$$
$$Nu = 0,664 \cdot (65722,68234)^{0,5} \cdot (0,72085)^{\frac{1}{3}}$$
$$Nu = 152,63028$$

De aquí despejaremos el coeficiente convectivo deseado:

$$Nu = \frac{h \cdot L}{k}$$
$$h = \frac{Nu \cdot k}{L}$$

$$h = \frac{(152,63028) * \left(0,0278975 \frac{W}{m * ^\circ C}\right)}{0,82 m}$$

$$h = 5,19269 \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

Con esto calcularemos nuestra resistencia térmica:

$$R_i = \frac{1}{h * A}$$

$$R_i = \frac{1}{\left(5,19269 \frac{W}{m^2 * ^\circ C}\right) * (1,0088 m^2)}$$

$$R_i = 0,1909 \frac{^\circ C}{W}$$

### Resistencia convectiva Ro

Para determinar la resistencia convectiva al exterior de la cámara se tendrá que determinar el coeficiente convectivo producido en convección natural para lo cual asumiremos la temperatura superficial de la pared al exterior de la cámara para determinar las propiedades a la temperatura de película:

$T_1 = 30^\circ C$ : Temperatura superficial asumida de la plancha de acero inoxidable 430

Determinamos la temperatura de película:

$$T_f = \frac{T_{\infty 2} + T_2}{2}$$

$$T_f = \frac{10^\circ C + 30^\circ C}{2}$$

$$T_f = 20^\circ C$$

Ahora determinamos las propiedades necesarias del aire a esta temperatura de película:

$$k = 0,02514 \frac{W}{m * ^\circ C}$$

$$v = 0,00001516 \frac{m^2}{s}$$

$$Pr = 0,7309$$

Calculamos el Número de Rayleigh:

$$Ra_L = \frac{g * \beta * (T_S + T_\infty) * L^3}{v^2} * Pr$$

$$Ra_L = \frac{\left(9,81 \frac{m}{s^2}\right) \left(\frac{1}{293^{\circ}K}\right) * (30 - 10)^{\circ}K * (1,3)^3}{1,516 * 10^{-5} \frac{m^2}{s}} * (0,7309)$$

$$Ra_L = 4,6787 * 10^9$$

Calculamos el número de Nusselt:

$$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 * Ra_L^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0,429}{Pr}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{8}{27}}}\right\}^2$$

$$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 * (4,67865 * 10^9)^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0,429}{0,7309}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{8}{27}}}\right\}^2$$

$$Nu = 203,18$$

De aquí despejaremos el coeficiente convectivo deseado:

$$Nu = \frac{h * L}{k}$$

$$h = \frac{Nu * k}{L}$$

$$h = \frac{(203,18) * \left(0,02514 \frac{W}{m * ^{\circ}C}\right)}{1,3 m}$$

$$h = 3,92919 \frac{W}{m^2 * ^{\circ}C}$$

Con esto calcularemos nuestra resistencia térmica:

$$R_o = \frac{1}{h * A}$$

Donde:

$R_o$ : Resistencia producida por la convección natural al exterior del deshidratador

$h$ : Coeficiente convectivo

$A$ : Área de transferencia de calor

$$R_o = \frac{1}{\left(3,92919 \frac{W}{m^2 * ^{\circ}C}\right) * (1,0088 m^2)}$$

$$R_o = 0,25229 \frac{^{\circ}C}{W}$$

### 3.2.9.4. Resistencia total

Calculadas las resistencias tanto por convección como por conducción calcularemos las resistencias totales sumándolas:

$$R_{Total} = R_i + R_1 + R_2 + R_3 + R_o$$
$$R_{Total} = 0,1909 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} + 0,000038 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} + 1,30431 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} + 0,000038 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} + 0,25229 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$
$$R_{Total} = 1,74757 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

### 3.2.10. Razón de transferencia de calor por pérdidas.

Calculada la resistencia total podremos calcular la razón de transferencia de calor:

$$\dot{Q}_P = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{Total}}$$
$$\dot{Q}_P = \frac{60^{\circ}\text{C} - 10^{\circ}\text{C}}{1,74757 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}}$$
$$\dot{Q}_P = 28,61113 \text{ W}$$

Este valor será constante en el circuito térmico por lo que podremos volver a calcular las temperaturas superficiales que asumimos anteriormente para realizar otra iteración hasta que se establezcan los valores de temperatura.

Determinamos T1:

$$\dot{Q}_P = \frac{T_{\infty 1} - T_1}{R_i}$$
$$T_1 = T_{\infty 1} - \dot{Q}_P * R_i$$
$$T_1 = 60^{\circ}\text{C} - (28,61113 \text{ W}) * \left(0,1909 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}\right)$$
$$T_1 = 54,53817^{\circ}\text{C}$$

Determinamos T4:

$$\dot{Q}_P = \frac{T_4 - T_{\infty 2}}{R_o}$$
$$T_4 = T_{\infty 2} + \dot{Q}_P * R_o$$
$$T_4 = 10^{\circ}\text{C} + (28,61113 \text{ W}) * \left(0,25229 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}\right)$$
$$T_4 = 17,21817^{\circ}\text{C}$$

Con estos valores volveremos a calcular las temperaturas de película  $T_f$  para cada caso y volveremos a realizar el mismo proceso desarrollado anteriormente hasta conseguir un nuevo calor. Este proceso se terminará al estabilizarse los valores para lo cual presentaremos las siguientes tablas que resumen los cálculos:

Para la temperatura  $T_1$ :

**Tabla 3-20:** Iteración de temperatura la  $T_1$ .

| T1     | Tfi    | k       | Viscosidad | Pr      | Re          | Nu        | hi    | Ri    |
|--------|--------|---------|------------|---------|-------------|-----------|-------|-------|
| 55,000 | 57,500 | 0,02790 | 0,00002    | 0,72085 | 65722,68234 | 152,63028 | 5,193 | 0,191 |
| 54,538 | 57,269 | 0,02788 | 0,00002    | 0,72091 | 65803,55232 | 152,72839 | 5,193 | 0,191 |
| 54,806 | 57,403 | 0,02789 | 0,00002    | 0,72088 | 65754,30343 | 152,66911 | 5,193 | 0,191 |
| 54,733 | 57,367 | 0,02789 | 0,00002    | 0,72088 | 65768,36702 | 152,68543 | 5,193 | 0,191 |
| 54,751 | 57,375 | 0,02789 | 0,00002    | 0,72088 | 65764,85056 | 152,68135 | 5,193 | 0,191 |
| 54,746 | 57,373 | 0,02789 | 0,00002    | 0,72088 | 65764,85056 | 152,68135 | 5,193 | 0,191 |
| 54,747 | 57,374 | 0,02789 | 0,00002    | 0,72088 | 65764,85056 | 152,68135 | 5,193 | 0,191 |
| 54,747 |        |         |            |         |             |           |       |       |

Realizado por: López, D.; Toscano, C. 2023.

Para la temperatura  $T_4$ :

**Tabla 3-21:** Iteración de la temperatura  $T_4$ .

| T4     | Tfo    | k     | Pr    | Viscosidad | B      | Ra         | Nu      | ho    | Ro    |
|--------|--------|-------|-------|------------|--------|------------|---------|-------|-------|
| 30,000 | 20,000 | 0,025 | 0,731 | 0,0000152  | 0,0034 | 4678654753 | 203,180 | 3,929 | 0,252 |
| 17,218 | 13,609 | 0,025 | 0,733 | 0,0000146  | 0,0035 | 1870783998 | 152,609 | 2,895 | 0,342 |
| 19,317 | 14,658 | 0,025 | 0,732 | 0,0000147  | 0,0035 | 2375554124 | 164,388 | 3,127 | 0,317 |
| 18,746 | 14,373 | 0,025 | 0,732 | 0,0000146  | 0,0035 | 2241529009 | 161,441 | 3,069 | 0,323 |
| 18,883 | 14,441 | 0,025 | 0,732 | 0,0000147  | 0,0035 | 2273026175 | 162,144 | 3,083 | 0,322 |
| 18,848 | 14,424 | 0,025 | 0,732 | 0,0000147  | 0,0035 | 2264291858 | 161,950 | 3,080 | 0,322 |
| 18,857 | 14,428 | 0,025 | 0,732 | 0,0000147  | 0,0035 | 2266493184 | 161,999 | 3,080 | 0,322 |
| 18,855 |        |       |       |            |        |            |         |       |       |

Realizado por: López, D.; Toscano, C. 2023.

### 3.2.11. Pérdidas de calor.

Las pérdidas de calor se traducen como la razón de transferencia de calor que existirá dentro de la cámara de secado hacia el exterior, para lo cual se utiliza la resistencia térmica total que se iterará con los parámetros antes descritos. Así tendremos:

$$\dot{Q}_P = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{Total}}$$



**Tabla 3-22:** Resultado de las iteraciones.

| <b>RT</b> | <b>Q</b> |
|-----------|----------|
| 1,74757   | 28,611   |
| 1,83770   | 27,208   |
| 1,81227   | 27,590   |
| 1,81832   | 27,498   |
| 1,81679   | 27,521   |
| 1,81718   | 27,515   |
| 1,81708   | 27,517   |

Realizado por: López, D.; Toscano, C. 2023.

Observamos que para conseguir que los valores se estabilicen se tuvo que realizar siete iteraciones, las cuales me darán como resultado:

$$T_1 = 54,747 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_4 = 18,555 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\dot{Q}_P = 27,517 \text{ W}$$

Para calcular la razón de transferencia de calor por pérdidas totales, a este valor lo deberemos multiplicar por cuatro para todas las paredes:

$$\dot{Q}_{P,Total} = (27,517 \text{ W}) * 4$$

$$\dot{Q}_{P,Total} = 110,068 \text{ W}$$

A continuación, se presenta la Tabla 3-23. De resumen para el cálculo razón de transferencia de calor total.

**Tabla 3-23:** Razon de tranferencia de calor total.

| Frutas  | Calor útil [KW] | Razón de transferencia de calor por pérdidas [KW] | Razón de transferencia de calor necesario para calentar el aire dentro de la cámara "Qe" [KW] | Razón de transferencia de calor total necesario [KW] |
|---------|-----------------|---|---|--|
| Piña    | 7,02            | 0,11  | 13,57   | 20,70  |
| Naranja | 4,97            | 0,11  | 13,57   | 18,65  |
| Limón   | 5,04            | 0,11  | 13,57   | 18,71  |

Realizado por: López, D.; Toscano, C. 2023.

### 3.2.12. Calor necesario para calentar el aire que circula en la cámara de secado.

Deberemos calcular el calor necesario para calentar el flujo de masa que circula dentro de la cámara. Para lo cual primero calcularemos el flujo másico que entra a la cámara.

Sabiendo que el caudal suministrado mediante el ventilador es:

$$Q = 0,21667 \frac{m^3}{s}$$

Calculamos el flujo másico suministrado en la entrada:

$$\dot{m}_a = \rho * v * A$$

$$\dot{m}_a = \rho * Q$$

$$\dot{m}_a = \left(1,246 \frac{kg}{m^3}\right) * \left(0,21667 \frac{m^3}{s}\right)$$

$$\dot{m}_a = 0,26997 \frac{kg}{s}$$

Entonces la razón de transferencia de calor necesario para calentar el aire dentro de la cámara será:

$$\dot{Q}_e = \dot{m}_a * Cp * (T_2 - T_1)$$

$$\dot{Q}_e = \left(0,26997 \frac{kg}{s}\right) * \left(1,005 \frac{kJ}{kg^{\circ}C}\right) * (60^{\circ}C - 10^{\circ}C)$$

$$\dot{Q}_e = 13,56599 kW$$

### 3.2.13. Calor necesario para todo el proceso de deshidratación.

La razón de transferencia de calor necesario para realizar el proceso de deshidratación será igual a la suma de todas las razones calculadas tanto para calentar la fruta como para calentar el flujo de aire además de la razón de calor por pérdidas.

$$\dot{Q}_{Necesario} = \dot{Q}_e + \dot{Q}_{P,Total} + \dot{Q}_{Util}$$

$$\dot{Q}_{Necesario} = 13,57kW + 0,11 kW + 7,02kW$$

$$\dot{Q}_{Necesario} = 20,7 kW$$

Para obtener la razón de transferencia de trabajo en el tiempo de secado calculado anteriormente los multiplicaremos por el tiempo antes dicho:

$$\dot{Q}_{Necesario} = (20,7 kW) * (7,563 h)$$

$$\dot{Q}_{Necesario} = 156,55 kW * h$$

A continuación, se presenta la Tabla 3-24. De resumen para el cálculo razón de transferencia de calor total necesario en el tiempo de secado.

**Tabla 3-24:** Razon de tranferencia de calor total en el tiempo de secado

| FRUTAS  | Tiempo total de secado [h] | Razón de transferencia calor total necesario [KW] | Razón de transferencia de calor total necesario en el tiempo de secado [KW . h] |
|---------|----------------------------|---|---|
| Piña    | 7,56                       | 20,70   | 156,57  |
| Naranja | 4,46                       | 18,65   | 83,17   |
| Limón   | 4,53                       | 18,71   | 84,85   |

Realizado por: López, D.; Toscano, C. 2023.

### 3.2.14. Calor suministrado por el gas licuado de petróleo

El calor suministrado por el gas licuado de petróleo será igual a:

$$\dot{Q}_{Suministrado} = P_C * m_{GLP}$$

Donde:

$\dot{Q}_{Suministrado}$ : Calor suministrado por el GLP

$P_C$ : Poder calorífico del GLP

$m_{GLP}$ : Masa de GLP dentro de un cilindro de uso común

Para el proceso utilizaremos un cilindro de gas para lo cual:

$$\dot{Q}_{Suministrado} = \left(14 \frac{kW * h}{kg}\right) * (15 kg)$$

$$\dot{Q}_{Suministrado} = 210 kW * h$$

Comprobamos que:

$$\dot{Q}_{Necesario} \leq \dot{Q}_{Suministrado}$$

$$190,13156 kW * h \leq 210 kW * h$$

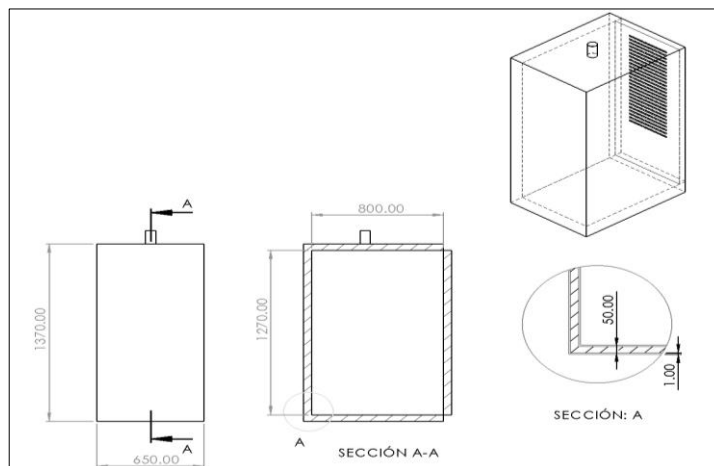
Observamos que el calor necesario para el proceso de deshidratación es menor que el calor suministrado por la fuente de calor que es el GLP con lo que validamos el cálculo.

### 3.2.15. Validación del Análisis térmico en el software ANSYS.

Se realiza el análisis mediante software ANSYS para realizar la validación de los cálculos térmicos obtenidos para la cámara de deshidratado, para ello seguimos una serie de pasos y presentamos los resultados.

- Definición de la geometría.

Con la finalidad de simplificar el análisis de volúmenes finitos, se presenta las dimensiones del modelo utilizado en la simulación térmica transitoria. La Geometría Spaceclean, modelada se trabaja en el modelador de ANSYS. Para establecer contactos tipo Bonded y la unión de los cuerpos de análisis.

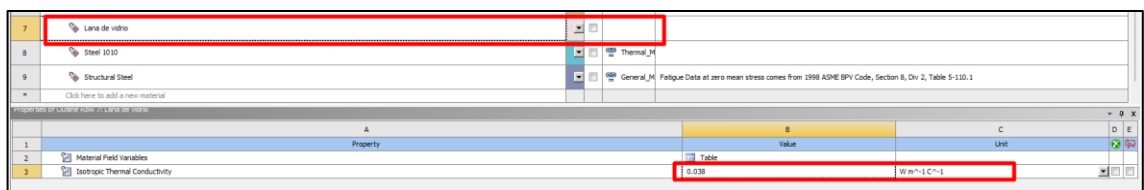


**Ilustración 3-6:** Geometría para el análisis ANSYS.

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

- Definición de los materiales.

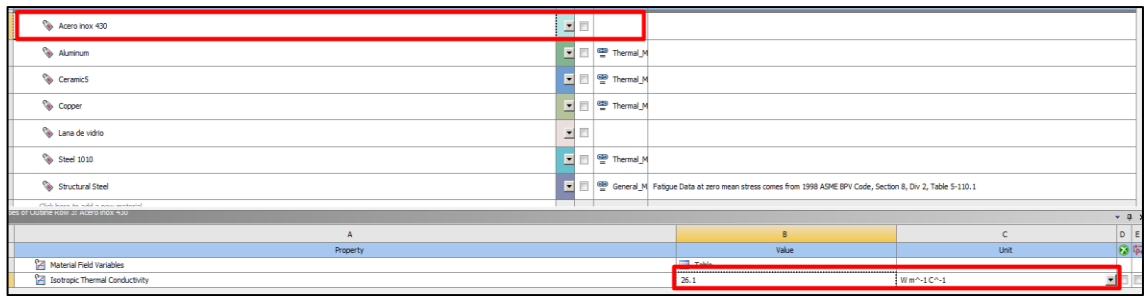
La lana de vidrio se define como aislante térmico de espesor 50 mm y Conductividad térmica 0,038 W/m°C.



**Ilustración 3-7:** Definición del material lana de vidrio.

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Definimos el acero inoxidable calidad 430 de espesor 1 mm y conductividad térmica 26.1 W/m°C.

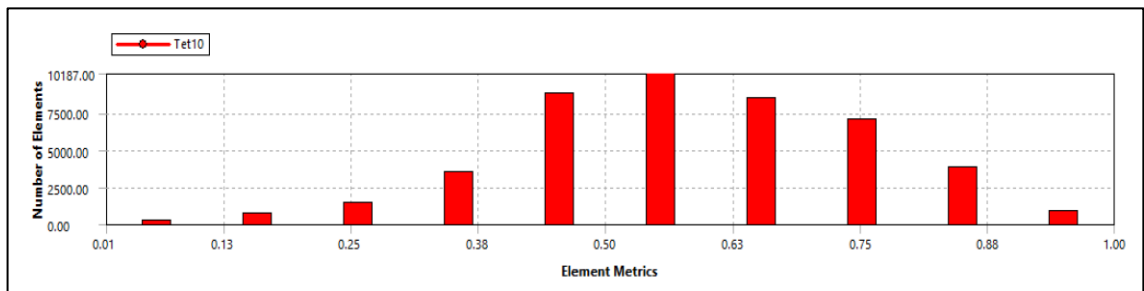


**Ilustración 3-8:** Definición del material acero inoxidable.

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

- Definición de la calidad de mallado.

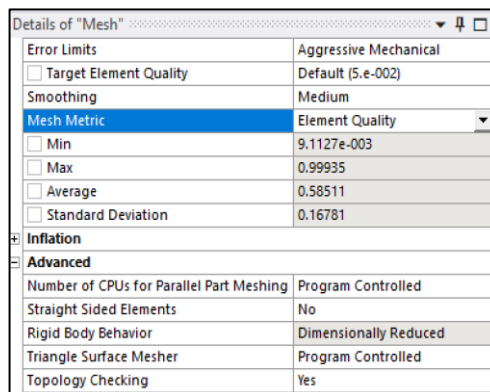
Se verifica la calidad de malla, para el análisis se utiliza la métrica Element Quality recomendado para elementos tetraédricos con pequeñas curvaturas. De acuerdo con las recomendaciones de ANSYS Client. El valor promedio de esta métrica debe estar en el rango de (0.55 – 0.96).



**Ilustración 3-9:** Definición de la calidad de mallado.

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

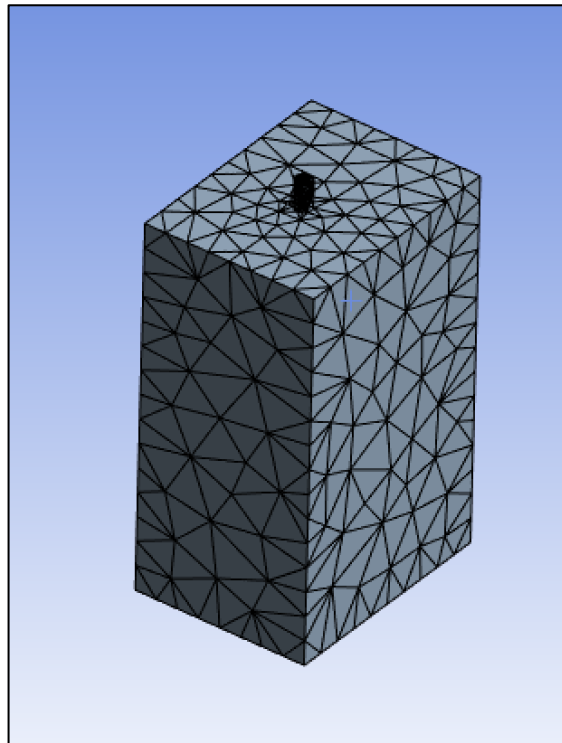
De acuerdo con la gráfica en promedio la calidad de nuestra malla es 0.60. Lo cual corrobora la siguiente ilustración.



**Ilustración 3-10:** Definición de la calidad de mallado.

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Una vez obtenidos las ingresadas todas las variables y verificación de estas se procede con el mallado y se presenta de la siguiente manera.

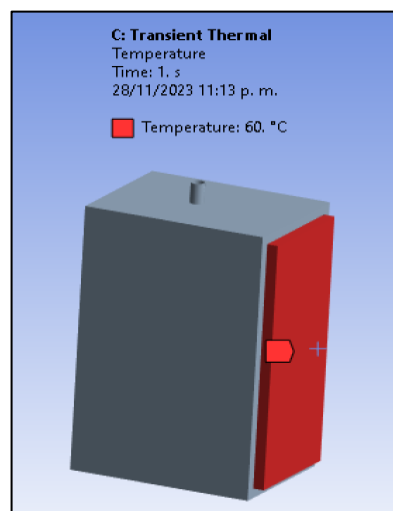


**Ilustración 3-11:** Mallado de la cámara de secado.

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

- **Preprocesamiento.**

Se define las condiciones de simulación. Él elemento que genera el calor y temperatura necesaria, para el caso se define como elemento principal de calor a las rejillas de ingreso del aire caliente producto de la combustión, con un valor de temperatura de ingreso de 60°C.



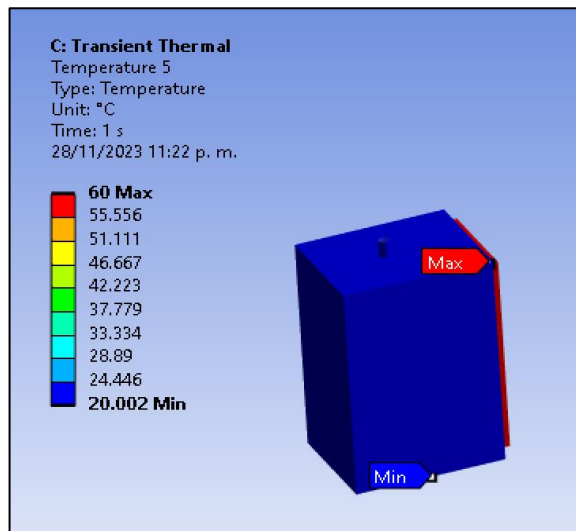
**Ilustración 3-12:** Definición del elemento principal de calor.

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

El calor se transfiere desde el interior hacia el exterior mediante los coeficientes de transferencia de los materiales involucrados.

- **Post procesamiento.**

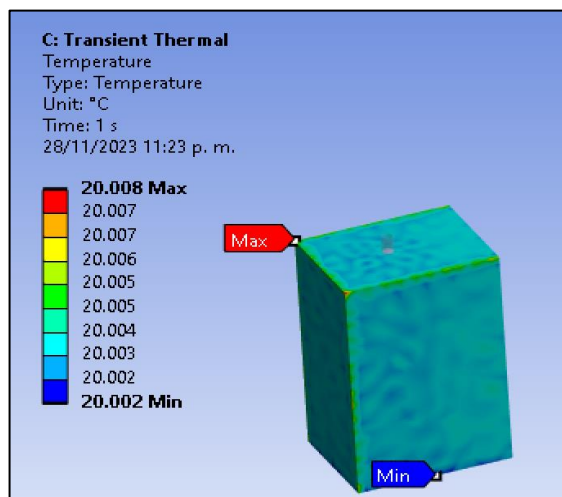
Se verifica las temperaturas a las que están sometidas las paredes de nuestro modelo. La temperatura máxima generada en el ingreso del aire caliente y la temperatura mínima generada en las paredes exteriores del modelo.



**Ilustración 3-13:** Verificación de temperaturas en las paredes.

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

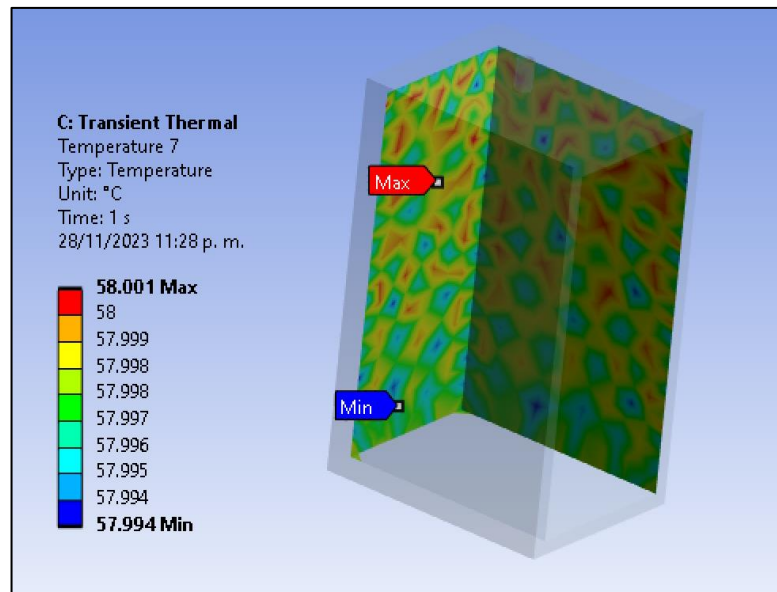
Se verifica las temperaturas a lo largo de las paredes exteriores, las mismas se encuentran a una temperatura promedio de 20°C.



**Ilustración 3-14:** Temperaturas en las paredes exteriores.

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Las temperaturas en las paredes interiores se corroboran en 58 grados centígrados, en la misma se observa que las temperaturas mayores se encuentran en el nivel más alto. Caso contrario las temperaturas mínimas.



**Ilustración 3-15:** Temperaturas en las paredes interiores.

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

### 3.3. Diseño mecánico.

Se utilizaron las ecuaciones correspondientes para diseñar la cámara de secado y las bandejas. Encontraremos las dimensiones y espesores que sean fundamentales para la selección de los materiales precio a la construcción.

#### 3.3.1. Altura de la cámara de secado

Las dimensiones del equipo deshidratador se determinan mediante la capacidad de secado, para nuestro caso es de 20 Kg, se considera inicialmente las dimensiones de largo de 620 mm y ancho de 600 mm de la cámara. Para calcular la altura del deshidratador se tomó como dato adicional la densidad del producto más crítico en este caso será la piña.

$$\rho = \frac{m}{lxaxh}$$

Despejando h:

$$h = \frac{m}{lxax\rho}$$

$$h = 1,23m$$



Esta dimensión está considerada internamente dentro de la cámara de secado, no va a estar sometida a ningún esfuerzo mecánico solamente por esfuerzos de temperaturas, pero la temperatura de operación no afectara al acero y no llegara a deformarlo.

### 3.3.2. Geometría de las bandejas.

Para realizar el dimensionamiento de las bandejas que están dentro de la cámara de secado se debe tomar en cuenta algunas consideraciones como: el volumen total a deshidratar de fruta fresca que es 20 Kg de carga total, como la fruta más crítica será tomada la piña de la cual necesitaremos su densidad, densidad de la pina 1010 Kg/m<sup>3</sup>.

$$\delta_n = \frac{m_h}{V}$$

Despejando V:

$$V = \frac{m_h}{\delta_n}$$

Reemplazando los datos tenemos:

$$V = \frac{20}{1010}$$
$$V_{max} = 0,01980 \text{ m}^3$$

Se trató de buscar la mejor opción en la construcción de las bandejas para poder economizar en los costos de construcción, decidimos fabricar bandejas con malla de acero inoxidable 304, cuyas dimensiones son longitud (Lb), ancho (Ab) y espesor (Hb), además para este cálculo se considera el espesor de la fruta a deshidratar (Hu).

$$Lb = 475 \text{ [mm]}$$

$$Ab = 500 \text{ [mm]}$$

$$Hb = 3,5 \text{ [mm]}$$

$$Hu = 7 \text{ [mm]}$$

Para el cálculo del volumen de la bandeja se debe analizar con respecto al espesor 7 mm aproximado de la rebanada de la fruta de donde tenemos:

$$V_{bandeja} = 0,00166 \text{ m}^3$$

Ahora se realizará el cálculo del número de bandejas que son necesarias a carga máxima.

$$\#Bandejas = \frac{V_{max}}{V_{bandeja}}$$

Reemplazando los datos obtenidos tenemos:

$$\#Bandejas = \frac{0,01980 \text{ m}^3}{0,00166 \text{ m}^3}$$

$$\#Bandejas = 11,92$$

$$\#Bandejas \text{ real} = \frac{\# \text{Bandejas}}{n_{bandeja}}$$

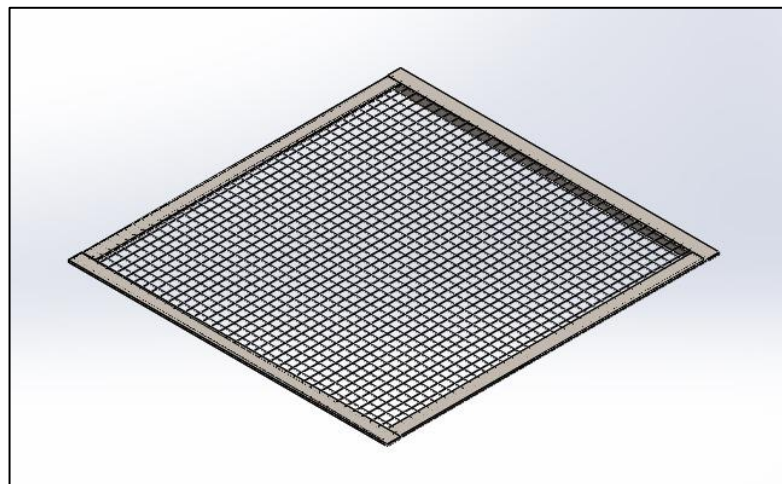
$$\#Bandejas \text{ real} = \frac{11,92}{0,60}$$

$$\#Bandejas \text{ real} = 19,866 \cong 20$$

Para el cálculo real del número de bandejas se añadió el factor de seguridad, debido a que en el cálculo del volumen máximo se considera el cien por ciento, pero en la realidad en el proceso no se cumple ya que las frutas están separadas unas de las otras para aprovechar de mejor manera la distribución de calor.

### 3.3.3. Análisis de carga en las bandejas

Para realizar un análisis de las cargas en las bandejas, es necesario calcular las reacciones en los puntos de apoyo para posteriormente evaluar los esfuerzos a los que se encuentra sometida la bandeja.



**Ilustración 3-16:** Diseño de la bandeja.

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Datos:

$$Lb = 500 \text{ [mm]}$$

$$W = 1 [Kg]$$

$$Pe = 20,87 [N/m]$$

Donde:

$Lb$ : Longitud de la bandeja

$W$ : Peso de la bandeja.

$Pe$ : Carga distribuida.

Se plantea inicialmente para el cálculo la sumatoria de fuerzas en el eje y.

$$\sum Fy = 0$$

$$R1 + R2 = Pe * Lb$$

$$2R1 = 20,87 * 0,5$$

$$R1 = 5,22 N$$

$$R1 = R2 = 5,22 N$$

Una vez calculadas las reacciones en los puntos de interés se procede a calcular el esfuerzo que tienen para encontrar el diámetro adecuado de malla.

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

$$\frac{Sn}{\eta} = \sigma$$

Donde:

$Sn$ : Resistencia a la fluencia del material.

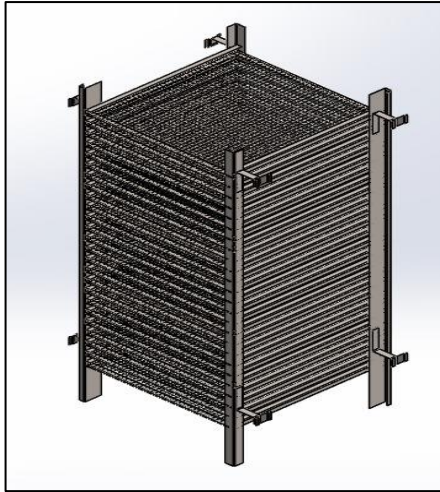
$\eta$ : Factor de seguridad.

$$\frac{Sn}{\eta} = \frac{Mc}{I}$$

$$\frac{275,1}{1,5} = \frac{5,22 * \frac{0,5}{2}}{\frac{0,34 * h^2}{6}}$$

$$h = 0,354mm$$

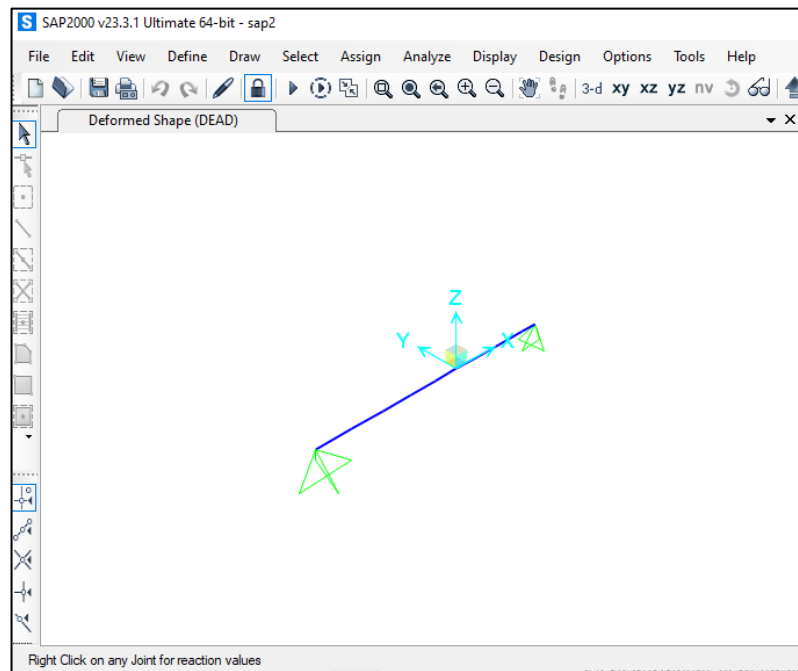
Por consiguiente, el espesor de la plancha a utilizar será de 1mm, para la malla en el mercado se consigue la malla de acero inoxidable AISI 304 con un diámetro de 1,5 mm el cual es ideal para soportar el esfuerzo y cumplir con el proceso de deshidratado.



**Ilustración 3-17:** Distribución de las bandejas.

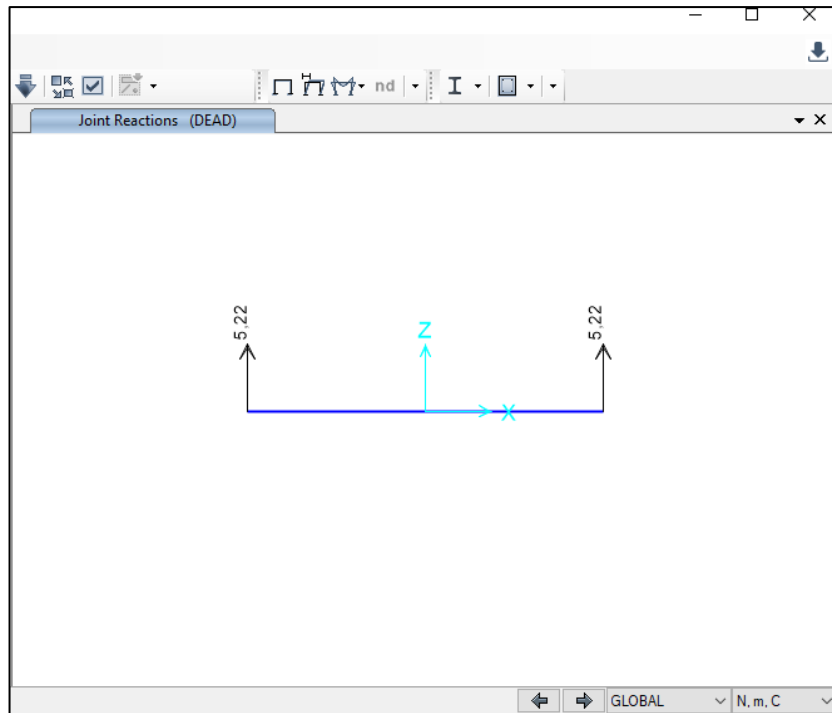
**Realizado por:** López D.; Toscano C. 2023.

### Comprobación de las reacciones mediante SAP 2000



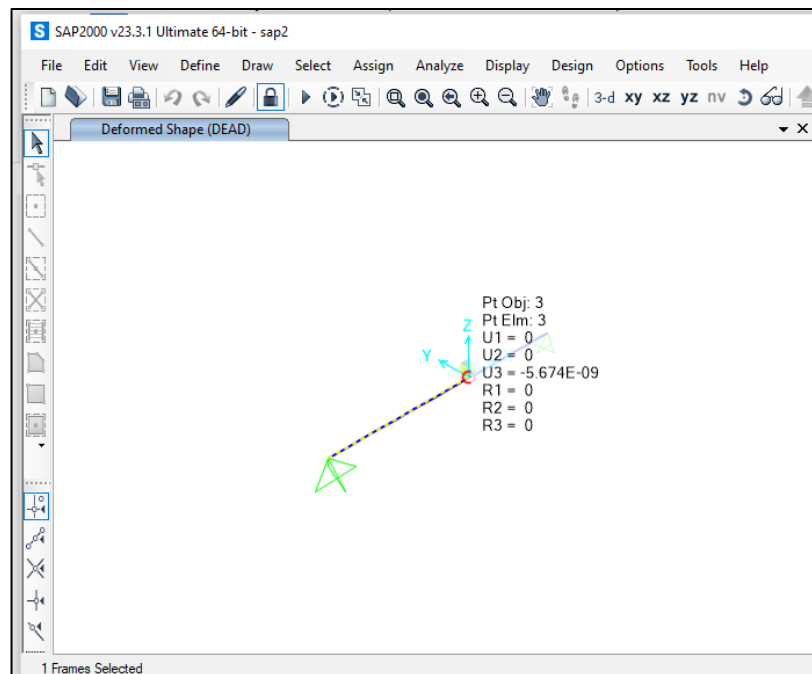
**Ilustración 3-18:** Asignación de cargas y apoyos.

**Realizado por:** López D.; Toscano C. 2023.



**Ilustración 3-19:** Análisis de reacciones en los apoyos.

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.



**Ilustración 3-20:** Determinación de deformación.

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

### **3.4. Control y mandos**

Los controles y mandos son de gran importante para los sistemas semiautomáticos, ya que funcionan como una fuente de comunicación entre ellos. Estos elementos son aplicables en diversos campos como: la industria, la producción, la robótica, la tecnología, entre otros, su objetivo principal es lograr que estos sistemas interactúen de manera más simple con los humanos.

#### **3.4.1. Control de temperatura**

Para lograr el control de la temperatura se emplea una termocupla de tipo J el cual está conectada con el controlador, la función de esta es medir la temperatura a la que se encuentra la cámara de secado, permitiendo que se encienda o apague la llama mediante el chispero.

El control de la llama se apaga cuando la temperatura ha sobrepasado 3 grados centígrados la estipulada en el control y se encenderá cuando la temperatura haya bajado más de 5 grados centígrados de la temperatura ingresada en el controlador, la temperatura ingresada es de criterio del usuario, recomendamos se mantenga a 60 grados centígrados.

#### **3.4.2. Control de tiempo**

Una función adicional que tiene el controlador de temperatura es también el tiempo en el cual podemos insertar el tiempo para un proceso, una vez finalizado el proceso se encuentra una bocina el cual indica que se ha terminado el tiempo que se ha seteado.

#### **3.4.3. Funcionamiento de la electroválvula**

La electroválvula es un elemento de control que permite el paso de GLP hacia el quemador, está conectada para recibir la señal de la temperatura a la que se está trabajando y ordena abrir o cerrar el paso gas, también acciona al chispero que estará generando la chispa de encendido o indicará un error en el sistema ya sea falta de gas o falta de ignición.

### **3.5. Pruebas de funcionamiento**

#### **3.5.1. Preparación de la fruta**

Para realizar las pruebas de funcionamiento de la maquina debemos considerar algunas acciones previas a la deshidratación de la fruta. Estas acciones se las realiza antes de deshidratar cualquier producto en el equipo.

##### **- Recepción**

Este proceso involucra receptor y hacer un correcto acopio de la fruta seleccionada para el proceso, esto debe considerarse ubicación adecuada.

##### **- Clasificación.**

Se escoge el tamaño de la fruta con el fin de que sea uniforme, para el proceso de deshidratado.

##### **- Lavado.**

Se realiza el lavado de las frutas con la finalidad de eliminar impurezas que se puedan encontrar en las cortezas de estas.

##### **- Pelado y cortado.**

Se debe quitar la corteza de ciertas frutas para poder realizar el proceso de deshidratado, y también se deben cortar en finas rodajas de forma uniforme y lo más preciso posible, esto ayudara a que el proceso se lleve a cabo sin ninguna novedad.

##### **- Pesaje.**

Antes de empezar con el proceso de secado se debe pesar la fruta, con la única finalidad de cuantificar la materia prima que ingresa, también al final del proceso para determinar el porcentaje de agua que se eliminara del producto.

##### **- Colocación del producto.**

Se distribuye la fruta de manera uniforme, en las bandejas esto para tener una buena distribución de nuestro producto.

#### **3.5.2. Preparación del deshidratador**

Dentro de la preparación del equipo deshidratador tenemos:

##### **- Pruebas de funcionamiento del equipo.**

Antes de iniciar con las pruebas de deshidratación de la fruta se realiza las pruebas de funcionamiento del sistema, como el control de encendido, control de temperaturas y tiempo, el contenido de gas, que la electroválvula abra y cierre correctamente y que se envíe la señal al chispero para comenzar la combustión y calentamiento del equipo.

- **Pre calentamiento del equipo deshidratador.**

La temperatura inicial aproximada medida a través del sensor de temperatura fue de 15 °C y como set point se ingresó a la temperatura de 65 grados centígrados, se tomaron los datos de tiempo y temperatura determinada en la tabla:

**Tabla 3-25:** Datos de tiempo y temperatura.

| Tiempo [min] | Temperatura [°C] |
|--------------|------------------|
| 0            | 10               |
| 5            | 18               |
| 10           | 25               |
| 15           | 32               |
| 20           | 39               |
| 25           | 43               |
| 30           | 47               |
| 35           | 50               |
| 40           | 53               |
| 45           | 55               |
| 50           | 57               |
| 55           | 58               |
| 60           | 60               |

Realizado por: López, D.; Toscano, C. 2023.

**3.5.3. Determinación del tamaño de muestreo para cada lote de fruta.**

Para determinar el tamaño de la muestra utilizando las tablas MIL ST 105, para cada lote de fruta deshidratada se tomó las siguientes consideraciones que son las más recomendables en este tipo de análisis.

Nivel de inspección 2, por ser el más usual y aplicable.

AQL = 4.0, para el nivel de calidad aceptable.

Tipo de inspección: normal.

Así tendremos los siguientes resultados mostrados en la tabla.

**Tabla 3-26:** Determinación del tamaño de la muestra.

| FRUTAS  | Tamaño del lote | Niveles generales de inspección | Letra código según los niveles generales de inspección | Tamaño de la muestra | Capacidad de secciones por bandeja | Número de bandejas necesarias | AQL nivel de calidad aceptable | Aceptar | Rechazar |
|---------|-----------------|---------------------------------|--|----------------------|------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------|----------|
| Piña    | 320             | 320                             | H  | 50                   | 16                                 | 3,125                         | 4                              | 5       | 6        |
| Naranja | 460             | 460                             | H  | 50                   | 23                                 | 2,174                         | 4                              | 5       | 6        |
| Limón   | 600             | 600                             | J  | 80                   | 30                                 | 2,667                         | 4                              | 7       | 8        |

Realizado por: López, D.; Toscano, C. 2023.



Con este análisis concluimos que para las muestras tomaremos 3 bandejas en todos los casos ya que para resultados más uniformes no podremos variar el número de secciones por bandeja. Así como también verificar que en las bandejas seleccionadas no se encuentren dañadas un número superior a los límites de aceptabilidad para el tamaño de la muestra. Cabe decir que este procedimiento lo realizaremos para tres lotes para cada fruta con el objetivo de lograr una mayor confiabilidad, por lo que al final presentaremos tablas y gráficos de tendencia con valores promedio de estos.

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS

Para analizar los resultados empleamos como método las pruebas de campo basado en la medición de la masa obtenida en intervalos de tiempo, para lo cual necesitamos algunas expresiones que nos ayudan a determinar principalmente la humedad en la que el producto se encuentra así tenemos:

$$m_{agua,evaporable} = m_{agua,inicial} - m_{agua,final}$$

Sabiendo que:

$$w_{bh,inicial} = \frac{m_{agua,inicial}}{m_{Total,inicial}}$$

$$w_{bh,final} = \frac{m_{agua,final}}{m_{Total,final}}$$

Entonces tenemos:

$$m_{agua,evaporable} = w_{bh,inicial} * m_{Total,inicial} - w_{bh,final} * m_{Total,final}$$

Donde necesitamos saber la humedad en base húmeda final por lo que:

$$w_{bh,final} = \frac{w_{bh,inicial} * m_{Total,inicial} - m_{agua,evaporable}}{m_{Total,final}}$$

Pero también sabemos que:

$$m_{agua,evaporable} = m_{Total,inicial} - m_{Total,final}$$

Entonces:

$$w_{bh,final} = \frac{w_{bh,inicial} * m_{Total,inicial} - (m_{Total,inicial} - m_{Total,final})}{m_{Total,final}}$$

$$w_{bh,final} = \frac{w_{bh,inicial} * m_{Total,inicial} - m_{Total,inicial} + m_{Total,final}}{m_{Total,final}}$$

$$w_{bh,final} = \frac{m_{Total,inicial} * (w_{bh,inicial} - 1) + m_{Total,final}}{m_{Total,final}}$$

$$w_{bh,final} = \frac{m_{Total,inicial}}{m_{Total,final}} * (w_{bh,inicial} - 1) + 1$$

Esta será la expresión con que calcularemos la gráfica Humedad Final vs Tiempo conociendo los datos de:

$m_{Total,inicial}$ : Masa Total inicial de la fruta

$m_{Total,final}$ : Masa Total final de la fruta

$w_{bh,initial}$ : Humedad inicial de la fruta

#### 4.1. Pruebas de campo.

Porque el tamaño del lote es muy grande optamos por analizar tres muestras, una localizada en la parte superior, otra en el intermedia y otra en la parte inferior de la cámara de deshidratado, para lo cual la masa de la fruta aproximadamente será de 20 kg de carga total, mediremos en intervalos de 1 hora para así poder recabar datos que servirán para analizar el proceso de deshidratación.

##### 4.1.1. Resultados de la deshidratación de la Piña.

Las pruebas se realizaron con carga máxima de 20 bandejas cargadas con piñas, para el análisis de estos resultados se seleccionó solamente las bandejas superior, intermedia e inferior, para posteriormente realizar una comparación entre las tres posiciones y verificar el correcto funcionamiento.

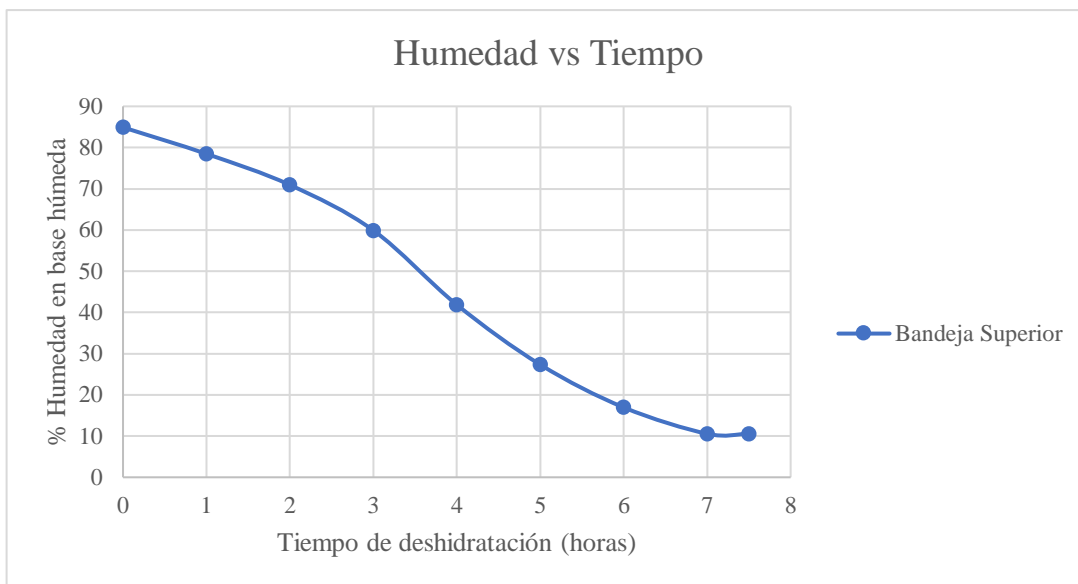
##### 4.1.1.1. Resultados de la bandeja de Piña en la parte superior.

**Tabla 4-1:** Resultados de deshidratación de la Piña en la parte superior de la cámara.

| Bandeja Superior             |                   |                 |                     |                          |
|------------------------------|-------------------|-----------------|---------------------|--------------------------|
| Tiempo de deshidratación [h] | Masa inicial [Kg] | Masa Final [Kg] | Masa evaporada [Kg] | % Humedad en base húmeda |
| 0                            | 0,77              | 0,77            | 0                   | 84,9                     |
| 1                            | 0,77              | 0,54            | 0,23                | 78,46852                 |
| 2                            | 0,54              | 0,40            | 0,14                | 70,93250                 |
| 3                            | 0,4               | 0,29            | 0,11                | 59,90690                 |
| 4                            | 0,29              | 0,20            | 0,09                | 41,86500                 |
| 5                            | 0,2               | 0,16            | 0,04                | 27,33125                 |
| 6                            | 0,16              | 0,14            | 0,02                | 16,95000                 |
| 7                            | 0,14              | 0,13            | 0,01                | 10,56154                 |
| 7,5                          | 0,13              | 0,13            | 0                   | 10,56154                 |

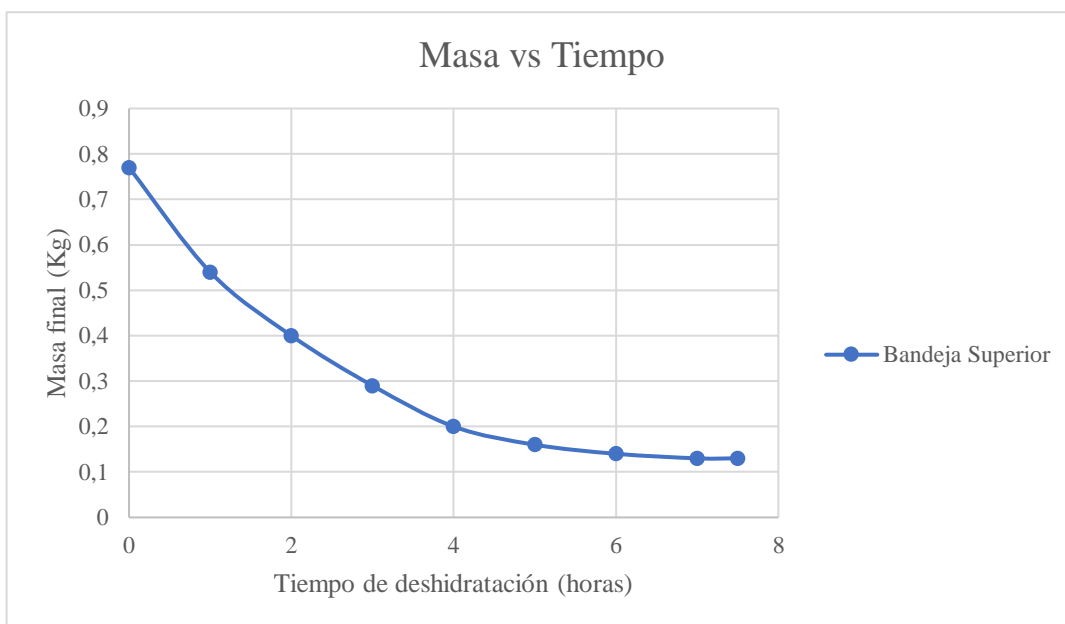
Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

A partir de la Tabla 4-1. Realizamos las gráficas para encontrar las curvas de secado.



**Ilustración 4-1:** Gráfica de la curva deshidratado Humedad vs Tiempo experimental de la Piña.

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.



**Ilustración 4-2:** Gráfica de la curva de deshidratado Masa vs Tiempo experimental de la Piña.

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Analizamos el porcentaje de error que obtenemos en las pruebas.

**Tabla 4-2:** Porcentajes de error prueba de deshidratación de la Piña de la bandeja superior.

| Variables       | Valor Teórico | Valor experimental | % Error |
|-----------------|---------------|--------------------|---------|
| % Humedad final | 10            | 10,5615            | 5,62    |
| Masa final      | 0,129         | 0,13               | 0,63    |

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Los errores que se obtuvieron son relativamente pequeños por lo que se acepta el diseño y las pruebas de funcionamiento, podemos deducir que se acepta el funcionamiento del equipo.

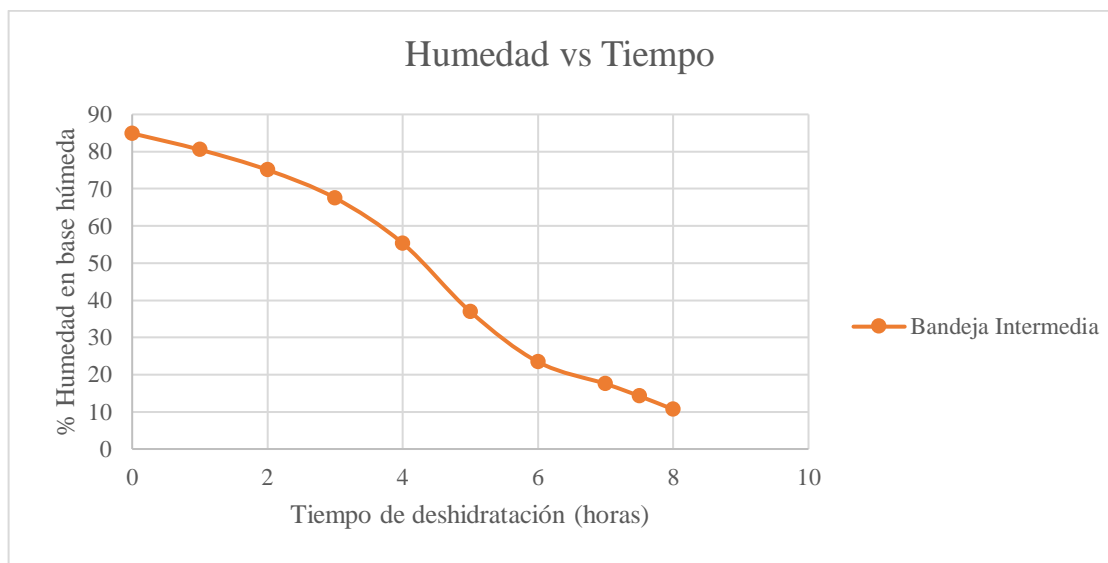
#### 4.1.1.2. Resultados de la bandeja de Piña en la parte intermedia

**Tabla 4-3:** Resultados de deshidratación de la Piña en la parte intermedia de la cámara.

| Bandeja Intermedia           |                   |                 |                     |                          |
|------------------------------|-------------------|-----------------|---------------------|--------------------------|
| Tiempo de deshidratación [h] | Masa inicial [Kg] | Masa Final [Kg] | Masa evaporada [Kg] | % Humedad en base húmeda |
| 0                            | 0,71              | 0,71            | 0                   | 84,9                     |
| 1                            | 0,71              | 0,55            | 0,16                | 80,50727                 |
| 2                            | 0,55              | 0,43            | 0,12                | 75,06744                 |
| 3                            | 0,43              | 0,33            | 0,1                 | 67,51212                 |
| 4                            | 0,33              | 0,24            | 0,09                | 55,32917                 |
| 5                            | 0,24              | 0,17            | 0,07                | 36,93529                 |
| 6                            | 0,17              | 0,14            | 0,03                | 23,42143                 |
| 7                            | 0,14              | 0,13            | 0,01                | 17,53077                 |
| 7,5                          | 0,13              | 0,13            | 0,005               | 14,23200                 |
| 8                            | 0,125             | 0,12            | 0,005               | 10,65833                 |

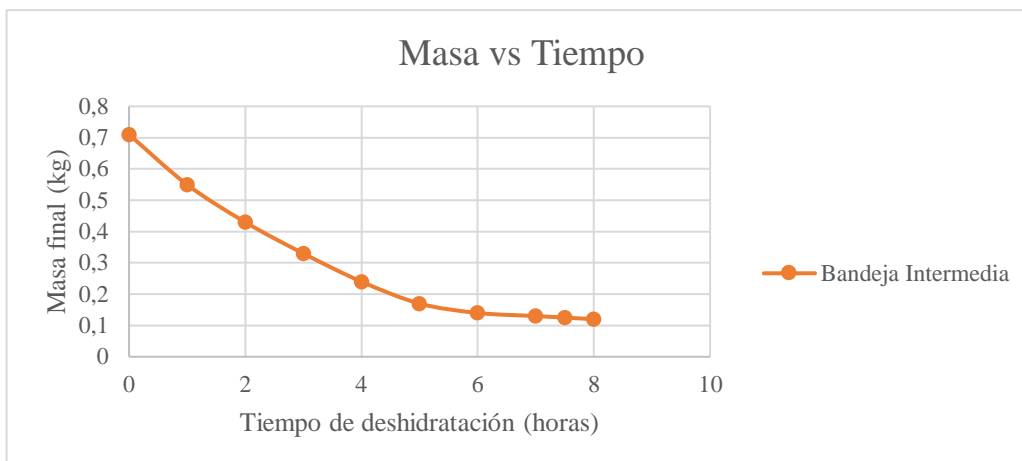
Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

A partir de la Tabla 4-3. Realizamos las gráficas para encontrar las curvas de secado en la parte intermedia de la cámara.



**Ilustración 4-3:** Gráfica de la curva de deshidratado Humedad vs Tiempo experimental de la Piña

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.



**Ilustración 4-4:** Gráfica de la curva de deshidratado Masa vs Tiempo experimental de la Piña.

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Analizamos el porcentaje de error que obtenemos en las pruebas.

**Tabla 4-4:** Porcentajes de error prueba de deshidratación de la Piña de la bandeja intermedia.

| Variables       | Valor Teórico | Valor experimental | % Error |
|-----------------|---------------|--------------------|---------|
| % Humedad final | 10            | 10,66              | 6,58    |
| Masa final      | 0,119         | 0,12               | 0,74    |

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Los errores que se obtuvieron son relativamente pequeños por lo que se acepta el diseño y las pruebas de funcionamiento, podemos deducir que se acepta el funcionamiento del equipo.

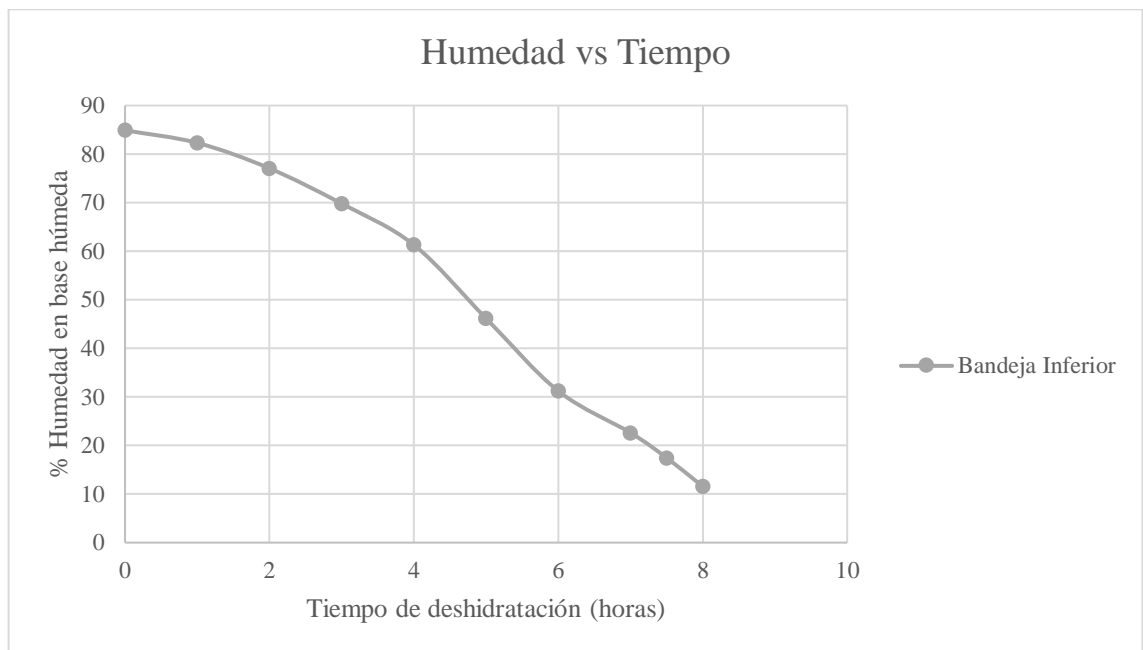
#### 4.1.1.3. Resultados de la bandeja de Piña en la parte inferior

**Tabla 4-5:** Resultados de deshidratación de la Piña en la parte inferior de la cámara.

| Bandeja inferior             |                   |                 |                     |                          |
|------------------------------|-------------------|-----------------|---------------------|--------------------------|
| Tiempo de deshidratación [h] | Masa inicial [Kg] | Masa Final [Kg] | Masa evaporada [Kg] | % Humedad en base húmeda |
| 0                            | 0,82              | 0,82            | 0                   | 84,9                     |
| 1                            | 0,82              | 0,70            | 0,12                | 82,31143                 |
| 2                            | 0,7               | 0,54            | 0,16                | 77,07037                 |
| 3                            | 0,54              | 0,41            | 0,13                | 69,80000                 |
| 4                            | 0,41              | 0,32            | 0,09                | 61,30625                 |
| 5                            | 0,32              | 0,23            | 0,09                | 46,16522                 |
| 6                            | 0,23              | 0,18            | 0,05                | 31,21111                 |
| 7                            | 0,18              | 0,16            | 0,02                | 22,61250                 |
| 7,5                          | 0,16              | 0,15            | 0,01                | 17,45333                 |
| 8                            | 0,15              | 0,14            | 0,01                | 11,55714                 |

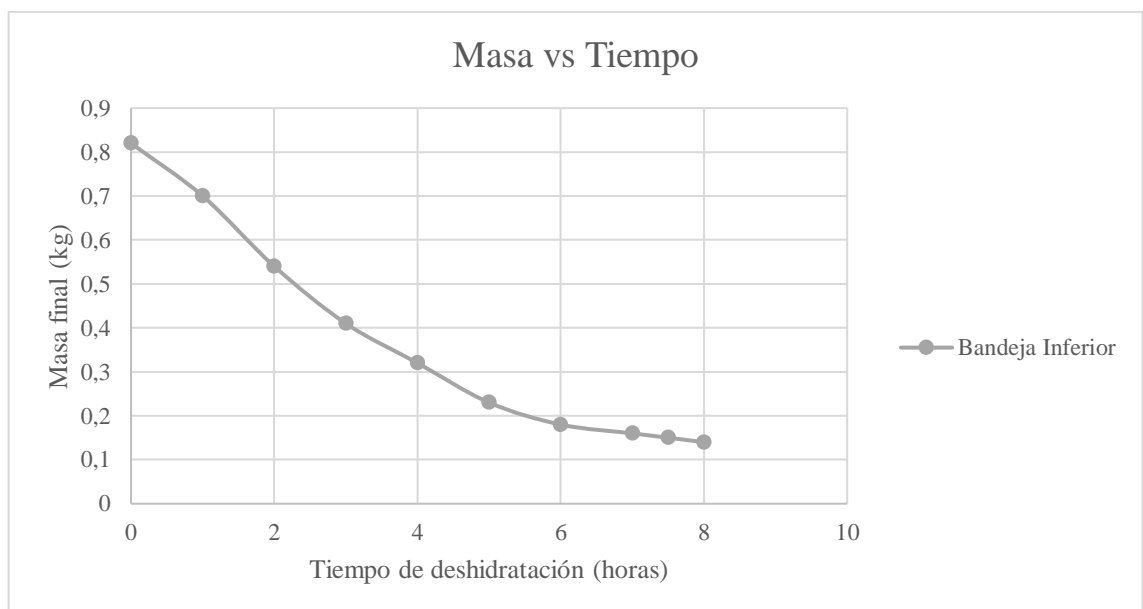
Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

A partir de la Tabla 4-5. Realizamos las gráficas para encontrar las curvas de secado en la parte inferior de la cámara.



**Ilustración 4-5:** Gráfica de la curva de deshidratado Humedad vs Tiempo experimental de la Piña.

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.



**Ilustración 4-6:** Gráfica de la curva de deshidratado Masa vs Tiempo de la Piña.

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Analizamos el porcentaje de error que obtenemos en las pruebas.

**Tabla 4-6:** Porcentajes de error prueba de deshidratación de la Piña de la bandeja inferior.

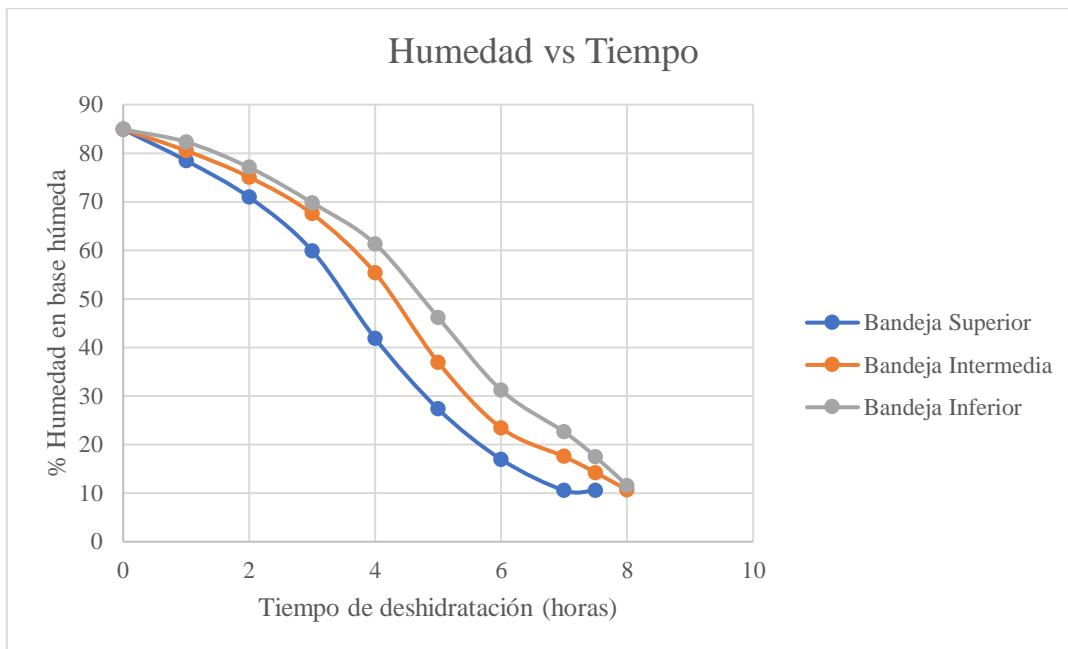
| Variables       | Valor Teórico | Valor experimental | % Error |
|-----------------|---------------|--------------------|---------|
| % Humedad final | 10            | 11,56              | 15,57   |
| Masa final      | 0,138         | 0,14               | 1,76    |

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Los errores que se obtuvieron son relativamente pequeños por lo que se acepta el diseño y las pruebas de funcionamiento, podemos deducir que se acepta el funcionamiento del equipo.

#### 4.1.1.4. Análisis de datos de la Piña.

Con esto podemos trazar la gráfica relacionando las variables de humedad y tiempo para conocer la tendencia del secado dentro de la cámara y sacar conclusiones.

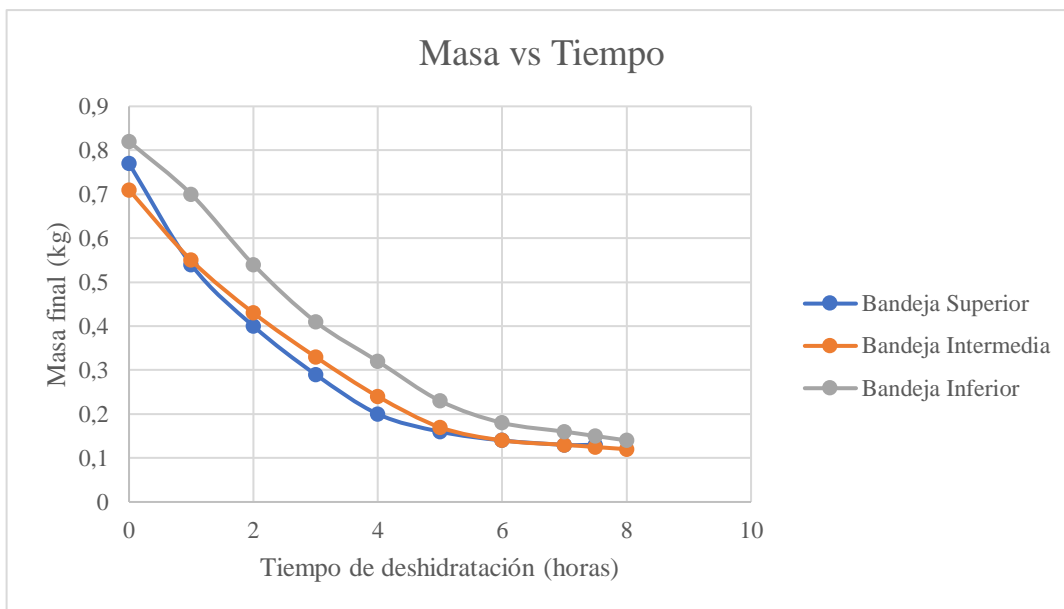


**Ilustración 4-7:** Grafica de comparación Humedad vs Tiempo de las tres bandejas de muestra de Piña.

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

También podemos trazar la gráfica que relaciona el tiempo con la masa final obtenida para conocer la tendencia que dibuja esta variable.





**Ilustración 4-8:** Gráfica comparación Masa vs Tiempo de las tres bandejas de muestra de Piña.

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

#### 4.1.2. Resultados de la deshidratación de la Naranja

Las pruebas se realizaron con carga máxima de 20 bandejas, para el análisis de estos resultados se seleccionó solamente las bandejas superior, intermedia e inferior, para posteriormente realizar una comparación entre las tres posiciones y verificar el correcto funcionamiento.

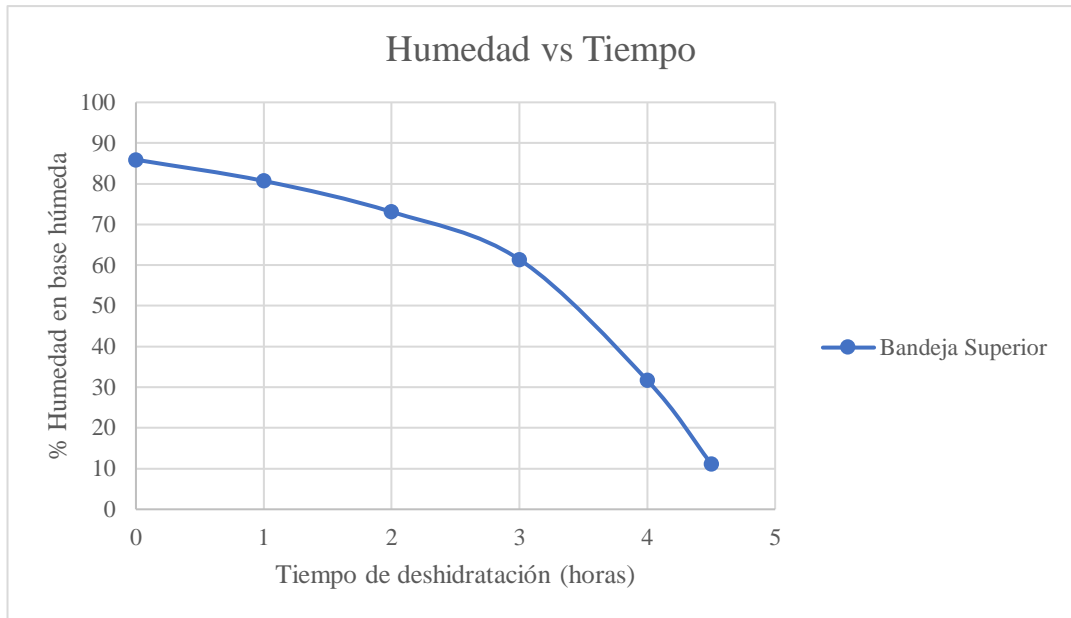
##### 4.1.2.1. Resultados de la bandeja de Naranja en la parte superior.

**Tabla 4-7:** Resultado de deshidratación de la Naranja en la parte superior.

| Bandeja Superior             |                   |                 |                     |                          |
|------------------------------|-------------------|-----------------|---------------------|--------------------------|
| Tiempo de deshidratación [h] | Masa inicial [Kg] | Masa Final [Kg] | Masa evaporada [Kg] | % Humedad en base húmeda |
| 0                            | 0,63              | 0,63            | 0                   | 85,9                     |
| 1                            | 0,63              | 0,46            | 0,17                | 80,68913                 |
| 2                            | 0,46              | 0,33            | 0,13                | 73,08182                 |
| 3                            | 0,33              | 0,23            | 0,1                 | 61,37826                 |
| 4                            | 0,23              | 0,13            | 0,1                 | 31,66923                 |
| 4,5                          | 0,13              | 0,1             | 0,03                | 11,17000                 |

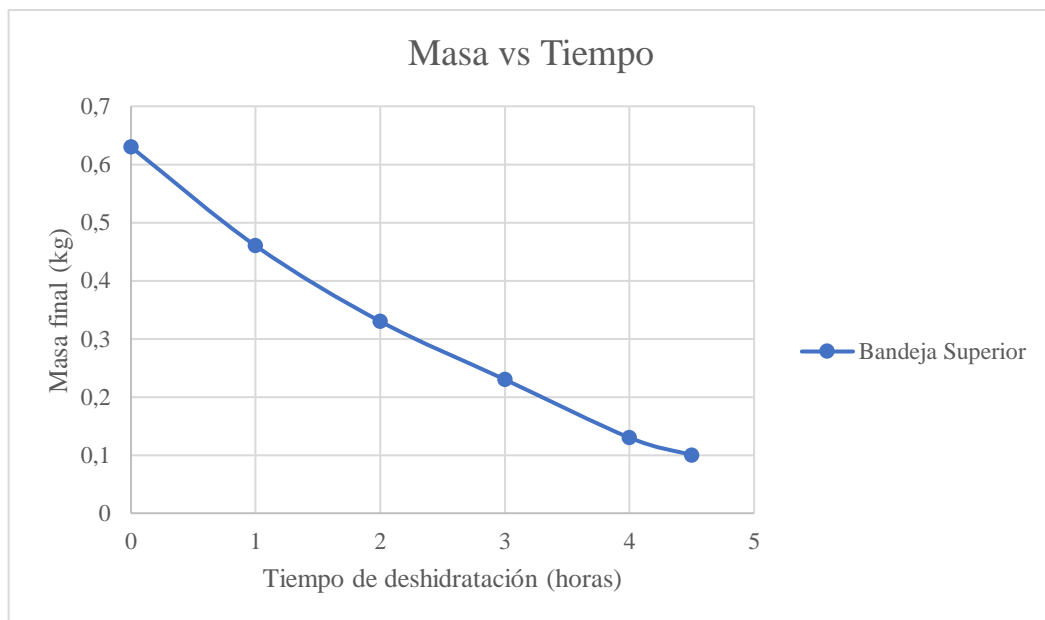
Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

A partir de la Tabla 4-7. Realizamos las gráficas para encontrar las curvas de secado en la parte superior de la cámara.



**Ilustración 4-9:** Grafica de la curva de deshidratado Humedad vs Tiempo experimental de la Naranja

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.



**Ilustración 4-10:** Grafica de la curva de deshidratado Masa vs Tiempo experimental de la Naranja

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Analizamos el porcentaje de error que obtenemos en las pruebas.

**Tabla 4-8:** Porcentajes de error prueba de deshidratación de la Naranja en la bandeja superior.

| Variables       | Valor Teórico | Valor experimental | % Error |
|-----------------|---------------|--------------------|---------|
| % Humedad final | 10            | 11,17              | 11,70   |
| Masa final      | 0,099         | 0,1                | 1,32    |

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Los errores que se obtuvieron son relativamente pequeños por lo que se acepta el diseño y las pruebas de funcionamiento, podemos deducir que se acepta el funcionamiento del equipo.

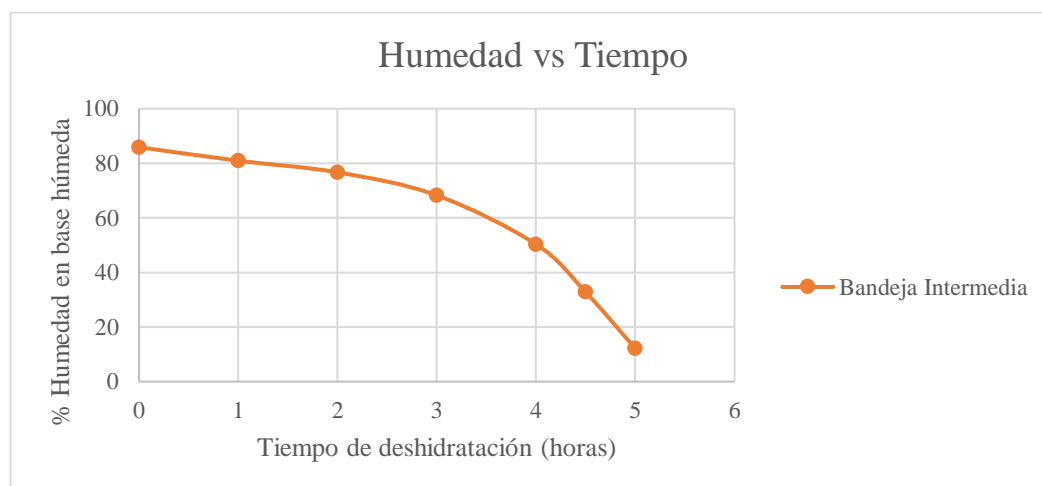
#### 4.1.2.2. Resultados de la bandeja de Naranja en la parte intermedia.

**Tabla 4-9:** Resultado de deshidratación de la naranja en la parte intermedia

| Bandeja intermedia           |                   |                 |                     |                          |
|------------------------------|-------------------|-----------------|---------------------|--------------------------|
| Tiempo de deshidratación [h] | Masa inicial [Kg] | Masa Final [Kg] | Masa evaporada [Kg] | % Humedad en base húmeda |
| 0                            | 0,81              | 0,81            | 0                   | 85,9                     |
| 1                            | 0,81              | 0,6             | 0,21                | 80,96500                 |
| 2                            | 0,6               | 0,49            | 0,11                | 76,69184                 |
| 3                            | 0,49              | 0,36            | 0,13                | 68,27500                 |
| 4                            | 0,36              | 0,23            | 0,13                | 50,34348                 |
| 4,5                          | 0,23              | 0,17            | 0,06                | 32,81765                 |
| 5                            | 0,17              | 0,13            | 0,04                | 12,14615                 |

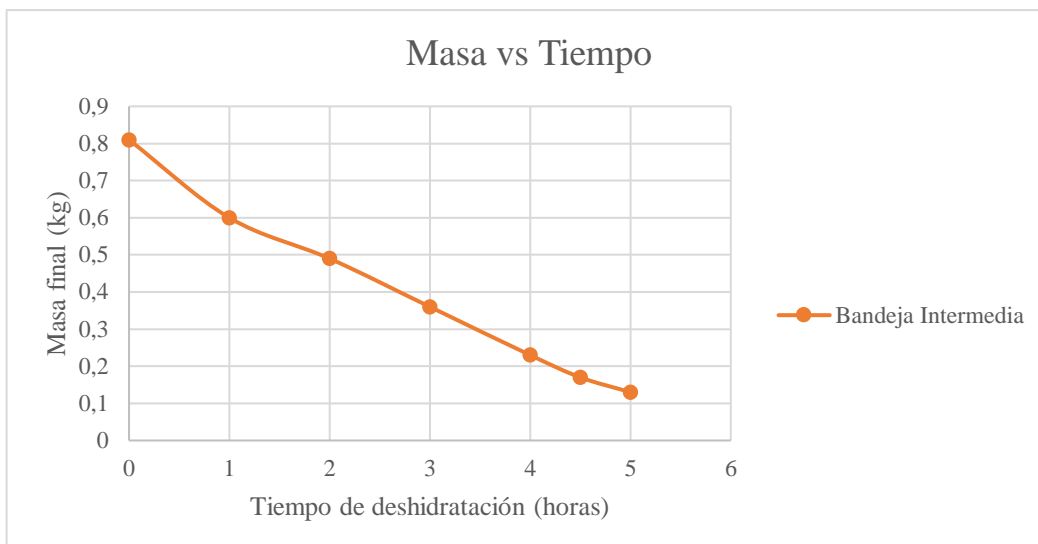
Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

A partir de la Tabla 4-9. Realizamos las gráficas para encontrar las curvas de secado en la parte superior de la cámara.



**Ilustración 4-11:** Gráfica de la curva de deshidratado Humedad vs Tiempo experimental de la Naranja.

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.



**Ilustración 4-12:** Gráfica de la curva de deshidratado Masa vs Tiempo experimental de la Naranja

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Analizamos el porcentaje de error que obtenemos en las pruebas.

**Tabla 4-10:** Porcentajes de error prueba de deshidratación de la Naranja en la bandeja intermedia

| Variables       | Valor Teórico | Valor experimental | % Error |
|-----------------|---------------|--------------------|---------|
| % Humedad final | 10            | 12,15              | 21,46   |
| Masa final      | 0,127         | 0,13               | 2,44    |

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Los errores que se obtuvieron son relativamente pequeños por lo que se acepta el diseño y las pruebas de funcionamiento, podemos deducir que se acepta el funcionamiento del equipo.

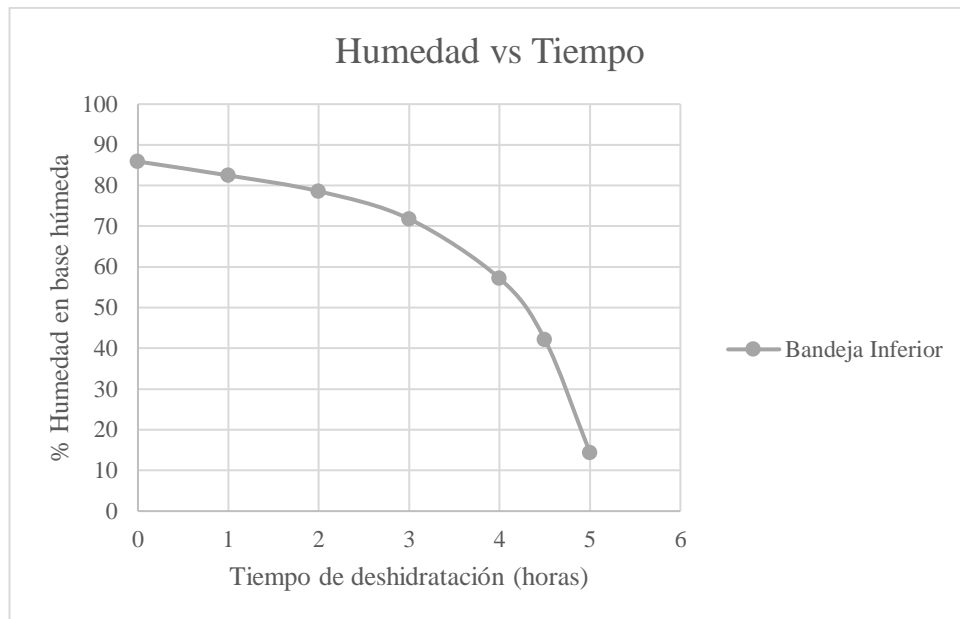
#### 4.1.2.3. Resultados de la bandeja de Naranja en la parte inferior.

**Tabla 4-11:** Resultado de deshidratación de la Naranja en la parte inferior

| Bandeja inferior             |                   |                 |                     |                          |
|------------------------------|-------------------|-----------------|---------------------|--------------------------|
| Tiempo de deshidratación [h] | Masa inicial [Kg] | Masa Final [Kg] | Masa evaporada [Kg] | % Humedad en base húmeda |
| 0                            | 0,82              | 0,82            | 0                   | 85,9                     |
| 1                            | 0,82              | 0,66            | 0,16                | 82,48182                 |
| 2                            | 0,66              | 0,54            | 0,12                | 78,58889                 |
| 3                            | 0,54              | 0,41            | 0,13                | 71,80000                 |
| 4                            | 0,41              | 0,27            | 0,14                | 57,17778                 |
| 4,5                          | 0,27              | 0,20            | 0,07                | 42,19000                 |
| 5                            | 0,2               | 0,14            | 0,065               | 14,35556                 |

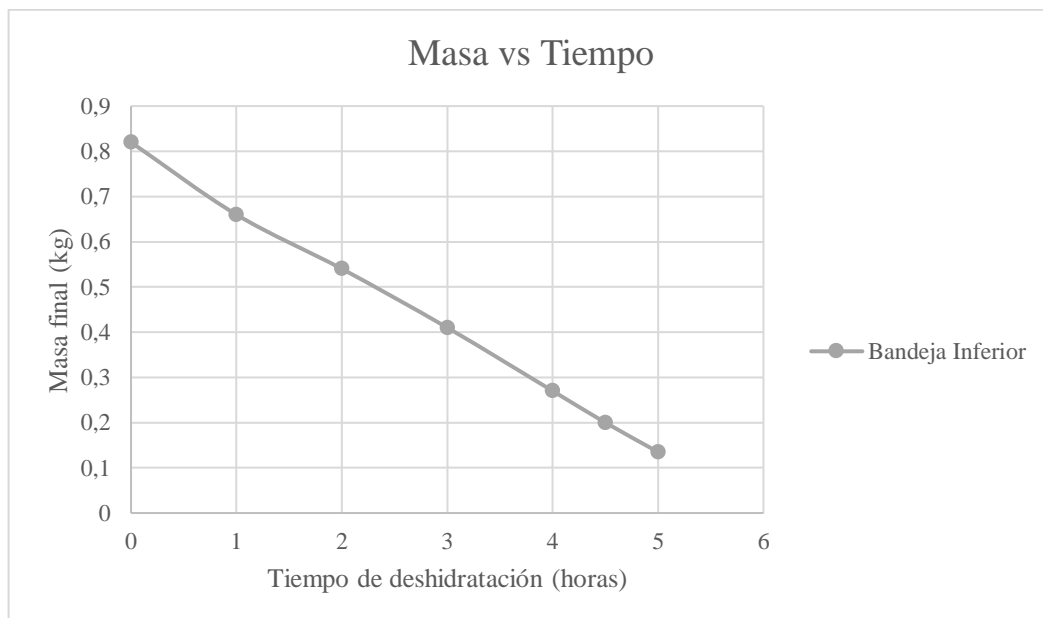
Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

A partir de la Tabla 11-4. Realizamos las gráficas para encontrar las curvas de secado en la parte inferior de la cámara.



**Ilustración 4-13:** Gráfica de la curva de deshidratado Humedad vs Tiempo experimental de la Naranja.

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.



**Ilustración 4-14:** Gráfica de la curva de deshidratado Masa vs Tiempo experimental de la Naranja.

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Analizamos el porcentaje de error que obtenemos en las pruebas.

**Tabla 4-12:** Porcentajes de error prueba de deshidratación de la Naranja en la bandeja inferior

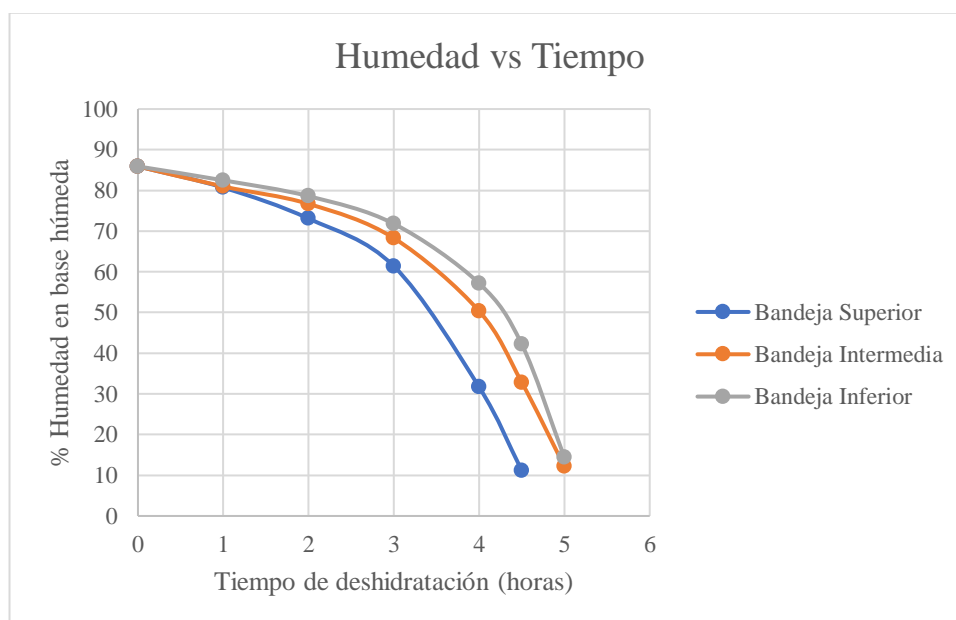
| Variables       | Valor Teórico | Valor experimental | % Error |
|-----------------|---------------|--------------------|---------|
| % Humedad final | 10            | 14,36              | 43,56   |
| Masa final      | 0,128         | 0,14               | 5,09    |

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Los errores que se obtuvieron son relativamente pequeños por lo que se acepta el diseño y las pruebas de funcionamiento, podemos deducir que se acepta el funcionamiento del equipo.

#### 4.1.2.4. Análisis de datos de la Naranja.

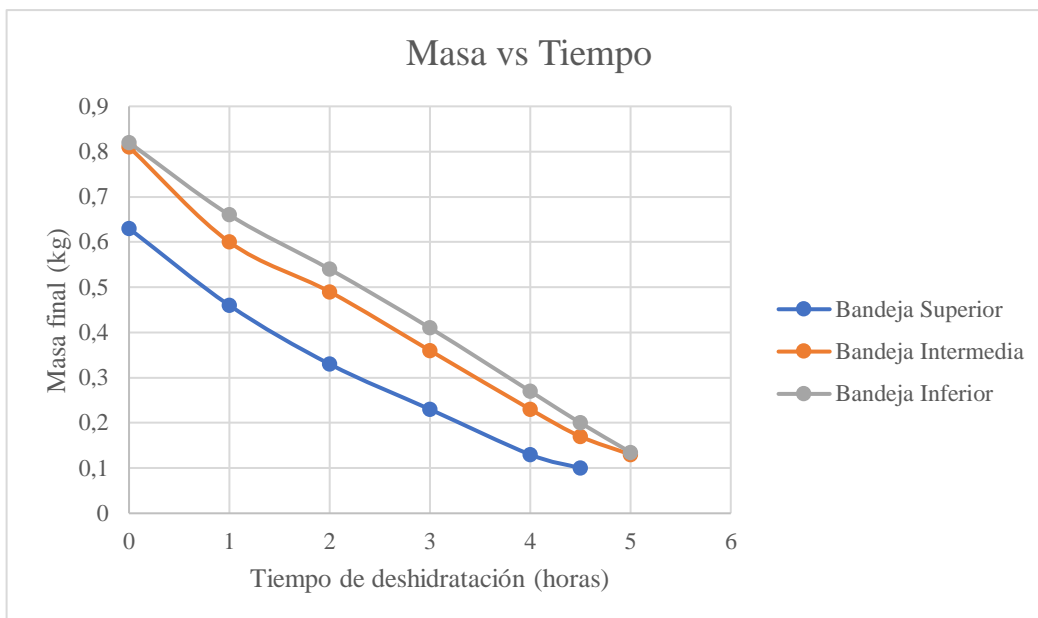
Con esto podemos trazar la gráfica relacionando las variables de humedad y tiempo para conocer la tendencia del secado dentro de la cámara y sacar conclusiones.



**Ilustración 4-15:** Gráfica de comparación Humedad vs Tiempo de las tres bandejas de muestra de Naranja.

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

También podemos trazar la gráfica que relaciona el tiempo con la masa final obtenida para conocer la tendencia que dibuja esta variable.



**Ilustración 4-16:** Gráfica de comparación Masa vs Tiempo de las tres bandejas de muestra de Naranja.

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

#### *Análisis de datos del Limón.*

Las pruebas se realizaron con carga máxima de 20 bandejas, para el análisis de estos resultados se seleccionó solamente las bandejas superior, intermedia e inferior, para posteriormente realizar una comparación entre las tres posiciones y verificar el correcto funcionamiento.

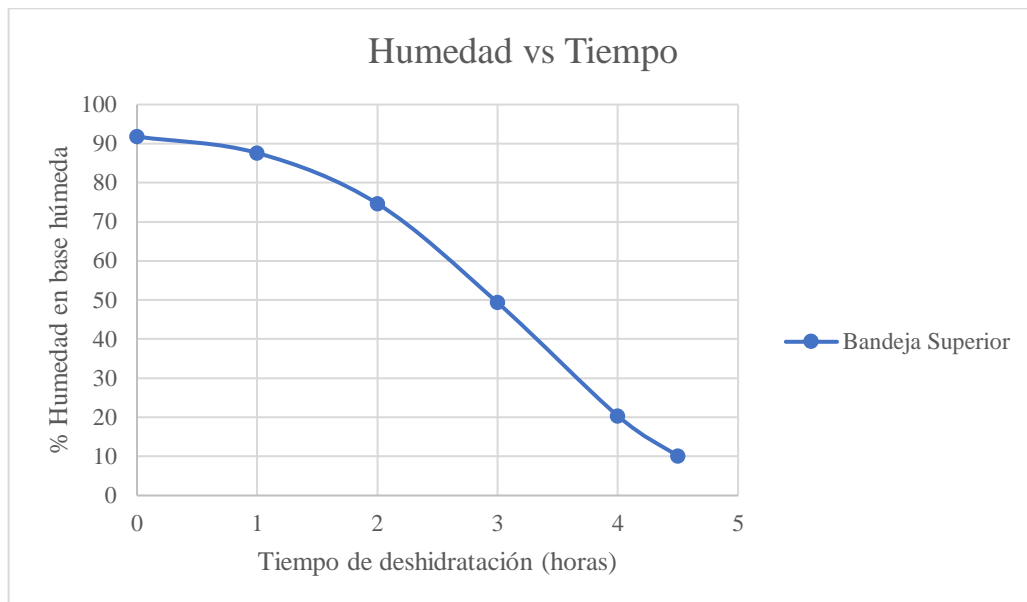
#### *4.1.2.5. Resultados de la bandeja de Limón en la parte superior.*

**Tabla 4-13:** Resultado de deshidratación del Limón en la parte superior.

| Bandeja Superior             |                   |                 |                     |                          |
|------------------------------|-------------------|-----------------|---------------------|--------------------------|
| Tiempo de deshidratación [h] | Masa inicial [Kg] | Masa Final [Kg] | Masa evaporada [Kg] | % Humedad en base húmeda |
| 0                            | 0,68              | 0,68            | 0                   | 91,8                     |
| 1                            | 0,68              | 0,45            | 0,23                | 87,60889                 |
| 2                            | 0,45              | 0,22            | 0,23                | 74,65455                 |
| 3                            | 0,22              | 0,11            | 0,11                | 49,30909                 |
| 4                            | 0,11              | 0,07            | 0,04                | 20,34286                 |
| 4,5                          | 0,07              | 0,06            | 0,008               | 10,06452                 |

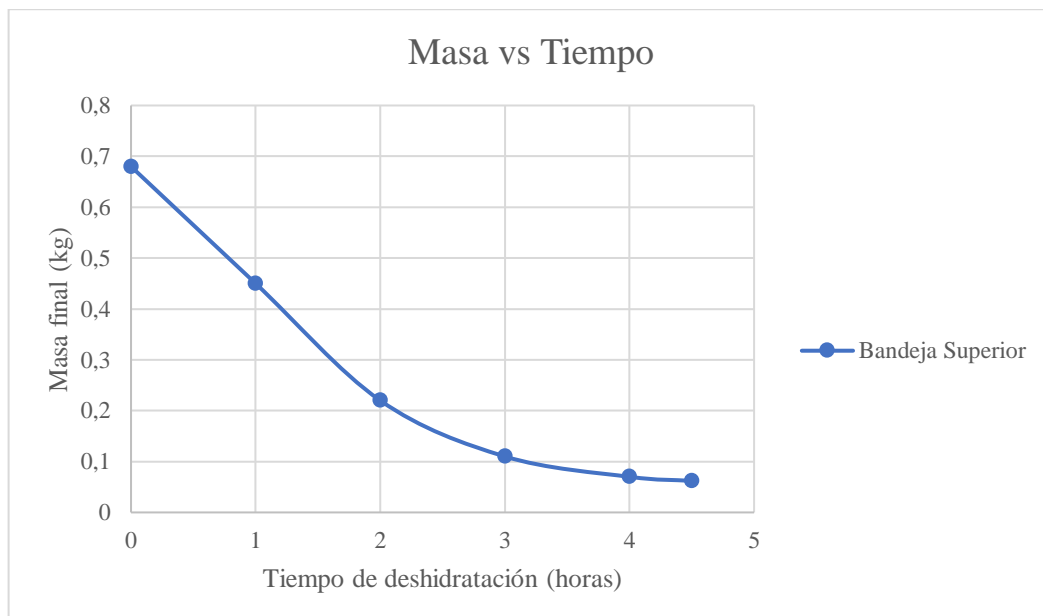
Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

A partir de la Tabla 4-13. Realizamos las gráficas para encontrar las curvas de secado en la parte superior de la cámara.



**Ilustración 4-17:** Gráfica de la curva de deshidratado Humedad vs Tiempo experimental del Limón

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.



**Ilustración 4-18:** Gráfica de la curva de deshidratado Masa vs Tiempo experimental del Limón

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Analizamos el porcentaje de error que obtenemos en las pruebas.



**Tabla 4-14:** Porcentajes de error prueba de deshidratación del Limón en la bandeja superior.

| Variables       | Valor Teórico | Valor experimental | % Error |
|-----------------|---------------|--------------------|---------|
| % Humedad final | 10            | 10,065             | 0,65    |
| Masa final      | 0,062         | 0,062              | 0,07    |

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Los errores que se obtuvieron son relativamente pequeños por lo que se acepta el diseño y las pruebas de funcionamiento, podemos deducir que se acepta el funcionamiento del equipo.

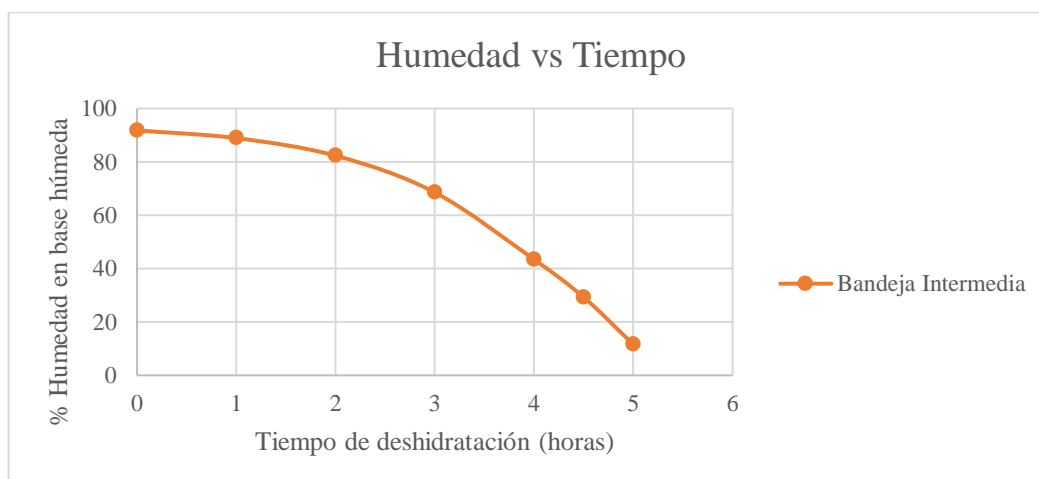
#### 4.1.2.6. Resultados de la bandeja de Limón en la parte intermedia.

**Tabla 4-15:** Resultado de deshidratación del Limón en la parte intermedia.

| Bandeja intermedia           |                   |                 |                     |                          |
|------------------------------|-------------------|-----------------|---------------------|--------------------------|
| Tiempo de deshidratación [h] | Masa inicial [Kg] | Masa Final [Kg] | Masa evaporada [Kg] | % Humedad en base húmeda |
| 0                            | 0,69              | 0,69            | 0                   | 91,8                     |
| 1                            | 0,69              | 0,51            | 0,18                | 88,90588                 |
| 2                            | 0,51              | 0,32            | 0,19                | 82,31875                 |
| 3                            | 0,32              | 0,18            | 0,14                | 68,56667                 |
| 4                            | 0,18              | 0,10            | 0,08                | 43,42000                 |
| 4,5                          | 0,1               | 0,08            | 0,02                | 29,27500                 |
| 5                            | 0,08              | 0,06            | 0,016               | 11,59375                 |

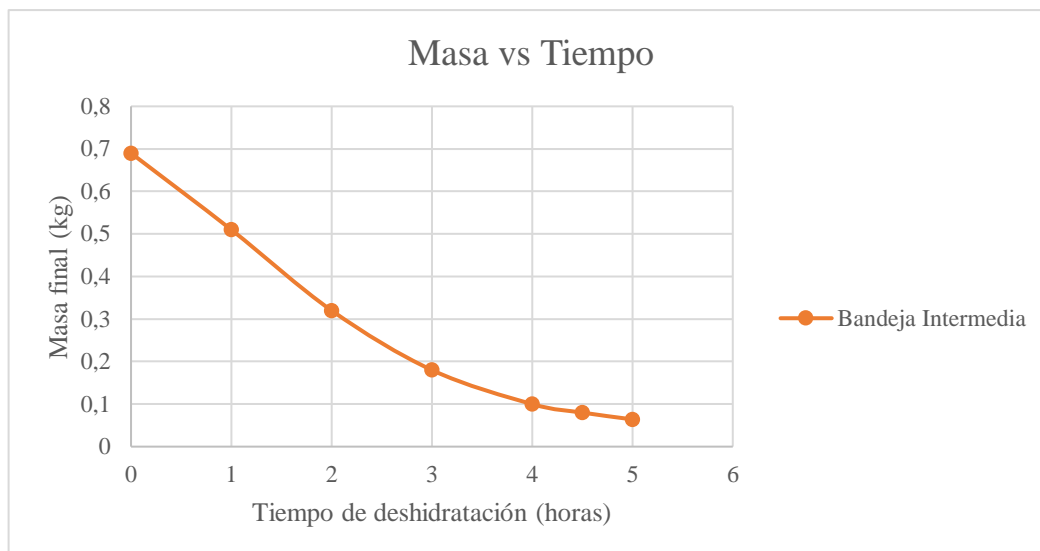
Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

A partir de la Tabla 4-15. Realizamos las gráficas para encontrar las curvas de secado en la parte intermedia de la cámara.



**Ilustración 4-19:** Gráfica de la curva de deshidratado Humedad vs Tiempo experimental del Limón

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.



**Ilustración 4-20:** Gráfica de la curva de deshidratado Masa vs Tiempo experimental del Limón

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Analizamos el porcentaje de error que obtenemos en las pruebas.

**Tabla 4-16:** Porcentajes de error prueba de deshidratación del Limón en la bandeja intermedia

| Variables       | Valor Teórico | Valor experimental | % Error |
|-----------------|---------------|--------------------|---------|
| % Humedad final | 10            | 11,59              | 15,94   |
| Masa final      | 0,063         | 0,064              | 1,80    |

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Los errores que se obtuvieron son relativamente pequeños por lo que se acepta el diseño y las pruebas de funcionamiento, podemos deducir que se acepta el funcionamiento del equipo.

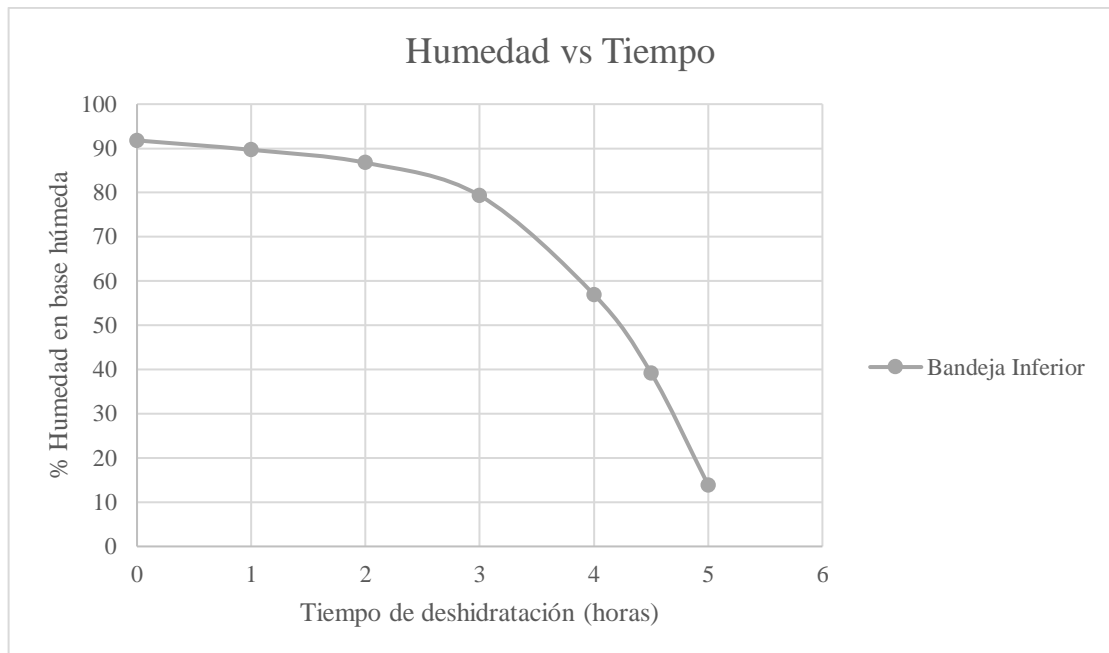
#### 4.1.2.7. Resultados de la bandeja de Limón en la parte inferior.

**Tabla 4-17:** Resultado de deshidratación del Limón en la parte inferior.

| Bandeja inferior             |                   |                 |                     |                          |
|------------------------------|-------------------|-----------------|---------------------|--------------------------|
| Tiempo de deshidratación [h] | Masa inicial [Kg] | Masa Final [Kg] | Masa evaporada [Kg] | % Humedad en base húmeda |
| 0                            | 0,63              | 0,63            | 0                   | 91,8                     |
| 1                            | 0,63              | 0,5             | 0,13                | 89,66800                 |
| 2                            | 0,5               | 0,39            | 0,11                | 86,75385                 |
| 3                            | 0,39              | 0,25            | 0,14                | 79,33600                 |
| 4                            | 0,25              | 0,12            | 0,13                | 56,95000                 |
| 4,5                          | 0,12              | 0,09            | 0,035               | 39,22353                 |
| 5                            | 0,085             | 0,06            | 0,025               | 13,90000                 |

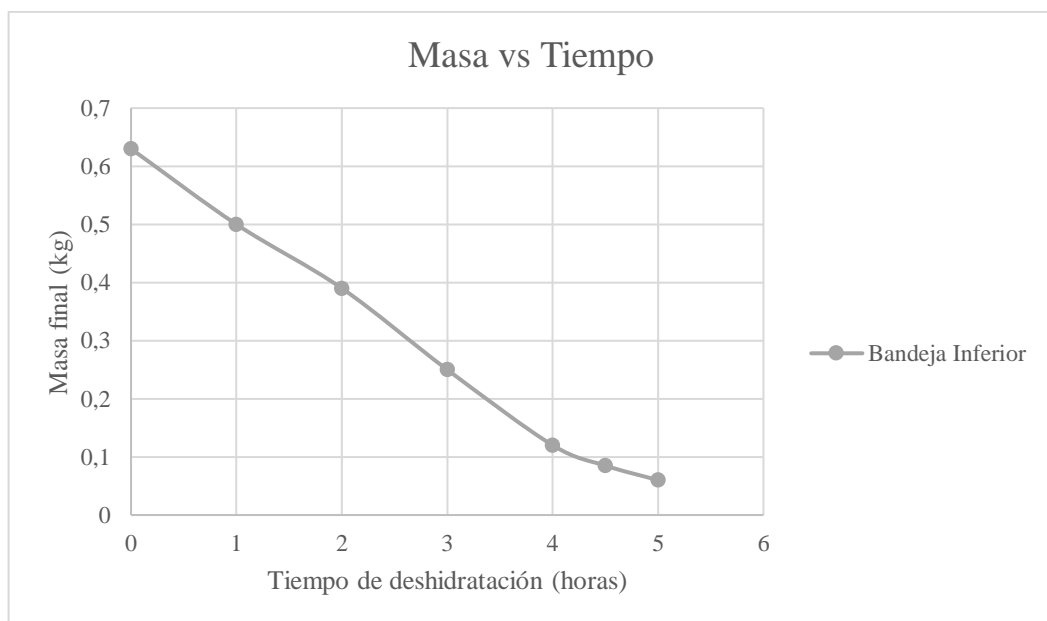
Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

A partir de la Tabla 4-17. Realizamos las gráficas para encontrar las curvas de secado en la parte inferior de la cámara.



**Ilustración 4-21:** Gráfica de la curva de deshidratado Humedad vs Tiempo experimental del Limón

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.



**Ilustración 4-22:** Gráfica de la curva de deshidratado Masa vs Tiempo experimental del Limón

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Analizamos el porcentaje de error que obtenemos en las pruebas.

**Tabla 4-18:** Porcentajes de error prueba de deshidratación del Limón en la bandeja inferior

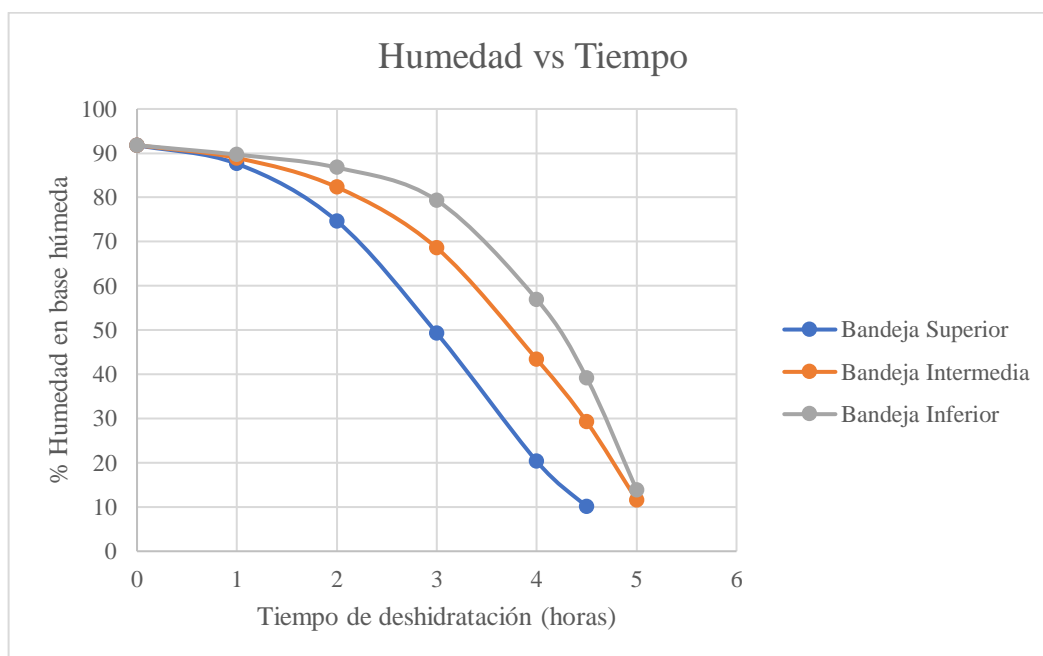
| Variables       | Valor Teórico | Valor experimental | % Error |
|-----------------|---------------|--------------------|---------|
| % Humedad final | 10            | 13,90              | 39,00   |
| Masa final      | 0,057         | 0,06               | 4,53    |

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

Los errores que se obtuvieron son relativamente pequeños por lo que se acepta el diseño y las pruebas de funcionamiento, podemos deducir que se acepta el funcionamiento del equipo.

#### 4.1.2.8. Análisis de datos del Limón.

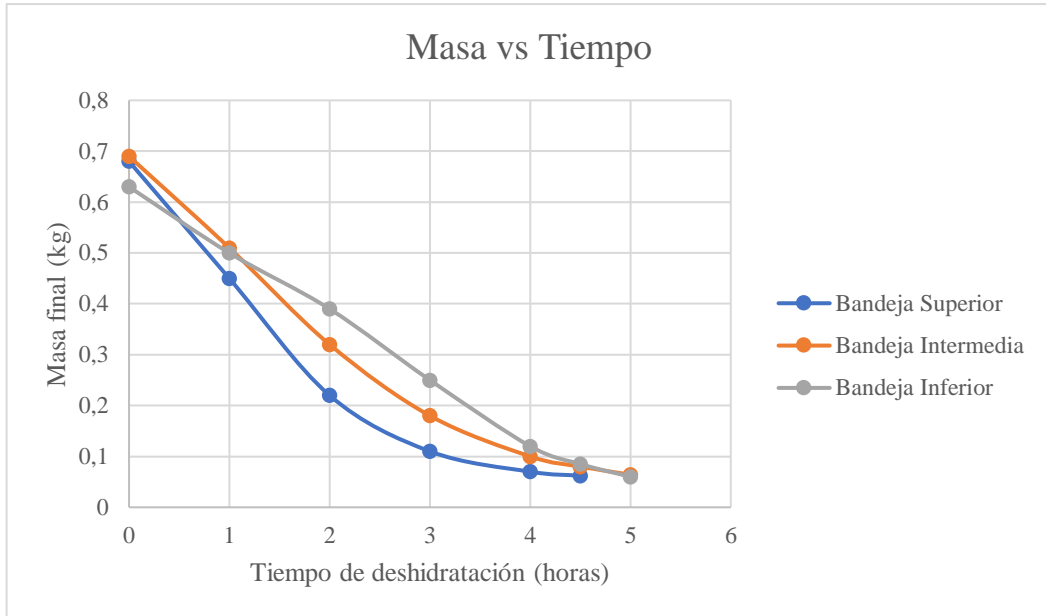
Con esto podemos trazar la gráfica relacionando las variables de humedad y tiempo para conocer la tendencia del secado dentro de la cámara y sacar conclusiones.



**Ilustración 4-23:** Gráfica de comparación Humedad vs Tiempo de las tres muestras de Limón.

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

También podemos trazar la gráfica que relaciona el tiempo con la masa final obtenida para conocer la tendencia que dibuja esta variable.



**Ilustración 4-24:** Gráfica de comparación Masa vs Tiempo de las tres muestras de Limón.

Realizado por: López D.; Toscano C. 2023.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- Se desarrolló el diseño conceptual para realizar el análisis QFD, el cual me definió el prediseño de una deshidratadora con las siguientes características, semi industrial, semiautomática, y con una alimentación de producto hecha sobre bandejas.
- Se realizó el diseño térmico aplicando los conceptos de transferencia de calor, resultando principalmente datos de calores y temperaturas, los cuales los corroboramos utilizando el software ANSYS, principalmente para analizar temperaturas, donde al comparar los datos iterativos con los experimentales, para la temperatura interior de la cámara me da un error de alrededor del 5, 17% y para la comparación de los diferentes análisis de la temperatura exterior me da un error del 5%.
- Se diseñó los elementos mecánicos enfocándose principalmente en el diseño de la bandeja, calculando así su deformación con el software SAP, la cual es muy pequeño debido a que las bandejas soportan un peso máximo de 1 kilogramo.
- Se seleccionó los elementos que forman parte del sistema de control y mando, es así que con la ayuda de un controlador de marca INOVA, que fue elegido basándonos en parámetros de funcionalidad, precio y disponibilidad en el mercado, me permitirá controlar el tiempo y la temperatura de funcionamiento de la deshidratadora, para esto el controlador utilizará un sensor de llama, una termocupla tipo J y una electroválvula, estos elementos me enviarán las señales requeridas por el controlador.
- Se realizó la construcción de la máquina deshidratadora siguiendo los parámetros calculados en las etapas previas, luego se ejecutó las pruebas de funcionamiento aplicando el muestreo de aceptación MIL ST 105 para los lotes de fruta, la cual me establece el tamaño de la muestra, con lo cual puedo comprobar la calidad de mi producto, para posteriormente al analizar los datos experimentales corroborar que mi producto llega al 10% de humedad en el tiempo calculado para cada fruta.

## **5.2. Recomendaciones**

- Se recomienda estudiar la forma de repotenciar la máquina, ya sea con la implementación de nuevos elementos o con el cambio de geometría de alguno de los ya existentes, con el objetivo de mejorar principalmente la transferencia de calor.
- Se propone realizar futuras investigaciones que analicen la eficiencia de nuestro equipo y la forma de mejorar la misma, tratando de obtener mejores resultados.
- Se recomienda analizar de manera más profunda la distribución de calor dentro de la cámara de secado, para alcanzar un mejor proceso de deshidratado aprovechando de mejor manera la fuente de calor.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **ARIZA Pilar, SÁEZ Andrés.** *Métodos de los elementos finitos introducción a ANSYS.* [Versión Pdf]. Editorial Universidad de Sevilla 2015.
2. **BAUTISTA Luis, MEZA David.** Diseño y construcción de una deshidratadora automática, para frutas y verduras para la empresa sensortecsa S.A. Tesis de grado. Repositorio institucional, Sangolquí 2016.
3. **BUENO Fernando, PAREDES Joan.** Desarrollo de un sistema de deshidratado de fruta de bajo costo mediante el control de temperatura para PYMES. Tesis de grado. Repositorio académico UPC. 2017.
4. **CENGEL Y.** *Transferencia De Calor Y Masa.* (4ta edición). México D.F. McGraw Hill.
5. **CENGEL Y.** *Termodinámica.* (7ma edición). México D.F. McGraw Hill.
6. **ESPIN D.** Diseño de un quemador industrial de gas licuado de petróleo (glp) para secado de grano de maíz a razón de 8,5 toneladas por día instalado en el cantón Ventanas. Obtenido de: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6648/1/CD-5029.pdf>
7. **GÓMEZ Daniel.** Soldabilidad de aceros inoxidables austeníticos serie 300 mediante el proceso de soldadura mmaw (electrodo revestido) en ambiente húmedo. Tesis de grado. Repositorio institucional. Saltillo 2015.
8. **GONZALES Arturo.** Quality Function Deployment: Una herramienta para establecer los requerimientos técnicos de un edificio en México. Tesis de postgrado. Repositorio universitario Universidad Politécnica De Valencia. Valencia, España 2014.
9. **GUAMÁN Cristian.** *Diseño y construcción de un deshidratador híbrido automatizado para frutas.* Tesis de grado repositorio institucional. Sangolquí, 2021.
10. **HERRERA José, ROJAS Cristian.** Diseño y construcción de un deshidratador eléctrico automatizado para el secado de la semilla de cereales para el proceso de producción de harinas en agroindustrias. Tesis de pregrado. Repositorio institucional. Latacunga 2015.



11. **LLUMIQUINGA Paúl, SUQUILLO Byron.** Diseño y construcción de un prototipo de deshidratador de frutas de capacidad de 12 kg con circulación de aire forzado utilizando resistencias eléctricas. Tesis de grado. Repositorio institucional. Quito 2015.
12. **MARIÑO Jessica, CHICO Luis.** (Diseño, construcción e instalación de una cámara experimental para deshidratación de productos agrícolas. Tesis de grado. Repositorio institucional ESPOCH. Riobamba, 2012.
13. **MATAMOROS Ingrid, CHICHANDE Daniel.** Diseño de un prototipo de sistema de control para temperatura y humedad en el almacenamiento de arroz, utilizando sistemas embebidos. Tesis de grado. Repositorio institucional Universidad Politécnica Salesiana. Guayaquil, 2021.
14. **MUÑOZ John, ZAPATA César, MEDINA Pedro.** *Lean Manufacturing Modelos y herramientas.* Colección de textos académicos Facultad de Ciencias empresariales. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira 2022.
15. **NAREA Diego, TAPIA Jorge,** Mejora de la eficiencia de un ventilador axial que opera en un refrigerador doméstico. Trabajo de titulación de pregrado. Repositorio institucional universidad politécnica salesiana. Cuenca, 2021.
16. **ORREGO C.** *Procesamiento De Alimentos.* (1era edición). Manizales. Centro de Publicaciones Universidad Nacional de Colombia.
17. **SINGH P.** Introducción a la Ingeniería de los alimentos. (2da edición). Zaragoza. ACRIBIA.

## ANEXOS

### ANEXO A: PLANCHA DE ACERO INOXIDABLE AISI 304 (DIPAC).

## PLANCHAS ACERO INOXIDABLE

### Norma: AISI 304

#### Especificaciones Generales:

|                    |                                |
|--------------------|--------------------------------|
| <b>ESPEORES</b>    | desde 0,40-1,5mm               |
| <b>DIMENSIONES</b> | 1220 x 2440mm (estándar)       |
|                    | 1220 x otros largos (especial) |

|                                |      |         |
|--------------------------------|------|---------|
| DESCRIPCIÓN DE ACUERDO A NORMA | BS   | SUS 304 |
|                                | ASTM | 304     |
|                                | DIN  | 4301    |



Descripción: Acero inoxidable aleado al cromo y níquel, muy resistente a la corrosión intergranular y a los ataques químicos del medio ambiente. Posee una buena resistencia a la corrosión del agua, ácidos y soluciones alcalinas si se emplea con superficie pulida a espejo. Se la puede encontrar con acabado ASTM 2B y 1.

| COMPOSICIÓN QUÍMICA (%) |        |    |       |       |          |         |    |       |
|-------------------------|--------|----|-------|-------|----------|---------|----|-------|
| C Max                   | Si Max | Mn | P Max | S Max | Ni       | Cr      | Mo | Otros |
| 0,08                    | 1      | 2  | 0,04  | 0,03  | 8 - 10,5 | 18 - 20 | XX | XX    |

| PROPIEDADES MECÁNICAS |       |                    |       |                   |                         |         |
|-----------------------|-------|--------------------|-------|-------------------|-------------------------|---------|
| RESISTENCIA MECÁNICA  |       | PUNTO DE FLUENCIA  |       | Elongación % Min. | PRUEBAS DE DUREZA (MAX) |         |
| Kg/mm <sup>2</sup>    | Psi   | Kg/mm <sup>2</sup> | Psi   |                   | ROCKWELL B              | VICKERS |
| 49                    | 69500 | 18                 | 25500 | 40                | 81,7                    | 160     |

ACERO INOXIDABLE

### Norma: AISI 201

#### Especificaciones Generales:

|                    |                                |
|--------------------|--------------------------------|
| <b>ESPEORES</b>    | desde 0,70-3mm                 |
| <b>DIMENSIONES</b> | 1220 x 2440mm (estándar)       |
|                    | 1220 x otros largos (especial) |

|                                |      |         |
|--------------------------------|------|---------|
| DESCRIPCIÓN DE ACUERDO A NORMA | BS   | SUS 201 |
|                                | ASTM | 201     |
|                                | DIN  | XXX     |



Es un acero al cromo, manganeso, níquel con excelentes propiedades de tensión. Ofrece buena resistencia a la corrosión y a muchos agentes corrosivos moderados.

## PLANCHAS ACERO INOXIDABLE

### Norma: AISI 201

Aplicaciones: Utensillos con embuticiones extra profundas, Cocinado a presión, Línea de cocina, Artículos para calentar alimentos, Dispensadores de bebidas y equipos para fabricación de hielos, Bombos de lavadoras, Lavavajillas, fregaderos, entre otros.

| COMPOSICIÓN QUÍMICA (%) |        |           |       |       |           |         |    |             |
|-------------------------|--------|-----------|-------|-------|-----------|---------|----|-------------|
| C Max                   | Si Max | Mn        | P Max | S Max | Ni        | Cr      | Mo | Otros       |
| 0.15                    | 1      | 5.5 - 7.5 | 0.06  | 0.03  | 3.5 - 5.5 | 16 - 18 |    | N: 0.25 Max |

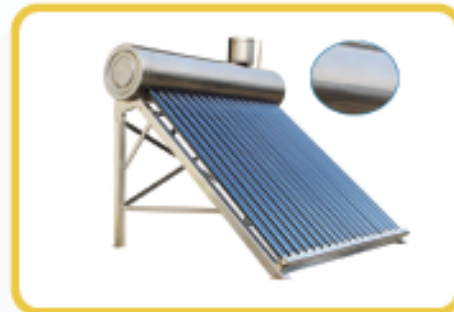
| PROPIEDADES MECÁNICAS |       |                    |       |                      |                         |         |
|-----------------------|-------|--------------------|-------|----------------------|-------------------------|---------|
| RESISTENCIA MECÁNICA  |       | PUNTO DE FLUENCIA  |       | Elongación<br>% Min. | PRUEBAS DE DUREZA (MAX) |         |
| Kg/mm <sup>2</sup>    | Psi   | Kg/mm <sup>2</sup> | Psi   |                      | ROCKWELL B              | VICKERS |
| 65                    | 93000 | 25                 | 35800 | 40                   | 92                      | 205     |

### Norma: AISI 430

#### Especificaciones Generales:

|                    |                                     |
|--------------------|-------------------------------------|
| <b>ESPEORES</b>    | Acabado 2B: 0,4; 0,6; 0,7; 1; 1,5mm |
|                    | Acabado N4: 0,4; 0,6; 0,7; 1; 1,5mm |
| <b>DIMENSIONES</b> | 1220 x 2440mm (estándar)            |
|                    | 1220 x otros largos (especial)      |

| DESCRIPCIÓN DE<br>ACUERDO A NORMA | IS   | SUS430 |
|-----------------------------------|------|--------|
|                                   | ASTM | 430    |
|                                   | DIN  | 4016   |



Estos aceros inoxidables de la serie 400 AISI (American Iron Steel Institute) mantienen una estructura ferrítica estable desde la temperatura ambiente hasta el punto de fusión. Sus características son: Resistencia a la corrosión de moderada a buena, Endurecidos moderadamente por trabajo en frío. Son magnéticos, su soldabilidad es pobre, Acabados 2B y N4.

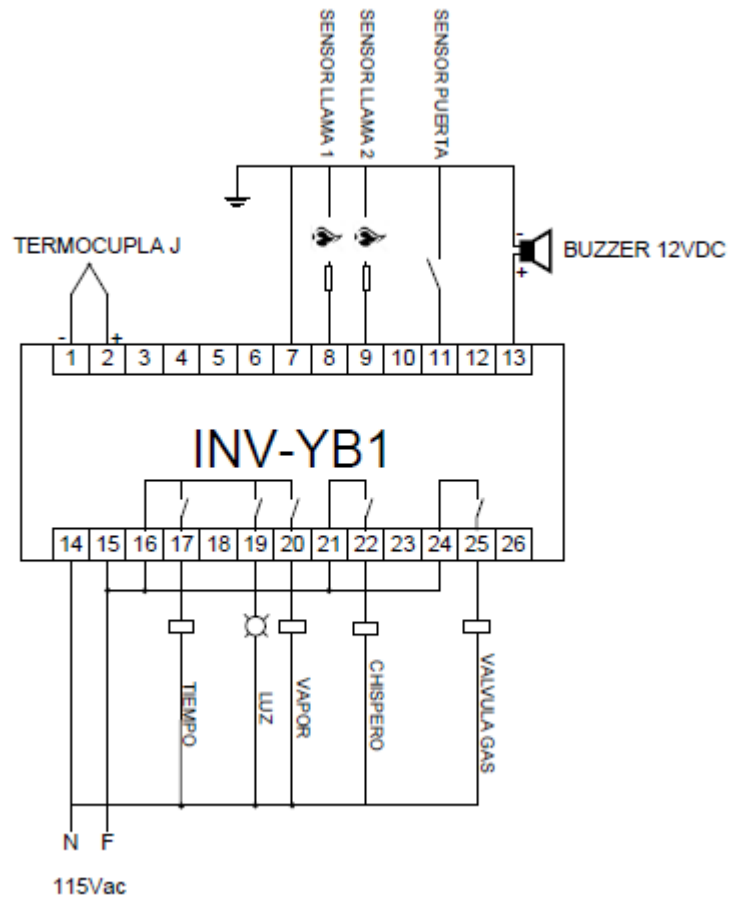
| COMPOSICIÓN QUÍMICA (%) |        |    |       |       |     |         |    |       |
|-------------------------|--------|----|-------|-------|-----|---------|----|-------|
| C Max                   | Si Max | Mn | P Max | S Max | Ni  | Cr      | Mo | Otros |
| 0,12                    | 0,75   | 1  | 0,04  | 0,03  | 0,6 | 16 - 18 | XX | XX    |

| PROPIEDADES MECÁNICAS |       |                    |       |                      |                         |         |
|-----------------------|-------|--------------------|-------|----------------------|-------------------------|---------|
| RESISTENCIA MECÁNICA  |       | PUNTO DE FLUENCIA  |       | Elongación<br>% Min. | PRUEBAS DE DUREZA (MAX) |         |
| Kg/mm <sup>2</sup>    | Psi   | Kg/mm <sup>2</sup> | Psi   |                      | ROCKWELL B              | VICKERS |
| 46                    | 65800 | 22                 | 30000 | 40                   | 78                      | 150     |

ANEXO C: MALLA ACERO INOXIDABLE (ACERIMALLAS).

| MALLAS EN ACERO INOXIDABLE EN STOCK |                 |                    |                |              |                  |
|-------------------------------------|-----------------|--------------------|----------------|--------------|------------------|
| MESH                                | "ABERTURA (mm)" | Diámetro Hilo (mm) | A. Abierta (%) | Ancho (1 mt) | Ancho (1,22 mts) |
| #1                                  | 23,40           | 2,00               | 85             |              | *                |
| #2                                  | 11,10           | 1,60               | 76             |              | *                |
| #3                                  | 7,07            | 1,40               | 70             |              | *                |
| #4                                  | 5,62            | 0,73               | 78             |              | *                |
| #4                                  | 5,20            | 1,10               | 78             |              | *                |
| #5                                  | 4,18            | 0,90               | 66             |              | *                |
| #6                                  | 3,60            | 0,60               | 72             | *            |                  |
| #6                                  | 3,30            | 0,98               | 72             | *            |                  |
| #8                                  | 2,38            | 0,80               | 55             | *            | *                |
| #10                                 | 1,95            | 0,60               | 60             | *            |                  |
| #12                                 | 1,52            | 0,60               | 34             | *            |                  |
| #12                                 | 1,24            | 0,88               | 34             | *            |                  |
| #14                                 | 1,31            | 0,50               | 52             | *            | *                |
| #16                                 | 1,16            | 0,43               | 53             | *            |                  |
| #18                                 | 0,96            | 0,45               | 46             | *            |                  |
| #20                                 | 0,87            | 0,40               | 47             | *            |                  |
| #25                                 | 0,64            | 0,40               | 37             |              | *                |
| #30                                 | 0,55            | 0,30               | 42             | *            |                  |
| #40                                 | 0,40            | 0,23               | 40             | *            |                  |
| #50                                 | 0,30            | 0,21               | 35             | *            | *                |
| #60                                 | 0,24            | 0,18               | 33             | *            | *                |
| #70                                 | 0,22            | 0,14               | 38             | *            |                  |
| #80                                 | 0,20            | 0,12               | 39             | *            |                  |
| #90                                 | 0,17            | 0,11               | 38             | *            |                  |
| #100                                | 0,15            | 0,10               | 33             | *            | *                |
| #120                                | 0,13            | 0,08               | 38             | *            |                  |
| #150                                | 0,10            | 0,07               | 27             | *            |                  |
| #180                                | 0,06            | 0,08               | 20             | *            |                  |
| #200                                | 0,07            | 0,05               | 32             | *            |                  |
| #250                                | 0,06            | 0,04               |                | *            |                  |
| #300                                | 0,04            | 0,04               |                | *            |                  |

**ANEXO D: DIAGRAMA DE CONEXIÓN AL CONTROLADOR (INOVA).**



# ANEXO E: DATOS DE LA ELECTROVÁLVULA

1809001 CE



## 2W Series Solenoid Valve



### Ordering Code 2W(UW) Series 2/2 Direct Acting Solenoid Valve (Big Orifice)

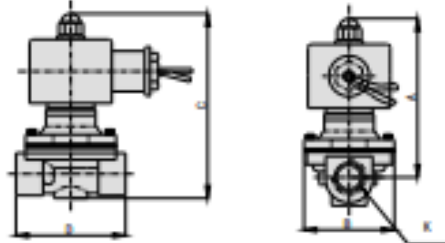
|                              |  |   |                                   |   |   |
|------------------------------|--|---|-----------------------------------|---|---|
| <b>2W</b>                    | <b>160 - 15</b>  | <b>F</b>  | <b>D</b>                          | <b>□</b>  | <b>AC 110V</b>  |
| <b>Type Code</b>             | <b>Orifice</b>   | <b>Joint Size</b>   | <b>Mounting Type</b>              | <b>Coil Type</b>  | <b>Control Style</b>  |
| 2W: Direction Solenoid Valve | 160:16mm<br>200:20mm<br>250:25mm<br>350:35mm<br>400:40mm<br>500:50mm | 10:3/8"<br>15:1/2"<br>20:3/4"<br>25:1"<br>35:1 1/4"<br>40:1 1/2"<br>50:2" | Blank: Standard<br>F: With Flange | Blank: Flying leads<br>D: DIN Type<br>E: Anti-explosion Coil<br>G: Water-Proof Coil | Blank: Normal Close<br>T: Normal Open   |
|                              |  |   |                                   |   | <b>Standard Voltage</b>   |
|                              |  |   |                                   |   | DC12V<br>DC24V<br>AC24V 50/60Hz<br>AC110V 50/60Hz<br>AC220V 50/60Hz<br>AC380V 50/60Hz |

Note: Only 2W160, 2W200, 2W250 valve can make normal open type

### Specifications

| Model               | 2W160-10  | 2W160-15 | 2W200-20 | 2W250-25 | 2W350-35 | 2W400-40 | 2W500-50 |
|---------------------|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Working Medium      | Air, Water, Oil, Gas  |          |          |          |          |          |          |
| Acting Type         | Direct Acting Type  |          |          |          |          |          |          |
| Control Style       | Normal Close/Normal Open  |          |          |          |          |          |          |
| Orifice             | 16mm  |          | 20mm     | 25mm     | 35mm     | 40mm     | 50mm     |
| CV Value            | 4.8   |          | 7.8      | 12       | 24       | 29       | 48       |
| Joint Size          | G3/8"   | G1/2"    | G3/4"    | G1"      | G1 1/4"  | G1 1/2"  | G2"      |
| Working Pressure    | Air: 0~0.7Mpa ; Water: 0~0.5Mpa ; Oil: 0~0.5Mpa; Gas: 0~0.7Mpa  |          |          |          |          |          |          |
| Max. Pressure       | 1.05Mpa   |          |          |          |          |          |          |
| Working Temperature | -5~80°C (The temperature can reach -5~150°C if change the seal) |          |          |          |          |          |          |
| Valve Body          | Brass   |          |          |          |          |          |          |
| Seal material       | NBR , VITON   |          |          |          |          |          |          |

### Main Specification



| Model    | A     | B    | C     | D   | K      |
|----------|-------|------|-------|-----|--------|
| 2W160-10 | 101.5 | 57.0 | 117   | 89  | 3/8"   |
| 2W160-15 | 101.5 | 57.0 | 117   | 89  | 1/2"   |
| 2W200-20 | 107.0 | 57.0 | 123.5 | 73  | 3/4"   |
| 2W250-25 | 111.5 | 73.5 | 134.5 | 99  | 1"     |
| 2W350-35 | 142.0 | 95.0 | 172   | 123 | 1 1/4" |
| 2W400-40 | 142.0 | 95.0 | 172   | 123 | 1 1/2" |
| 2W500-50 | 172   | 123  | 209   | 168 | 2"     |

## ANEXO F: PROPIEDADES DE LOS ALIMENTOS

**TABLA A-7**

Propiedades de alimentos comunes

a) Calores específicos y propiedades en el punto de congelación

| Alimento          | Contenido de agua, <sup>a</sup><br>% (masa) | Punto de congelación <sup>a</sup><br>°C | Calor específico, <sup>b</sup><br>kJ/kg · K |                                 | Calor latente de fusión, <sup>c</sup><br>kJ/kg | Alimento                | Contenido de agua, <sup>a</sup><br>% (masa) | Punto de congelación <sup>a</sup><br>°C | Calor específico, <sup>b</sup><br>kJ/kg · K |                                 | Calor latente de fusión, <sup>c</sup><br>kJ/kg |
|-------------------|---|---|---|---------------------------------|--|-------------------------|---|---|---|---------------------------------|--|
|                   |   |   | Arriba del punto de congelación             | Debajo del punto de congelación |  |                         |   |   | Arriba del punto de congelación             | Debajo del punto de congelación |  |
| <b>Vegetales</b>  |   |   |   |                                 |  |                         |   |   |   |                                 |  |
| Alicachofas       | 84  | -1.2                                    | 3.65  | 1.90                            | 281  | Duraznos                | 89  | -0.9                                    | 3.82  | 1.96                            | 297  |
| Espárragos        | 93  | -0.6                                    | 3.96  | 2.01                            | 311  | Papas                   | 83  | -1.6                                    | 3.62  | 1.89                            | 277  |
| Frijoles          | 89  | -0.7                                    | 3.82  | 1.96                            | 297  | Piñas                   | 86  | -1.0                                    | 3.69  | 1.91                            | 284  |
| Brocoli           | 90  | -0.6                                    | 3.86  | 1.97                            | 301  | Ciruelas                | 86  | -0.8                                    | 3.72  | 1.92                            | 287  |
| Col               | 92  | -0.9                                    | 3.92  | 2.00                            | 307  | Membrillos              | 85  | -2.0                                    | 3.69  | 1.91                            | 284  |
| Zanahorias        | 88  | -1.4                                    | 3.79  | 1.95                            | 294  | Papas                   | 18  | —                                       | —   | —                               | 60   |
| Coliflor          | 92  | -0.8                                    | 3.92  | 2.00                            | 307  | Fresas                  | 90  | -0.8                                    | 3.86  | 1.97                            | 301  |
| Apio              | 94  | -0.5                                    | 3.99  | 2.02                            | 314  | Mandarinas              | 87  | -1.1                                    | 3.75  | 1.94                            | 291  |
| Maíz tierno       | 74  | -0.6                                    | 3.32  | 1.77                            | 247  | Sandías                 | 93  | -0.4                                    | 3.96  | 2.01                            | 311  |
| Papinos           | 96  | -0.5                                    | 4.06  | 2.05                            | 321  | <b>Pescado/mariscos</b> |   |   |   |                                 |  |
| Berenjena         | 93  | -0.8                                    | 3.96  | 2.01                            | 311  | Bacalao entero          | 78  | -2.2                                    | 3.45  | 1.82                            | 261  |
| Rábano            | 75  | -1.8                                    | 3.35  | 1.78                            | 261  | Hipopofso entero        | 75  | -2.2                                    | 3.35  | 1.78                            | 261  |
| Porro             | 85  | -0.7                                    | 3.69  | 1.91                            | 284  | Langosta                | 79  | -2.2                                    | 3.49  | 1.84                            | 264  |
| Lechuga           | 95  | -0.2                                    | 4.02  | 2.04                            | 317  | Macarela                | 57  | -2.2                                    | 2.75  | 1.56                            | 190  |
| Hongos            | 91  | -0.9                                    | 3.89  | 1.99                            | 304  | Salmón entero           | 64  | -2.2                                    | 2.98  | 1.65                            | 214  |
| Quimbombó         | 90  | -1.8                                    | 3.86  | 1.97                            | 301  | Camarón                 | 83  | -2.2                                    | 3.62  | 1.89                            | 277  |
| Cebollas frescas  | 89  | -0.9                                    | 3.82  | 1.96                            | 297  | <b>Carnes</b>           |   |   |   |                                 |  |
| Cebollas secas    | 88  | -0.8                                    | 3.79  | 1.95                            | 294  | Ries, canal de          | 49  | -1.7                                    | 2.48  | 1.46                            | 164  |
| Perajil           | 85  | -1.1                                    | 3.69  | 1.91                            | 284  | Hígado                  | 70  | -1.7                                    | 3.18  | 1.72                            | 234  |
| Chicharos frescos | 74  | -0.6                                    | 3.32  | 1.77                            | 247  | Bistac                  | 67  | —                                       | —   | —                               | 224  |
| Pimientos         | 92  | -0.7                                    | 3.92  | 2.00                            | 307  | Lomo                    | 56  | —                                       | —   | —                               | 187  |
| Papas             | 78  | -0.6                                    | 3.45  | 1.82                            | 261  | Pollo                   | 74  | -2.8                                    | 3.32  | 1.77                            | 247  |
| Calabazas         | 91  | -0.8                                    | 3.89  | 1.99                            | 304  | Cordero, pierna de      | 65  | —                                       | —   | —                               | 217  |
| Espinaca          | 93  | -0.3                                    | 3.96  | 2.01                            | 311  | Cerdo, canal de         | 37  | —                                       | —   | —                               | 134  |
| Tomate rojo       | 94  | -0.5                                    | 3.99  | 2.02                            | 314  | Jamón                   | 56  | -1.7                                    | 2.72  | 1.55                            | 187  |
| Nabos             | 92  | -1.1                                    | 3.92  | 2.00                            | 307  | Salchicha de puerco     | 38  | —                                       | —   | —                               | 127  |
|                   |   |   |   |                                 |  | Pavo                    | 64  | —                                       | —   | —                               | 214  |
| <b>Frutas</b>     |   |   |   |                                 |  |                         |   |   |   |                                 |  |
| Manzanas          | 84  | -1.1                                    | 3.65  | 1.90                            | 281  | <b>Otros</b>            |   |   |   |                                 |  |
| Chabacanos        | 85  | -1.1                                    | 3.69  | 1.91                            | 284  | Almendras               | 5   | —                                       | —   | —                               | 17   |
| Aguaacates        | 65  | -0.3                                    | 3.02  | 1.66                            | 217  | Mantequilla             | 16  | —                                       | —   | —                               | 53   |
| Plátanos          | 75  | -0.8                                    | 3.35  | 1.78                            | 261  | Queso americano         | 37  | -17.9                                   | 2.08  | 1.31                            | 124  |
| Moras azules      | 82  | -1.6                                    | 3.59  | 1.87                            | 274  | Queso suizo             | 39  | -10.0                                   | 2.15  | 1.33                            | 130  |
| Malones           | 92  | -1.2                                    | 3.92  | 2.00                            | 307  | Chocolata con leche     | 1   | —                                       | —   | —                               | 3  |
| Cerezas ácidas    | 84  | -1.7                                    | 3.65  | 1.90                            | 281  | Huevos enteros          | 74  | -0.6                                    | 3.32  | 1.77                            | 247  |
| Cerezas dulces    | 80  | -1.8                                    | 3.52  | 1.85                            | 267  | Miel de abeja           | 17  | —                                       | —   | —                               | 57   |
| Higos secos       | 23  | —                                       | —   | 1.13                            | 77   | Mantecado               | 63  | -6.6                                    | 2.95  | 1.63                            | 210  |
| Higos frescos     | 78  | -2.4                                    | 3.45  | 1.82                            | 261  | Leche entera            | 88  | -0.6                                    | 3.79  | 1.96                            | 294  |
| Toronja           | 89  | -1.1                                    | 3.82  | 1.96                            | 297  | Cacahuates              | 6   | —                                       | —   | —                               | 0.92   |
| Uvas              | 82  | -1.1                                    | 3.59  | 1.87                            | 274  | Cacahuates tostados     | 2   | —                                       | —   | —                               | 0.87   |
| Limonas           | 89  | -1.4                                    | 3.82  | 1.96                            | 297  | Nueces encarameladas    | 3   | —                                       | —   | —                               | 0.87   |
| Acaitunas         | 75  | -1.4                                    | 3.35  | 1.78                            | 261  | Nueces                  | 4   | —                                       | —   | —                               | 0.88   |
| Naranjas          | 87  | -0.8                                    | 3.75  | 1.94                            | 291  |                         |   |   |   |                                 |  |

Fuentes: <sup>a</sup>Los datos sobre los contenidos de agua y los puntos de congelación se tomaron del *Handbook of Fundamentals* de la ASHRAE, versión en el SI (Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc., 1993), cap. 30, tabla 1. Usado con autorización. El punto de congelación es la temperatura a la cual esa congelación se inicia para las frutas y los vegetales, y la temperatura promedio de congelación para los otros alimentos.

<sup>b</sup> Los datos del calor específico están basados en los valores del calor específico del agua y el hielo a 0°C y se determinan con base en las fórmulas de Siskel:  $c_{p, \text{hielo}} = 3.35 \times (\text{contenido de agua}) + 0.84$ , arriba del punto de congelación, y  $c_{p, \text{congelado}} = 1.26 \times (\text{contenido de agua}) + 0.84$ , debajo del punto de congelación.

<sup>c</sup> El calor latente de fusión se determina al multiplicar el calor de fusión del agua (334 kJ/kg) por el contenido de agua del alimento.