

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TRABAJO ESTRUCTURADO DE MANERA
INDEPENDIENTE**

**Previo a la obtención del Título de:
INGENIERO MECÁNICO**

TEMA:

“ESTUDIO DEL PROCESO DE SECADO CON LÁMPARAS INFRARROJAS
Y SU INFLUENCIA SOBRE LA DETERMINACIÓN DEL GRADO DE
HUMEDAD EN CUBETAS DE CARTÓN DE HUEVOS PRODUCIDAS EN
LA FÁBRICA AVÍCOLA UBICADA EN SAMANGA”

AUTOR: Egdo. Juan Carlos Espinoza Freire

TUTOR: Ing. Luis Escobar

AMBATO - ECUADOR

2013

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del trabajo de investigación, bajo el tema “ESTUDIO DEL PROCESO DE SECADO CON LÁMPARAS INFRARROJAS Y SU INFLUENCIA SOBRE LA DETERMINACIÓN DEL GRADO DE HUMEDAD EN CUBETAS DE CARTÓN DE HUEVOS PRODUCIDAS EN LA FÁBRICA AVÍCOLA UBICADA EN SAMANGA”, desarrollado por el estudiante Juan Carlos Espinoza Friere, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, considero que dicho informe investigativo reúne los requisitos suficientes para ser sometido a la evaluación del Tribunal Examinador designado por el Consejo Directivo de esta Facultad.

EL TUTOR

Ing. Luis Escobar

AUTORÍA DEL TRABAJO DE GRADO

Declaro que los criterios expresados en la investigación denominada “ESTUDIO DEL PROCESO DE SECADO CON LÁMPARAS INFRARROJAS Y SU INFLUENCIA SOBRE LA DETERMINACIÓN DEL GRADO DE HUMEDAD EN CUBETAS DE CARTÓN DE HUEVOS PRODUCIDAS EN LA FÁBRICA AVÍCOLA UBICADA EN SAMANGA”, así como también las ideas, análisis, conclusiones y propuesta son auténticas y de exclusiva responsabilidad de mi persona como autor de la presente investigación de grado.

EL AUTOR

Egdo. Juan Carlos Espinoza Freire
C.I. 180427699-4

DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada gratamente a Dios, ya que con su ayuda he podido seguirme superando día tras día por el camino del bien, siento que su apoyo ha sido incondicional, así que espero me siga iluminando y dando las fuerzas necesarias para poder enfrentar las situaciones que se me presenten cada día.

AGRADECIMIENTO

Primeramente agradezco a Dios por darme salud y vida, energía y fortaleza para continuar luchando por ser un hombre de bien. De igual manera les doy mil gracias a mis padres José e Inés, ya que con ellos he podido ir creciendo en mi vida estudiantil, con su apoyo y consejos que me han sabido inculcar responsabilidad y esfuerzo.

Igualmente agradezco a mi tutor de tesis, al Ing. Luis Escobar por haberme guiado y ayudado para el desarrollo de esta tesis de manera adecuada; como no también agradecer a todos quienes fueron mis maestros, porque gracias a ellos he podido conllevarme buenos cimientos, para de este modo desempeñarme de buena manera en la vida profesional.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PÁGINAS PRELIMINARES

| | |
|--|-------|
| Página de título..... | I |
| Página de aprobación por el tutor..... | II |
| Página de autoría de la Tesis..... | III |
| Página de dedicatoria..... | IV |
| Página de agradecimiento..... | V |
| Índice general de contenidos..... | VI |
| Índice de figuras y tablas..... | XIII |
| Resumen Ejecutivo..... | XVIII |

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

| | |
|---|---|
| 1.1 TEMA | 1 |
| 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 1 |
| 1.2.1 Contextualización..... | 1 |
| 1.2.2 Análisis Crítico..... | 2 |
| 1.2.3 Prognosis | 3 |
| 1.2.4 Formulación de Problema..... | 3 |
| 1.2.5 Interrogantes | 3 |
| 1.2.5 Delimitación del objeto de la investigación | 4 |
| 1.3 JUSTIFICACIÓN | 4 |
| 1.4 OBJETIVOS | 5 |
| 1.4.1 Objetivo General | 5 |

| | |
|-----------------------------------|---|
| 1.4.2 Objetivos Específicos | 5 |
|-----------------------------------|---|

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

| | |
|---|----|
| 2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS..... | 7 |
| 2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA..... | 9 |
| 2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL..... | 10 |
| 2.4 CATEGORIAS FUNDAMENTALES | 10 |
| 2.4.1 Secado de cubetas de cartón | 10 |
| 2.4.1.1 El proceso de secado..... | 11 |
| 2.4.2 Métodos de secado | 12 |
| 2.4.3 Contenido de humedad..... | 12 |
| 2.4.3.1 Contenido de humedad en base húmeda..... | 12 |
| 2.4.3.2 Contenido de humedad en base seca..... | 13 |
| 2.4.4 Determinación del grado de humedad en cubetas de cartón | 13 |
| 2.4.4.1 Terminología..... | 13 |
| 2.4.4.2 Aparatos para secado | 14 |
| 2.4.4.3 Muestreo | 14 |
| 2.4.4.4 Procedimiento para determinación de la humedad..... | 14 |
| 2.4.5 Secadores..... | 16 |
| 2.4.5.1 Tipos de secadores | 16 |
| 2.4.5.2 Métodos de calentamiento | 19 |
| 2.4.6 Transferencia de calor | 20 |
| 2.4.6.1 Conducción | 20 |
| 2.4.6.2 Convección | 21 |
| 2.4.6.3 Radiación | 22 |

| | |
|--|----|
| 2.4.6.4 Calor..... | 24 |
| 2.4.7 Proceso de secado con lámparas infrarrojas | 24 |
| 2.4.7.1 Velocidad de secado | 24 |
| 2.4.7.2 Tiempo de secado | 25 |
| 2.4.7.3 Circulación del aire..... | 25 |
| 2.4.7.4 Lámparas infrarrojas (Radiación Infrarroja)..... | 26 |
| 2.4.7.5 Aire Atmosférico | 29 |
| 2.4.7.7 Flujo másico..... | 31 |
| 2.4.7.8 Caudal | 31 |
| 2.4.7.9 Número de Reynolds | 31 |
| 2.5 HIPÓTESIS..... | 32 |
| 2.6 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES..... | 32 |
| 2.6.1 Variable Independiente..... | 32 |
| 2.6.2 Variable Dependiente | 32 |
| 2.6.3 Términos de Relación..... | 32 |

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

| | |
|---|----|
| 3.1 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN..... | 33 |
| 3.1.1 Investigación Experimental | 33 |
| 3.1.2 Investigación Bibliográfica | 33 |
| 3.2 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN..... | 33 |
| 3.2.1 Investigación Descriptiva | 33 |
| 3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA..... | 33 |
| 3.3.1 Población | 33 |
| 3.3.2 Muestra..... | 34 |

| | |
|---|----|
| 3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES | 35 |
| 3.4.1 Variable Independiente..... | 35 |
| 3.4.2 Variable Dependiente | 36 |
| 3.5 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN | 37 |
| 3.5.1 Instrumentos de medición | 37 |
| 3.5.1.1 Sensor de temperatura..... | 37 |
| 3.5.1.2 Cronómetro | 38 |
| 3.5.1.3 Balanza Digital | 38 |
| 3.5.1.4 Anemómetro | 39 |
| 3.5.1.5 Prototipo para pruebas | 39 |
| 3.6 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN | 40 |

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

| | |
|---|----|
| 4.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS..... | 41 |
| 4.1.1 Análisis del tiempo de secado de una cubeta de cartón por radiación y convección natural con 150W | 41 |
| 4.1.2 Análisis del tiempo de secado de una cubeta de cartón por radiación y convección natural con 250W. | 42 |
| 4.1.3 Análisis del tiempo de calentamiento del prototipo de secador por radiación y convección natural con 950W. | 43 |
| 4.1.4 Análisis del tiempo de calentamiento del prototipo de secador por radiación y convección forzada con 950W. | 44 |
| 4.1.5 Análisis del tiempo de secado de una cubeta de cartón por radiación y convección natural con 950W. | 45 |
| 4.1.6 Análisis del tiempo de secado de una cubeta de cartón por radiación y convección forzada con 950W. | 46 |

| | |
|---|----|
| 4.1.7 Análisis del tiempo de secado de dos cubetas de cartón por radiación y convección forzada con 950W. | 47 |
| 4.1.8 Análisis del tiempo de secado de tres cubetas de cartón por radiación y convección forzada con 950W. | 48 |
| 4.1.9 Análisis del tiempo de secado de cuatro cubetas de cartón por radiación y convección forzada con 950W. | 49 |
| 4.2 INTERPRETACIÓN DE DATOS | 50 |
| 4.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS | 60 |

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

| | |
|---------------------------|----|
| 5.1 CONCLUSIONES | 62 |
| 5.2 RECOMENDACIONES | 63 |

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

| | |
|--|----|
| 6.1 DATOS INFORMATIVOS | 65 |
| 6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA | 66 |
| 6.2.1 Parámetros de Diseño | 66 |
| 6.3 JUSTIFICACIÓN | 66 |
| 6.4 OBJETIVOS | 67 |
| 6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD | 67 |
| 6.5.1 Análisis técnico | 67 |
| 6.5.2 Análisis de costos | 67 |
| 6.5.2.1 Costos Directos | 67 |
| 6.5.2.2 Costos Indirectos..... | 70 |
| 6.5.2.3 Costo total | 71 |

| | |
|---|-----|
| 6.6 FUNDAMENTACIÓN | 72 |
| 6.6.1 Cálculos mecánicos | 72 |
| 6.6.1.1 Espesor de pared | 73 |
| 6.6.2 Cálculos térmicos | 75 |
| 6.6.2.1 Cálculos de los coeficientes de convección forzada y radiación al interior del secador..... | 75 |
| 6.6.2.2 Cálculo del coeficiente de convección libre o natural al exterior del secador | 77 |
| 6.6.2.3 Cálculo de calor requerido para secar las cubetas de cartón..... | 81 |
| 6.6.2.4 Cálculo de pérdidas de transferencia de calor a través de paredes y chimenea. | 88 |
| 6.6.2.5 Potencia calorífica del secador | 94 |
| 6.6.2.6 Dimensionamiento de la chimenea | 95 |
| 6.6.2.7 Eficiencia del secador | 96 |
| 6.6.3 Selección del ventilador | 96 |
| 6.7 METODOLOGÍA | 99 |
| 6.7.1 Construcción de la cámara de secado | 99 |
| 6.7.2 Construcción de las puertas de secador | 100 |
| 6.7.3 Construcción de la bandeja..... | 101 |
| 6.7.4 Instalación de materiales eléctricos en secador | 102 |
| 6.7.4.1 Lámparas infrarrojas y ventilador..... | 102 |
| 6.7.4.2 Controlador y sensor de temperatura | 103 |
| 6.7.4.3 Botoneras para accionamiento del secador | 104 |
| 6.8 ADMINISTRACIÓN | 104 |
| 6.8.1 Planeación | 105 |
| 6.8.2 Organización | 105 |
| 6.8.3 Dirección | 106 |

| | |
|--------------------------------------|-----|
| 6.8.4 Control..... | 106 |
| 6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN | 106 |
| 6.9.1 Mejoras para la propuesta..... | 106 |

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 2.1: Cambio de peso durante un proceso de secado..... | 11 |
| Figura 2.2: Secador rotativo..... | 16 |
| Figura 2.3: Secador de rodillo..... | 17 |
| Figura 2.4: Secador de bandeja..... | 18 |
| Figura 2.5: Secador de túnel..... | 18 |
| Figura 2.6: Secador de cinta transportadora..... | 19 |
| Figura 2.7: Métodos de transferencia de calor..... | 20 |
| Figura 2.8: Espectro de las ondas electromagnéticas..... | 27 |
| Figura 2.9: Lámpara infrarroja de 150 W..... | 28 |
| Figura 2.10: Lámpara infrarroja de 250 W..... | 28 |
| Figura 3.1: Controlador y sensor de temperatura..... | 37 |
| Figura 3.2: Cronómetro digital..... | 38 |
| Figura 3.3: Balanza digital..... | 38 |
| Figura 3.4: Anemómetro portátil..... | 39 |
| Figura 4.1: Peso removido por cubeta de cartón vs. Tiempo con diferentes potencias caloríficas..... | 51 |
| Figura 4.2: Temperatura de calentamiento de prototipo sin carga vs. tiempo aplicando radiación y convección natural..... | 52 |
| Figura 4.3: Temperatura de calentamiento de prototipo sin carga vs. tiempo aplicando radiación y convección forzada..... | 52 |
| Figura 4.4: Peso removido por cubeta de cartón vs. Tiempo con diferentes métodos de transferencia de calor..... | 53 |

| | |
|---|-----|
| Figura 4.5: Humedad removida de una cubeta de cartón vs. Tiempo aplicando radiación y convección natural..... | 54 |
| Figura 4.6: Humedad removida de una cubeta de cartón vs. Tiempo aplicando radiación y convección forzada..... | 55 |
| Figura 4.7: Humedad removida de dos cubetas de cartón vs. Tiempo aplicando radiación y convección forzada..... | 56 |
| Figura 4.8: Humedad removida de tres cubetas de cartón vs. Tiempo aplicando radiación y convección forzada..... | 57 |
| Figura 4.9: Humedad removida de cuatro cubetas de cartón vs. Tiempo aplicando radiación y convección forzada..... | 58 |
| Figura 4.10: Comparación de humedad removida en las cubetas de cartón vs. Tiempo aplicando radiación y convección forzada..... | 59 |
| Figura 6.1: Dimensiones de la cámara de secado..... | 73 |
| Figura 6.2: Circuito de resistencias térmicas para evaluar la temperatura superficial..... | 81 |
| Figura 6.3: Vista frontal de pared del secador..... | 89 |
| Figura 6.4: Vista lateral de pared del secador..... | 90 |
| Figura 6.5: Circuito térmico equivalente de una pared compuesta en serie..... | 91 |
| Figura 6.6 Configuración de paredes internas del secador para selección de ventilador..... | 99 |
| Figura 6.7 Dimensiones del ventilador seleccionado..... | 98 |
| Figura 6.8: Secador estático de bandeja por radiación infrarroja..... | 99 |
| Figura 6.9: Base interna de la cámara de secado..... | 100 |
| Figura 6.10: Puerta del secador..... | 101 |
| Figura 6.11: Bandeja del secador..... | 102 |
| Figura 6.12: Configuración en cámara de las lámparas infrarrojas..... | 103 |
| Figura 6.13: Ventilador y difusor de aletas móviles..... | 103 |

| | |
|--|-----|
| Figura 6.14: Controlador y sensor de temperatura..... | 104 |
|--|-----|

| | |
|---|-----|
| Figura 6.15: Botoneras de accionamiento del secador..... | 104 |
|---|-----|

TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 2.1: Cuadro de factibilidad de métodos para determinación de la humedad..... | 15 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| Tabla 2.2: Cuadro de factibilidad de tipos de secadores..... | 19 |
|---|----|

| | |
|--|----|
| Tabla 2.3: Valores típicos del coeficiente de convección..... | 22 |
|--|----|

| | |
|---|----|
| Tabla 4.1: Porcentajes de humedad removida por radiación y convección natural de una cubeta de cartón por unidad de tiempo con 150W..... | 42 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| Tabla 4.2: Porcentajes de humedad removida por radiación y convección natural de una cubeta de cartón por unidad de tiempo con 250W..... | 43 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| Tabla 4.3: Temperatura de calentamiento de prototipo sin carga con 950W por radiación y convección natural respecto al tiempo..... | 44 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| Tabla 4.4: Temperatura de calentamiento de prototipo sin carga con 950W por radiación y convección forzada respecto al tiempo..... | 45 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| Tabla 4.5: Porcentajes de humedad removida por radiación y convección natural de una cubeta de cartón por unidad de tiempo con 950W..... | 46 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| Tabla 4.6: Porcentajes de humedad removida por radiación y convección forzada de una cubeta de cartón por unidad de tiempo con 950W..... | 47 |
|---|----|

| | |
|--|----|
| Tabla 4.7: Porcentajes de humedad removida por radiación y convección forzada de dos cubetas de cartón por unidad de tiempo con 950W..... | 48 |
|--|----|

| | |
|---|----|
| Tabla 4.8: Porcentajes de humedad removida por radiación y convección forzada de tres cubetas de cartón por unidad de tiempo con 950W..... | 49 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| Tabla 4.9: Porcentajes de humedad removida por radiación y convección forzada de cuatro cubetas de cartón por unidad de tiempo con 950W... | 50 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| Tabla 6.1: Costos de materiales mecánicos..... | 68 |
|---|----|

| | |
|--|----|
| Tabla 6.2: Costos de materiales eléctricos..... | 68 |
|--|----|

| | |
|--|----|
| Tabla 6.3: Costos de materiales varios..... | 69 |
|--|----|

| | |
|--|-----|
| Tabla 6.4: Costos directos..... | 69 |
| Tabla 6.5: Costos de maquinaria utilizada..... | 70 |
| Tabla 6.6: Costos de mano de obra..... | 71 |
| Tabla 6.7: Costos indirectos..... | 71 |
| Tabla 6.8: Costo total..... | 71 |
| Tabla 6.9: Costo total final..... | 72 |
| Tabla 6.10: Esfuerzo de diseño para placas de acero..... | 73 |
| Tabla 6.11: Datos de convección forzada..... | 75 |
| Tabla 6.12: Datos de radiación..... | 77 |
| Tabla 6.13: Datos de cubetas de cartón..... | 82 |
| Tabla 6.14: Datos del aire que rodea el secador..... | 83 |
| Tabla 6.15: Datos del aire en cámara de secado..... | 84 |
| Tabla 6.13: Datos de conducción..... | 88 |
| Tabla 6.17: Datos para la ventilación..... | 99 |
| Tabla 6.18: Datos de la cámara de secado..... | 99 |
| Tabla 6.19: Datos de las puertas del secador..... | 100 |
| Tabla 6.20: Datos de la bandeja del secador..... | 101 |
| Tabla 6.21: Datos de las lámparas infrarrojas y ventilador..... | 102 |
| Tabla 6.22: Datos de controlador y sensor de temperatura..... | 103 |

SIMBOLOGÍA

- H: Humedad referida al peso del cartón [%]
- G: Peso inicial de muestra [kg]
- G_S: Peso final de muestra [kg]
- k_c: Constante de conductividad térmica del material [W/m²]
- A: Área [m²]
- T₁: Temperatura fría [°C]
- T₂: Temperatura caliente [°C]
- h_c: Coeficiente de transferencia de calor por convección [W/m² °C]
- Nu: Número de Nusselt [adimensional]
- Re: Número de Reynolds [adimensional]
- Pr: Número de Prandtl [adimensional]
- ε: Emisividad de la superficie expuesta a la radiación [adimensional]
- σ: Constante de Stefan Boltzmann [5.67 x 10⁻⁸ W/m² K⁴]
- h_r: Coeficiente de transferencia de calor por radiación [W/m² °C]
- Q: Calor [Watts]
- m: Cantidad del aire a calentar [kg]
- C_p: Calor específico del fluido [kJ/kg °C]
- HR: Humedad relativa [%]
- ω: Humedad absoluta o específica [kg vapor agua / kg aire seco]
- h: Entalpía [kJ/kg]
- U: Caudal [m³/s]
- v: Velocidad de circulación del aire [m/s]
- V: Volumen cámara de secado [m³]
- ν: Viscosidad cinemática [m²/s]
- Ps =Potencia calorífica del secador [Watts]

“Estudio del proceso de secado con lámparas infrarrojas y su influencia con la determinación del grado de humedad en cubetas de cartón de huevos producidas en la fábrica avícola ubicada en Samanga”

Autor: Juan Carlos Espinoza Freire

Tutor: Ing. Luis Escobar

Fecha: 15 de Septiembre del 2013

RESUMEN

Este trabajo de investigación se centró en los parámetros de temperatura, peso, tiempo de secado, entre otros que forman parte del proceso de secado, los cuales permitieron determinar y retirar la humedad existente (des-humidificación) en la cubetas de cartón para huevos, con una fuente calorífica en este caso con lámparas infrarrojas (radiación).

Las cubetas de cartón se obtuvieron de la fábrica avícola, que es en donde se dedican a la producción de cubetas de cartón para huevos a partir de papel y cartón reciclado, mediante un proceso de mecanizado, donde dichas cubetas de cartón después del proceso de formación tienen alrededor de un 70% de humedad, posteriormente se tomaron independientemente las cubetas de cartón y fueron sometidas a calentamiento por radiación infrarroja en el prototipo construido para el estudio, variando la potencia calorífica con lámparas de 150W, 250W hasta 950W, alcanzando una temperatura de 65 a 70°C, consiguiendo tiempos de secado entre 25 a 40 minutos con la máxima carga. Mediante la toma de pesajes durante el proceso de secado, se identificó la cantidad de humedad retirada en las cubetas de cartón respecto al tiempo de secado, que es como indica la norma del instituto ecuatoriano NTE-1397:1986 Papeles y cartones, determinación de la humedad.

De igual manera se comparó dos métodos de transferencia de calor, los cuales fueron radiación más convección natural y radiación más convección forzada, que participaron en el estudio del proceso de secado.

Finalmente se determinó el método de transferencia de calor con mayor eficiencia para el secado, y se propuso el diseño de un secador industrial para el calentamiento y secado de las cubetas de cartón húmedas producidas en la fábrica avícola.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 TEMA

Estudio del proceso de secado con lámparas infrarrojas y su influencia sobre la determinación del grado de humedad en cubetas de cartón de huevos producidas en la fábrica avícola ubicada en Samanga.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 Contextualización

El secado los papeles y cartones ha venido creciendo en los últimos años, debido a que estos se pueden producir de materia prima reciclada. Están compuestos de pasta de celulosa, es una materia prima con características de transformación que permiten convertirlas en productos de alta calidad, con tecnología de poca complejidad pero en donde la humedad retenida es un parámetro de alta importancia durante el tiempo en el proceso de secado. "La materia prima se encuentra disponible, es un residuo sólido urbano, de fácil obtención y transformación, con la capacidad de generar una amplia variedad de productos, 100% reciclable y con una tecnología de producción limpia." (Según GALAN, 2011. Metodología aplicada al diseño).

Cuando la pasta celulosa sale de la sección de mecanizado, moldeada ya en cubetas de cartón para uso de huevos en la fábrica avícola, su contenido de agua suele ser de un 70%. A partir de aquí no es posible remover el agua contenida en su proceso de formación por medios físicos, sino que la única manera de hacerlo será mediante la aplicación de calor. Esto se realiza en la operación de secado, con la cual se conseguirá reducir la humedad del cartón en su totalidad, pero siempre y cuando se

haya determinado la cantidad adecuada para la remoción de humedad durante el proceso de secado, para posteriormente evitar un producto de mala calidad, dado que es un empaque amortiguador por excelencia, debe mostrar un mejor desempeño en la absorción de impactos que otros materiales usados, garantizando la protección con el uso de huevos.

Entre sus ventajas de las cubetas de cartón, se encuentra el poder producirse con papel reciclado diarios, revistas y cartones, ser ambientalmente amigable, y una materia prima económica, pero teniendo en claro hasta donde retirar su humedad (des-humidificación) para tener una cubeta elástica y duradera.

1.2.2 Análisis Crítico

Este proyecto en donde se estudiará el proceso de secado con lámparas infrarrojas, se enfoca para tener un adecuado control de la humedad en cubetas de cartón para huevos después del proceso de formación en la fábrica avícola a partir de papel y cartón reciclado, evitando tener un producto final después del proceso de secado con malas prestaciones para su uso, que principalmente va de la mano con el tiempo de producción, la calidad del producto y con los ingresos económicos.

Mediante la radiación con lámparas infrarrojas, será la que tomará alto realce para tener un buen secado de las cubetas de cartón, manteniendo la temperatura de calentamiento en rangos tolerables, y de forma que vaya variando el tiempo de igual forma sucederá con la humedad que empezará a disminuir en el cartón, evitando tener un producto de baja calidad, por exceso de secado o por falta de calentamiento; consiguiendo con esto evitar deformaciones del cartón o poca producción, respectivamente.

Este estudio va enfocado también con el tiempo de secado respecto a la humedad retenida en las cubetas de cartón aplicando diferentes métodos de transferencia de calor, porque de manera que el secado va siendo uniforme con los dos parámetros que son calentamiento y des-humidificación; y teniendo claramente entendidas las propiedades del cartón húmedo a la temperatura de ingreso al secador, va a permitir tener una idea de la capacidad que tienen las lámparas infrarrojas como fuente calorífica.

1.2.3 Prognosis

En caso de no controlar la humedad en cubetas de cartón, existirían problemas en la producción, es decir pueden salir de algún tipo de secador y no encontrarse en el estado adecuado, por retirar en su totalidad la humedad, así produciéndose retorcijones en la cubeta de cartón de huevos; o de igual forma pueden estar sin retirar de una manera adecuada la humedad, teniendo cubetas de cartón que no puede aún solidificarse y no soportar la carga de los huevos. Esto conllevaría a pérdidas económicas por parte del propietario de la fábrica, exceso de tiempo en producción, producto de baja calidad, o el peor de los casos el cierre de la fábrica.

Por tanto el proceso de secado es el de mayor importancia en la producción de cubetas de cartón, permitiendo obtener buenas prestaciones para el almacenamiento del producto.

1.2.4 Formulación de Problema

¿En qué forma el secado con lámparas infrarrojas influye en la remoción de la humedad en cubetas de cartón para huevos?

1.2.5 Interrogantes

¿Qué tipos de secadores son los adecuados para la implementación de lámparas infrarrojas para obtener una apropiada des-humidificación en cubetas de cartón para huevos?

¿Cuáles son los parámetros térmicos necesarios para obtener un adecuado secado de las cubetas de cartón para huevos con lámparas infrarrojas?

¿Cuáles son los métodos para determinar la cantidad de humedad existente en cubetas de cartón para huevos durante el proceso de secado?

¿Qué pruebas se realizarán de secado en las cubetas de cartón para huevos variando la potencia calorífica con lámparas infrarrojas de 150W, 250 W hasta 950W?

¿Qué alternativa dará solución al problema de humedad no controlada en las cubetas de cartón?

1.2.5 Delimitación del objeto de la investigación

Delimitación Temporal.- El período en que se desarrollará esta investigación será desde Febrero del 2013 a Agosto del 2013

Delimitación Espacial.- La investigación se realizó en la fábrica avícola ubicada en Samanga y se complementó con pruebas de laboratorio en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Delimitación de Contenido.-

Problema: Remoción del grado de humedad en cubetas de cartón para huevos.

Tema: Estudio del proceso de secado con lámparas infrarrojas y su influencia sobre la determinación del grado de humedad en cubetas de cartón de huevos producidas en la fábrica avícola ubicada en Samanga.

Aspecto: Termodinámica, Transferencia de calor, Máquinas térmicas.

Área: Energía.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Actualmente existen diferentes tipos de procesos de secado para diferentes productos elaborados a base de papel reciclado, pero los parámetros que tomarán alta importancia en este proyecto son temperatura y tiempo ya que servirán para atacar directamente a la disminución de la humedad retenida en las cubetas de cartón, para lo cual se tomará mucha atención en el calentamiento de las cubetas de cartón para huevos por la radiación con las lámparas infrarrojas para su respectivo secado, ya que se utilizarán como fuente de calor para este estudio.

La humedad es un parámetro no favorable en caso de desear tener seco algún tipo de producto, por mayor peso y poco embalaje, tal es el motivo que en el presente estudio se hará énfasis en el proceso de secado de cubetas de cartón para huevos, debido a que la demanda de dichos cartones ha venido creciendo en los últimos años, incluso nuestra provincia es un buen proveedor de huevos a nivel nacional e

internacional, por lo que es favorable y beneficioso realizar este estudio del proceso de secado.

El estudio se reflejará en la aplicación de calor con lámparas infrarrojas, pretendiendo brindar otra alternativa de secado con esta fuente energía calorífica, con la finalidad de evitar la contaminación ambiental siendo este uno de los propósitos esenciales para la des-humidificación del cartón. Mediante los ensayos de la disminución de la humedad en las cubetas de cartón con calentamiento, permitirá enfocarse en métodos de transferencia de calor adecuados, en conjunto con la radiación infrarroja, que permitan tener un buen secado y a menor tiempo.

Finalmente otras de las intenciones en este estudio es construir un prototipo de secador con lámparas infrarrojas, en el que se podrá utilizar en ensayos o pruebas experimentales en el laboratorio de Ingeniería Mecánica y del mismo modo para el estudio a realizarse, dado que el secador se podrá manipular en diferentes aplicaciones de secado con la radiación infrarroja, de este modo poder adquirir conocimientos tanto teóricos como prácticos para un mejor entendimiento de transferencia de calor.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Estudiar el proceso de secado con lámparas infrarrojas y su influencia sobre la determinación del grado de humedad en cubetas de cartón para huevos.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Investigar los tipos de secadores adecuados para la implementación de lámparas infrarrojas para obtener una apropiada des-humidificación en cubetas de cartón para huevos.
- Analizar los parámetros térmicos necesarios para obtener un adecuado secado de las cubetas de cartón para huevos con lámparas infrarrojas.
- Determinar métodos para comprobar la cantidad de humedad existente en cubetas de cartón para huevos durante el proceso de secado.

- Realizar pruebas de secado en las cubetas de cartón para huevos variando la potencia calorífica con lámparas infrarrojas de 150W, 250 W y en conjunto.
- Dar una alternativa de solución al problema de humedad no controlada en las cubetas de cartón.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Existen diversos procesos de secado, cada uno de ellos tiene características que pueden ser más indicados para uno u otro tipo de producto y condiciones locales.

Es por este que se ha visto necesario ampliar la investigación basándose en artículos y tesis de otras universidades, encontrándose la siguiente información:

Fuente de información: Presentación técnica.

Autor: Ragab Khir, Zhongli Pan y Adel Salim.

Año de Publicación: 2006

Lugar: (ASABE) Sociedad Americana de Ingenieros Agrícolas y Biológicos

Tema: Secado de capa delgada de arroz con cáscara usando la radiación infrarroja.

Resumen

En el presente documento presenta el secado de arroz con la radiación infrarroja que se ha investigado en los últimos años y mostró prometedor potencial de mejora de la calidad y la eficiencia energética. Sin embargo, debido a la limitada capacidad de penetración de la radiación de infrarrojos, únicamente el secado fue de una capa fina y se puede utilizar en el diseño de secador de infrarrojos. El objetivo de este trabajo fue estudiar las características de eliminación de la humedad de la capa delgada arroz con cáscara que se calienta por la radiación infrarroja y se enfría con varios métodos, incluyendo la refrigeración natural, la refrigeración por aire forzado y enfriamiento al vacío. Las muestras de arroz en bruto se vuelven a humedecer con cuatro contenidos diferentes de humedad, 16,7 – 20,5 – 23,6 y 25.7 %, se secaron con cuatro intensidades de diferentes radiaciones, 3616, 4023, 4685 y 5348 W/m², de cuatro tiempos de exposición, 30, 60, 90, y 120 s. Las temperaturas

de grano obtenidos oscilaron entre 35,1°C a 68,4°C bajo las condiciones de calentamiento probados. El vacío y métodos de enfriamiento de aire forzado tenían más eliminación de la humedad de la refrigeración natural. La eliminación total de humedad alcanzó a 3,2 - 3,5 y 3,8 puntos porcentuales para el arroz se calienta a la temperatura de 63,5°C logrado con la intensidad de infrarrojos de 5348 W/m² y tiempo de calentamiento de 120 s y seguido por la refrigeración natural durante 40 min, enfriamiento de aire forzado durante 5 min y enfriamiento al vacío durante 10 min, respectivamente.

Conclusión

Se concluyó que la radiación infrarroja con una capa delgada de arroz para secado en bruto seguido por enfriamiento podría ser un enfoque eficaz para el diseño de secador de infrarrojos de arroz para mejorar las velocidades de secado y la reducción de consumo de energía.

Fuente de información: Tesis

Autor: Adriana Luzely Mejía Terán.

Año de Publicación: 2011

Lugar: Universidad de la Sabana. Facultad de Ingeniería.

Tema: Efecto de la deshidratación por radiación infrarroja sobre algunas características fisicoquímicas de interés comercial del aloe vera.

Resumen

En el presente estudio se evaluó el efecto de la deshidratación por radiación infrarroja sobre las características fisicoquímicas que definen la calidad comercial del polvo de aloe vera. El diseño experimental se realizó con un factor definido de temperatura del medio calefactor a 80°C, dos niveles de espesor del lecho de secado de 1 y 3 mm; y tres variables de respuesta: humedad, solubilidad, y temperatura del producto. El polvo de aloe vera deshidratado por radiación infrarroja presento una humedad entre 4,3 y 4,5 (g de agua/100 g de producto); un índice de solubilidad en agua a 20°C entre 81,51 y 81,88%. Cuando la temperatura de la solución hidratante del agua fue 40°C el índice de solubilidad aumentó entre 1,8 y 5,17%.

Con los parámetros de operación definidos, se obtuvo una tasa de evaporación de 6,067 kg/h y 13,512 kg/h para los espesores de lecho de 1 y 3 mm, respectivamente.

Los resultados obtenidos en las características fisicoquímicas evidencian la alta aplicabilidad de la tecnología de secado por radiación infrarroja para la obtención de aloe vera en polvo de calidad comercial, puesto que los productos en polvo pueden sufrir alteraciones en función del proceso al que son sometidos, sus características físicas y químicas pueden ser vistas como una respuesta al cambio en el sistema del producto.

Conclusiones:

- En los dos espesores de lecho estudiados, se obtuvo un polvo que al ser reconstituido fluye libremente, que presenta un alto índice de solubilidad en agua mayor al 80%, similar al gel fresco, que lo convierten en un producto aceptable para el consumidor.
- Al tener un espesor de lecho de secado de 3 mm es el recomendado porque aumenta la capacidad de producción 1,95 veces con respecto al lecho de secado de 1mm.
- El uso del método de secado por radiación infrarroja para la deshidratación de aloe vera al obtener un polvo y un gel reconstituido que tiende a formar la estructura del gel fresco, con características fisicoquímicas que se encuentran dentro del rango de las especificaciones de fichas técnicas comerciales de productos.

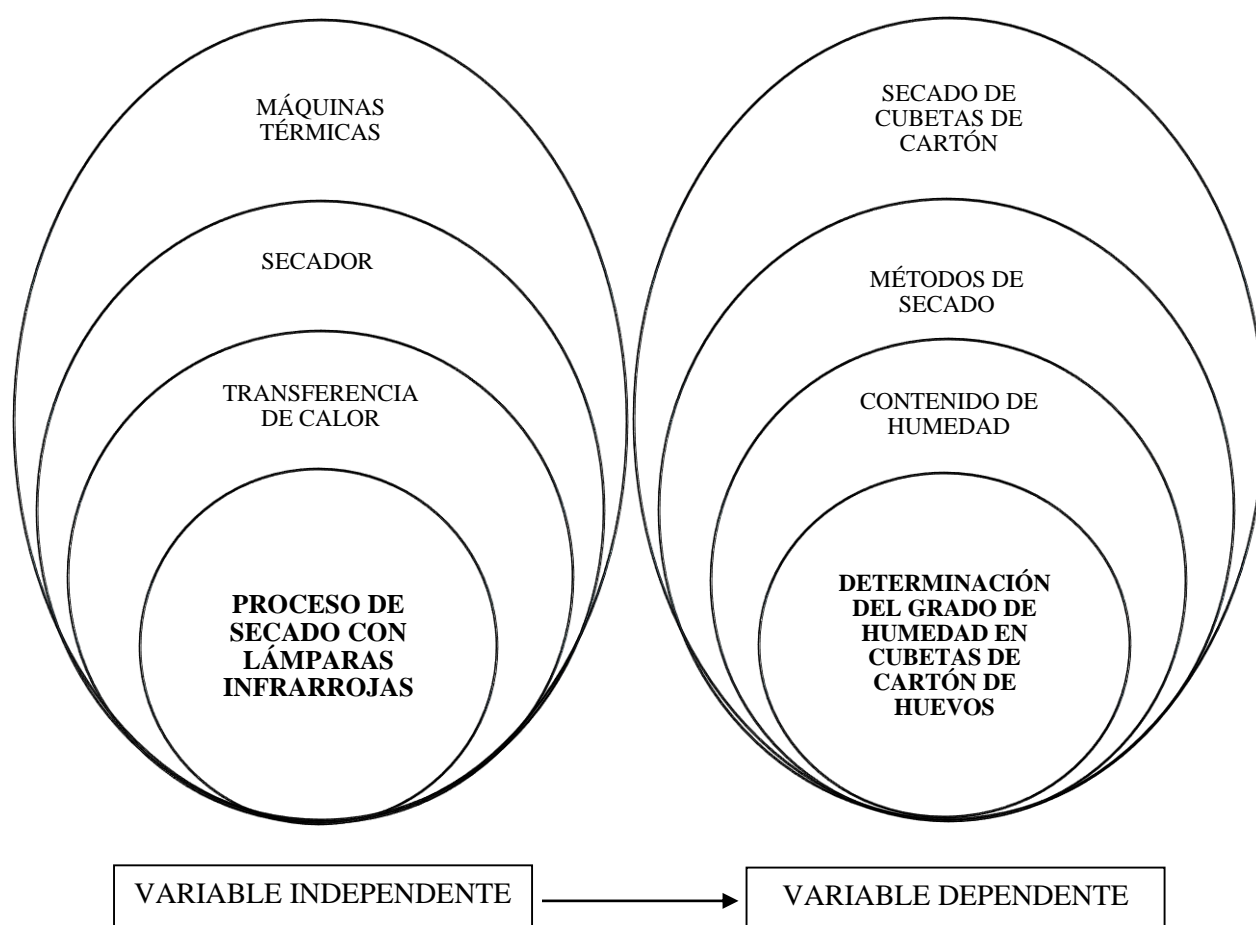
2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA

Este proyecto se fundamenta dentro de la forma de encontrar la cantidad porcentual de la humedad retenida en las cubetas de cartón para huevos, utilizando métodos o estrategias que faciliten la medición de la misma, de manera que transcurra el tiempo ir disminuyendo la humedad, garantizando al final tener un producto elástico, confiable y seguro. De igual forma el presente estudio servirá para brindar una alternativa de secado a pequeños y grandes productores de cubetas de cartón para huevos dentro del entorno.

2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL

El presente proyecto de investigación se basará en la norma del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), la norma técnica ecuatoriana (NTE) 1397:1986 Papeles y cartones. Determinación de la Humedad.

2.4 CATEGORIAS FUNDAMENTALES



2.4.1 Secado de cubetas de cartón

Cuando el cartón o papel sale de la sección de prensado, su contenido de agua suele ser de un 60 a 70%. A partir de aquí no es posible eliminar más agua por medios físicos, sino que la única manera de hacerlo será mediante la aplicación de calor. Esto se realiza con la operación de secado, con la cual se conseguirá reducir la humedad del cartón hasta un 65% de peso de agua, el contenido que debe tener al

final del proceso de fabricación es decir el cartón seco, debe tener aproximadamente 5% de humedad, que es deseada en su composición final para mantener su elasticidad.

"La operación de secado es la más costosa dentro de la fabricación de cartón. Por eso, es necesario tener una serie de cuidados durante el desarrollo de la misma para reducir sus costos."(Según TORRASPAPPEL, 2008. Fabricación del papel).

El secado del cartón consiste en aplicar una gran cantidad de calor, mediante algún método apropiado, con el propósito de elevar su temperatura hasta conseguir la evaporación del agua. En la operación de secado se produce:

- Una transferencia de energía (aplicamos calor al cartón)
- Una transferencia de masa (agua en forma de vapor que debemos eliminar rápidamente hacia la atmósfera)

Por otra parte, la efectividad en la evaporación del agua depende de:

- La temperatura
- La calidad del aire ambiental.
- La circulación del aire en el secador.

2.4.1.1 El proceso de secado

En los procesos de secado, los datos suelen expresarse como la variación que experimenta el peso del producto que se está secando con el tiempo, y se puede observar en la figura 2.1. Aunque a veces, los datos de secado pueden expresarse en términos de velocidad de secado.

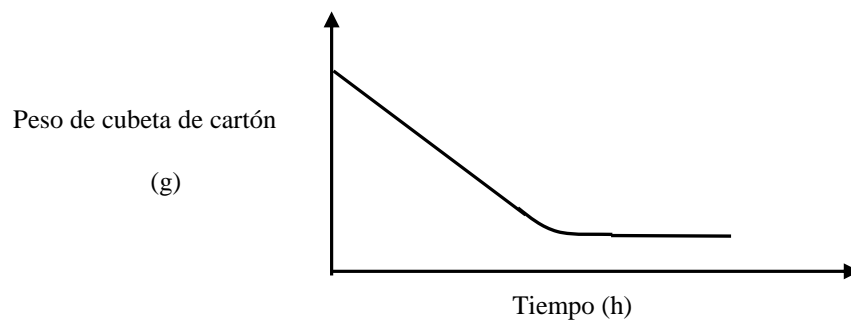


Figura 2.1: Cambio de peso durante un proceso de secado.
Fuente: (CATARINA. Proceso de secado)

2.4.2 Métodos de secado

Existen diferentes métodos para llevar a cabo la desecación de sólidos, entre los más importantes son:

- Prensado: Consiste en separar un líquido de un compuesto sólido, por compresión del sistema en condiciones que permitan que el líquido escape mientras que el sólido quede retenido entre las superficies que lo comprimen.
- Centrifugación: Consiste en aplicar una fuerza centrífuga lo suficiente elevada, de forma que el líquido se desplaza en dirección de la fuerza produciéndose la separación.
- Evaporación Superficial: Cuando el producto húmedo se somete a la acción de una corriente de aire caliente, líquido se evapora aumentando la humedad del aire exterior.

2.4.3 Contenido de humedad

El contenido de humedad de un producto puede expresarse sobre la base del peso húmedo, es decir la masa de agua por unidad de masa de producto húmedo. Otra manera de expresar el contenido de humedad es en base al peso seco, es decir la masa de agua por unidad de masa de componentes sólidos sin secar. La humedad de los sólidos se puede determinar por distintos procedimientos, los métodos directos se basan en eliminar el agua que contiene el sólido y determinar la cantidad por peso, y los métodos indirectos se basan en la medida de alguna propiedad del material que resulte afectada por el contenido de humedad. “El contenido en humedad de las cubetas de cartón se define como la relación entre la cantidad de agua en la cubeta y la cantidad de agua a retirarse” (Según GREENPEACE, 2006. Secado y acondicionamiento del aire).

2.4.3.1 Contenido de humedad en base húmeda (Hbh).- Representa la humedad en un material como un porcentaje del peso del sólido húmedo. Se expresa como Kg de agua entre Kg de material húmedo.

2.4.3.2 Contenido de humedad en base seca (Hbs).- Se expresa como Kg de agua entre Kg de sólido seco.

2.4.4 Determinación del grado de humedad en cubetas de cartón

Para determinar la cantidad de humedad existente en las cubetas de cartón se hará énfasis en los métodos y técnicas descritos (Según la norma NTE, 1986. Papeles y cartones. Determinación de la Humedad), desarrollada por el Instituto ecuatoriano de normalización.

En dicha norma existen dos métodos que dependen del propósito del ensayo, en este caso el proyecto estará enfocado en el Método A, que indica como calcular “la cantidad de humedad en papel o envases de cartón destinados a los análisis de otras propiedades físicas”.

Este método es el adecuado porque en este proyecto se estudiará propiedades físicas como temperatura, tiempo y velocidad del aire para secado de las cubetas de cartón de huevos, mediante la radiación infrarroja.

2.4.4.1 Terminología

Contenido de Humedad

Se entiende por contenido de humedad del papel o cartón a la cantidad de agua contenido en el mismo. Su magnitud se expresa en porcentaje de humedad [%].

Porcentaje de Humedad

“Es el obtenido por la pérdida de agua de una pieza de ensayo, cuando a esta se le ha secado hasta obtener una masa constante bajo condiciones de ensayo normalizadas”.

Este se expresa en porcentajes de la masa inicial del papel.

Masa Constante

“Masa alcanzada por una pieza de ensayo de papel, después de secada a una temperatura específica, hasta que la diferencia entre dos pesadas sucesivas no excedan al 0.1 % de la masa final de la pieza de ensayo”.

Humedad referida a peso húmedo

Es la relación entre la masa del líquido existente en el producto húmedo y la unidad de masa del producto húmedo.

Humedad referida a peso seco

Es la relación entre la masa de líquido existente en el producto húmedo y la unidad de masa del producto seco.

Para la pieza de ensayo al momento de muestreo, volver a pesarla después de secada a masa constante.

2.4.4.2 Aparatos para secado

- Recipiente secador: Para especímenes grandes como es el caso de las cubetas de cartón de huevos se utiliza un recipiente de metal hermético de “preferencia provisto de un cesto de alambre removible y de un tamaño como acomodar los especímenes de forma holgada”.
- Estufa secadora: “De temperatura constante, provista de aparatos de control para asegurar la temperatura y el libre acceso de aire”.
- Balanza sensible: Para pesar especímenes grandes, dicha balanza debe tener una sensibilidad del 0.05% del peso original del espécimen.

2.4.4.3 Muestreo

Para determinar la humedad de un lote de papel, cartón o envases de cartón, en que hay que realizar ensayos de otras propiedades físicas, cortar los especímenes de una sección no sellada ni impresa.

2.4.4.4 Procedimiento para determinación de la humedad

Pesar el espécimen en algún recipiente cerrado, con aproximación a 0.02g. “Si el recipiente no tiene un cesto removible, hay que sacar los especímenes del recipiente y esparcirlos sobre una bandeja, de preferencia de malla de alambre, para que circule libremente el aire alrededor de ellos”.

- Colocar la bandeja, en el secador y calentar cerca de 2 horas a una temperatura de $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$.

- Colocar los especímenes en el recipiente y cerrarlo en el secador si es posible. El recipiente cerrado llevar a la temperatura ambiente y pesar lo más próximo a 0.02g.
- La manipulación de la muestra y el recipiente debe realizarse con guantes ó utensilios de goma ó polietileno, debidamente limpios y secos. La transferencia de la muestra hacia o desde el recipiente debe hacerse lo más rápido posible

Cálculo de la humedad referida a peso húmedo

$$H_{Bh} = \frac{G - G_s}{G} \times 100\% \quad (\text{Ec. 2.1})$$

Cálculo de la humedad referida a peso seco

$$H_{Bs} = \frac{G - G_s}{G_s} \times 100\% \quad (\text{Ec. 2.2})$$

Donde:

H = humedad referida al peso del cartón se expresa en porciento [%].

G = peso inicial de la muestra [kg]

G_s = peso final de la muestra en [kg]

Tabla 2.1: Cuadro de factibilidad de métodos para la determinación de la humedad.

| CUADRO COMPARATIVO DE MÉTODOS PARA DETERMINAR LA CANTIDAD DE HUMEDAD | |
|---|--|
| MÉTODOS | FACTIBILIDAD |
| Compuesto adherente químico | Baja debido a disolvente tóxico |
| Gravimétrico | Alta debido a que existe normativa la cual está regido en Ecuador (INEN- NTE 1397:1986) |

(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza)

2.4.5 Secadores

La naturaleza, tamaño y forma de los sólidos a ser secados, la escala de operación, el método de transporte y el tipo de contacto con el gas, el modo de calentamiento, etc., son algunos de los muchos factores que conducen al desarrollo de una considerable variedad de equipos. (Según AMUNDARAIN, José. 2010).

2.4.5.1 Tipos de secadores

- **Secadores rotativos**

En este tipo de secador el producto húmedo se hace girar en una cámara cilíndrica por la que se hace pasar aire caliente mientras el producto se mantiene en agitación. En algunos casos se calienta también la pared de la cámara o se instalan tubos calentados en el interior del cilindro. La cámara cilíndrica se instala sobre rodillos quedando ligeramente inclinada.

La superficie interior de la cámara está provista de aletas batidoras que agitan el producto al girar la cámara, haciendo que el producto caiga a través de la corriente de aire caliente que pasa por el cilindro.

El aire puede fluir paralelamente o a contracorriente respecto a la dirección del movimiento de los sólidos.

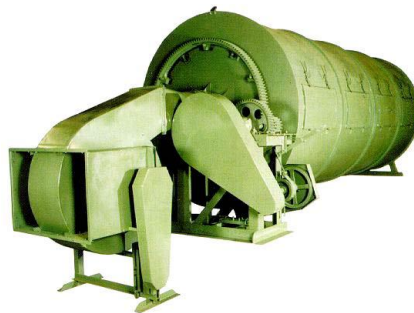


Figura 2.2: Secador Rotativo

(Fuente: DONGGUAN, Ruida. Maquinaria y equipamiento)

- **Secadores de rodillo**

Pertenecen también al tipo de secaderos de calefacción indirecta. Los más sencillos son los empleados en el secado de artículos que se presentan en forma de hoja continua, como papel, tejidos, etc. Constan de un rodillo hueco, de superficie

perfectamente lisa, calentado interiormente por vapor o resistencias, que gira arrastrado por la hoja continua del material.



Figura 2.3: Secador de Rodillo

(Fuente: ROSLER. Secadores Industriales)

- **Secadores bandejas o compartimientos**

Esencialmente consiste en una cabina aislada provista interiormente de un ventilador para circular el aire a través de un calentador; el aire caliente sale por una rejilla de láminas ajustables y es dirigido, ya sea horizontalmente entre bandejas cargadas del producto o verticalmente a través de las bandejas perforadas y el producto. Los calentadores de aire pueden ser quemadores directos de gas, serpentines calentados por vapor o, en los modelos más pequeños, calentadores de resistencia eléctrica.

En el caso, cuando se calienta el aire con vapor, debe tomarse en cuenta varios aspectos, si nos situamos en la carta psicrométrica, el aire a utilizar, debe poseer una temperatura de bulbo húmedo alta, una entalpía alta, pero una humedad relativa baja. Puesto, que la operación de secado, como cualquier operación de transferencia, depende del tiempo y el área de contacto interfacial, el gradiente de temperatura de humedad y la resistencia. En general, en este tipo de secadores, las variables que pueden fijarse o variarse son los gradientes, de allí la importancia que el aire no entre frío ni húmedo, puesto que esto minimiza el gradiente y elimina la eficiencia del secador.



Figura 2.4: Secador de Bandeja.

(Fuente: ROSLER. Secadores Industriales)

- **Secador de túnel**

Este tipo de equipo permite desecar frutas y verduras de forma semi-continua con una gran capacidad de producción. Consiste en un túnel que puede tener hasta unos 24 m. de longitud con una sección transversal rectangular o cuadrada de unos 2 por 2 m. El producto húmedo se dispone uniformemente sobre bandejas que se apilan sobre carros, dejando espacio entre ellas para que circule el aire.

El flujo de aire puede ser concurrente, a contracorriente o cruzado.



Figura 2.5: Secador de túnel

(Fuente: DONGGUAN, Ruida. Maquinaria y equipamiento)

- **Secadores de cintas transportadoras**

Son secadores continuos con circulación de aire a través del material o paralelo a este, que se traslada sobre un transportador de cinta perforada. Esta cinta suele ser de malla metálica o de lámina de acero perforada, aunque también se consigue de malla plástica. El producto húmedo se carga de manera mecanizada, en un extremo

de la cinta, en capas de 10 a 15 *cm.* de espesor. La cinta transportadora se desplaza a una velocidad que viene fijada por el tiempo de secado.



Figura. 2.6: Secador de Cinta Transportadora.
(Fuente: ROSLER. Secadores Industriales)

Tabla 2.2: Cuadro de factibilidad de tipos de secadores.

| CUADRO COMPARATIVO DE TIPOS DE SECADORES | |
|---|--|
| SECADORES | FACTIBILIDAD |
| Secador rotativo | Baja debido a inestabilidad de secado de cubetas de cartón. |
| Secador de rodillo | Media debido a la geometría de la cubeta de cartón. |
| Secador de bandeja | Alta debido a su accesibilidad a la aplicación y construcción. |
| Secador de túnel | Baja debido costos de construcción. |
| Secador de cinta transportador | Baja debido a costos de construcción y mantenimiento. |

(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza)

2.4.5.2 Métodos de calentamiento

- **Calefacción directa.-** Se hace pasar gases calientes directamente sobre la superficie del material (el aire se puede calentar por resistencias eléctricas, mediante vapor, gases productos de combustión, etc.) En ellos el calor es transferido al sólido que se seca por convección.
- **Calefacción indirecta.-** El calentamiento es por contacto con superficie de calefacción, empleándose corriente de gas para sacar el vapor de agua formado. El calor es transmitido por conducción a través de la pared, la

que es calefaccionada por vapor o agua caliente, gases de combustión, aceite o electricidad.

- **Calefacción por infrarrojo o calor radiante.**- La transferencia de calor se hace principalmente por radiación desde una fuente de alta temperatura. Se utiliza para el secado de recubrimientos y para el pre-secado de la hoja. Es muy empleado en papeles estucados.

2.4.6 Transferencia de calor

La transferencia de calor hacia la interface puede tener lugar por conducción, convección, radiación; debido a una diferencia de temperatura desde un punto de mayor a menor temperatura. (Según HOLMAN, J. 2008).

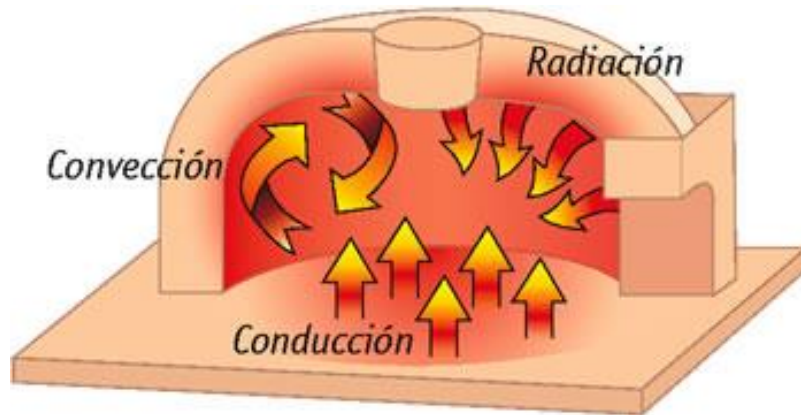


Figura 2.7: Métodos de transferencia de calor

(Fuente: MATAMALA, Valentina. Propagación del calor)

2.4.6.1 Conducción

“La conducción se considera como la transferencia de energía de las partículas más energéticas a las menos energéticas de un medio sólido, dentro de un fluido en reposo o entre dos cuerpos que están en contacto físico.” (HOLMAN, J. 2008).

La rapidez con que el calor se transmite a través de un cuerpo es directamente proporcional a la diferencia de temperatura y al área de la superficie que atraviesa.

$$q_{\text{cond}} = k_c * A * \left(\frac{T_2 - T_1}{L}\right) \quad (\text{Ec. 2.3})$$

Donde:

q_{cond} = Transferencia de calor por conducción [W]

k_c = constante de conductividad térmica del material [W/m²]

A = área de contacto [m²]

$T_2 - T_1$ = diferencia de temperatura en °C entre dos puntos separados por una distancia L

La resistencia térmica de conducción de una placa plana se puede expresar de la siguiente manera:

$$R_{\text{Cond}} = \frac{L}{K_c * A} \quad (\text{Ec. 2.4})$$

2.4.6.2 Convección

La convección es la forma de propagación del calor de un lugar a otro por el movimiento de una sustancia. Es un mecanismo característico de transferencia entre un sólido y un fluido que está en contacto. Si el fluido es obligado a moverse por un ventilador o una bomba el proceso se llama de convección forzada, pero si la sustancia se mueve a causa de diferencias de densidad se habla de convección natural. (Según INCROPERA, Frank. 1999)

Convección forzada: "Tiene lugar cuando una fuerza motriz exterior mueve un fluido con una cierta velocidad sobre una superficie que se encuentra sobre una temperatura mayor o menor que la temperatura ambiente. (HOLMAN, J. 2008.)

En el presente proyecto se tendrá una transferencia de calor por convección forzada, ya que se colocará un ventilador adecuado para el secado de dichas cubetas de cartón húmedas.

La transferencia de calor por convección viene dada por la siguiente ecuación:

$$q_{\text{conv}} = h_c * A_s * (T_s - T_a) \quad (\text{Ec. 2.5})$$

Donde:

h_c = coeficiente de transferencia de calor por convección [W/m² °C]

A_s = área de la superficie [m²]

T_s = temperatura de la superficie [°C]

T_a = temperatura ambiente [°C]

Para poder determinar el h_c se tomará la correlación de convección para flujo turbulento sobre una placa plana que desprende un flujo de calor superficial constante (Según REMIRÉZ, R. 2011) la siguiente ecuación:

$$Nu = 0,0296 Re^{4/5} Pr^{1/3} \quad (\text{Ec. 2.6})$$

Donde:

Nu = Número de Nusselt

Re = Número de Reynolds

Pr = Número de Prandtl

A continuación se presenta en la tabla 2.3 valores con rangos de valores alternativos del coeficiente de calor por convección:

Tabla 2.3: Valores típicos del coeficiente de convección [7]

| Proceso | h_c (W/m ² °C) |
|--------------------|-----------------------------|
| Convección libre | |
| Gases | 2 – 25 |
| Líquidos | 50 – 1000 |
| Convección forzada | |
| Gases | 25 – 250 |
| Líquidos | 50 – 20000 |

(Fuente: INCROPERA, Frank P. Fundamentos de Transferencia de calor. Cuarta edición.)

La resistencia térmica por convección viene dada por la siguiente ecuación:

$$R_{\text{Covecc}} = \frac{1}{h_c * A} \quad (\text{Ec. 2.7})$$

2.4.6.3 Radiación

La transferencia de calor por radiación es el calor basado en la absorción y emisión de ondas electromagnéticas, cuando estas inciden sobre un cuerpo que no es transparente a ellas, son absorbidas y su energía es transformada en calor. La

energía que abandona una superficie en forma de calor radiante, depende de la temperatura a la que se encuentre y de la naturaleza o forma de la superficie.

La transferencia de calor por radiación viene dada por la siguiente ecuación:

$$q_{\text{rad}} = \varepsilon * \sigma * A_s * (T_s^4 - T_{\text{alr}}^4) \quad (\text{Ec. 2.8})$$

Donde:

ε = emisividad de la superficie expuesta a la radiación

σ = Constante de Stefan Boltzmann [$5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$]

A_s = área de la superficie [m^2]

T_s = temperatura de la superficie [$^{\circ}\text{K}$]

T_{alr} = temperatura que rodea la superficie radiante [$^{\circ}\text{K}$]

El coeficiente de transferencia de calor por radiación es modelado en forma similar a la convección (Según INCROPERA, F. 1999), sin embargo h_r depende marcadamente de la temperatura, mientras que la dependencia de la temperatura del coeficiente de convección h_c es por lo general débil.

El coeficiente de transferencia de calor por radiación viene expresado de la siguiente forma:

$$h_r = \varepsilon * \sigma * (T_s + T_{\text{alr}}) (T_s^2 + T_{\text{alr}}^2) \quad (\text{Ec. 2.9})$$

La resistencia térmica por radiación es similar a la de convección y es de la forma expresada en la siguiente ecuación:

$$R_{\text{rad}} = \frac{1}{h_r * A} \quad (\text{Ec. 2.10})$$

2.4.6.4 Calor

El calor es una forma de energía relacionada directamente con la vibración molecular. Cuando calentamos una sustancia, sus moléculas se mueven rápidamente, generando así una energía, el calor. Si la enfriamos, el movimiento molecular se detiene, bajando la temperatura. (Según CENGEL, Yunus. 2006).

El calor existe en todos los cuerpos, en cualquier parte en mayor o menor grado. "La energía no se crea ni se destruye, se transforma"

El calor necesario para un cierto fin viene expresado por la siguiente ecuación:

$$Q_{nec} = m * C_p * (T_2 - T_1) \quad (\text{Ec. 2.11})$$

Donde:

m = cantidad del aire a calentar [kg]

C_p = calor específico del fluido [kJ/kg °C]

T_2 = temperatura del fluido caliente [°C]

T_1 = temperatura del fluido frío [°C]

Calor sensible.- “Es aquel calor en el cual su variación de temperatura se puede medir con cualquier termómetro convencional en un cierto estado físico”

Calor latente.- “Es el calor generado por cambio de fase a una cierta temperatura”

2.4.7 Proceso de secado con lámparas infrarrojas (Parámetros)

2.4.7.1 Velocidad de secado Al secar un sólido húmedo con aire caliente, el aire aporta el calor sensible y el calor latente de la evaporación de la humedad y también actúa como gas portador para eliminar el vapor de agua que se forma en la vecindad de la superficie de evaporación. (Según GREENPEACE, 2006. Secado y acondicionamiento del aire).

Las variables que influyen en la velocidad de secado son:

- *Naturaleza del material:* Resulta evidente que se obtendrán curvas distintas dependiendo de las características del material a secar.

- *Temperatura del aire:* Cuanto mayor sea la temperatura del aire de secado (manteniendo constante el resto de las variables), mayor será la velocidad de secado, y las curvas presentarán mayor pendiente.
- *Velocidad másica del aire:* Con este parámetro se pueden presentar dos tipos de comportamiento. En el primero la velocidad de secado es directamente proporcional a la velocidad del aire. En el segundo caso, la velocidad de secado es prácticamente independiente de la velocidad del aire, lo que indica que en este caso la etapa controlante es la transferencia de materia a través del sólido, que lógicamente no se ve afectada por la velocidad del aire.
- *Humedad absoluta del aire:* Al aumentar la humedad absoluta del aire disminuye lógicamente, la velocidad de secado, al hacerlo la fuerza impulsora en la fase gas.
- *Tamaño de partícula del sólido:* Si las características del sólido permiten obtener partículas uniformes, al variar el tamaño se puede observar que la velocidad de secado aumenta al disminuir el tamaño de la partícula. Si se trata de un sólido que no permite obtener tamaños uniformes, la influencia de la profundidad del lecho es similar a la anteriormente comentada. Al aumentar la altura del lecho disminuye la velocidad de secado.

2.4.7.2 Tiempo de secado Si se desea estimar el tiempo de secado de un sólido en condiciones húmedas, recién procesado a partir del papel de reciclaje, sólo se requiere leer la diferencia de tiempo entre el contenido inicial y final de temperatura. (Según GREENPEACE, 2006. Secado y acondicionamiento del aire).

2.4.7.3 Circulación del aire El aire circula dentro del secador con el fin de entregar calor a los productos, así como eliminar la humedad evaporada del mismo. Esta circulación se logra por diversos métodos, donde los más importantes son:

- *Circulación forzada:* El aire es movido por un ventilador que consume energía mecánica o eléctrica.
- *Circulación por convección natural:* El aire es movido por las diferencias de temperatura entre las distintas partes del equipo, que promueven la

convección térmica del aire. No se necesita energía externa. El uso de chimeneas constituye un caso particular de convección natural.

La circulación forzada facilita el diseño en el caso de los equipos de mayor tamaño. Este tipo de circulación también facilita el control del proceso de secado. La circulación forzada permite mayor libertad en la colocación de los diversos elementos que integran el equipo.

Usando este tipo de circulación se pueden obtener velocidades de circulación de aire entre 0.5 a 10 *m/s* para secado de papel o cartón (Según GREENPEACE, 2006. Secado y acondicionamiento del aire), y no hay problemas de circulación de aire para equipos de tamaño mayor.

La principal desventaja de la circulación forzada es el hecho de que se debe disponer de una fuente de energía eléctrica, en la mayoría de los casos.

2.4.7.4 Lámparas infrarrojas (Radiación Infrarroja)

La energía infrarroja es radiada a través del aire en forma de ondas electromagnéticas, y tal como la luz es direccional y puede ser enfocada, reflejada y absorbida por un cuerpo cercano.

No depende del aire para su transmisión y es convertida en calor principalmente por absorción en la pieza expuesta a la radiación. De hecho el aire absorbe muy poca radiación infrarroja.

La radiación infrarroja, radiación térmica o radiación IR es un tipo de radiación electromagnética de mayor longitud de onda que la luz visible, pero menor que la de las microondas. Consecuentemente, tiene menor frecuencia que la luz visible y mayor que las microondas. Su rango de longitudes de onda va desde unos 0,7 hasta los 100 micrómetros (μm). "La radiación infrarroja es emitida por cualquier cuerpo cuya temperatura sea mayor que 0 Kelvin, es decir, $-273,15$ grados Celsius (cero absoluto)." (Según GIRÓN, A. 2012. Radiación infrarroja y ultravioleta).

La radiación infrarroja puede ser clasificada en tres regiones llamadas, cercana o near (NIR), media o mid (MIR) y lejana o far (FIR), cuyas longitudes de ondas se encuentran representadas a continuación:

Entre: 0,75 a 1,4 μm \rightarrow RI de onda corta

Entre: 1,4 a 3 μm \rightarrow RI de onda media

Entre: 3 a 1000 μm \rightarrow RI de onda larga

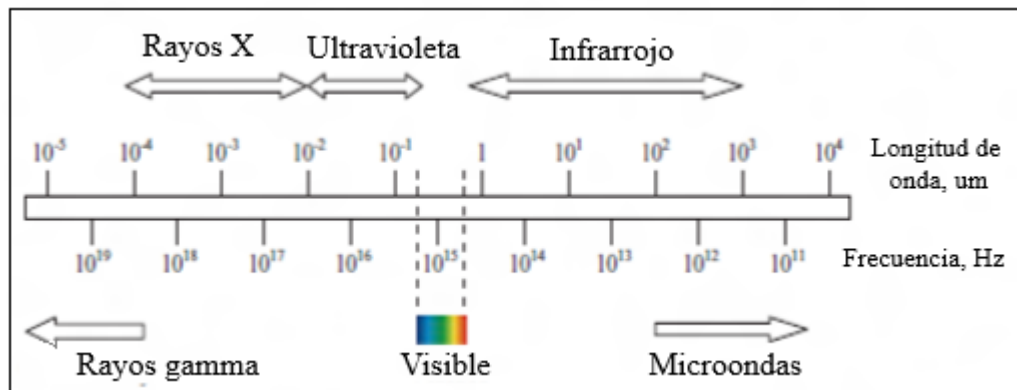


Figura 2.8: Espectro de ondas electromagnéticas.

Fuente: (SENDRA, Portelo. Radiación Infrarroja)

No toda la energía infrarroja es absorbida por un material, un cuerpo o una superficie. Parte de ella será reflejada o transmitida.

La cantidad de energía que es absorbida, reflejada o transmitida, varía con la longitud de onda de la radiación (que depende de la temperatura de radiación), con el material y con la superficie de este último.

La cantidad de energía radiante emitida por una fuente de calor es proporcional a la temperatura de su superficie y a la emisividad del material, tal como describe la Ley de Stefan Boltzmann. Mientras más alta es la temperatura de la fuente, mayor es la radiación que emite y mayor es su eficiencia.

La capacidad de una superficie para emitir y para absorber radiación es definida por su emisividad. Una fuente ideal o cuerpo negro irradia o absorbe el 100% de toda la energía radiante, teniendo por lo tanto un valor de emisividad igual a 1.

En la práctica, todos los cuerpos son grises; tienen un factor de emisividad o absorción menor que 1.

A continuación se muestran diferentes tipos de lámparas:

- Lámpara infrarroja de 150W, de 110V, vidrio templado, led tipo E 27.



Figura 2.9 Lámpara infrarroja de 150W.
(Fuente: PRIMELAMP. Infrared-Bulb/R95)

- Lámpara infrarroja de 250W, de 110V, vidrio templado, led tipo E 27.



Figura 2.10 Lámpara infrarroja de 250W
(Fuente: PRIMELAMP. Infrared-Bulb/R125)

2.4.7.5 Aire Atmosférico

El aire de la atmósfera contiene una cierta cantidad de vapor de agua o humedad conocida como aire atmosférico, es conveniente tratar al aire como una mezcla de aire seco y vapor de agua, porque la composición del aire seco se mantiene constante y el vapor de agua varía por la condensación y evaporación de los océanos, lagos.

2.4.7.5.1 Propiedades del aire atmosférico

Las propiedades del aire atmosférico que se detallan a continuación fueron tomadas (Según CENGEL, Y. 2006).

Presión

“Es el impacto de un gran número de moléculas sobre una superficie, o también es la fuerza o empuje ejercido sobre una cierta área”.

Sus unidades son Pa, psi, atm, mmHg y mm.c.a

La presión atmosférica a nivel del mar es de $1\text{ atm}=760\text{ mmHg}$; la ciudad de Ambato tiene una altura de 2500 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m) y su presión existente es de $0.77\text{ atm}=585\text{ mmHg}$.

Temperatura de bulbo seco [9]

Es la temperatura medida por un termómetro ordinario y es la medida del calor sensible del aire expresado en °C o °F.

Temperatura de bulbo húmedo

La temperatura de bulbo húmedo del aire es la temperatura medida por un termómetro cuyo bulbo se encuentra encerrado en una tela húmeda o mecha.

Temperatura de punto de rocío

Temperatura a la cual el agua de la mezcla de aire el vapor de agua comienza a condensarse, cuando se le enfría a presión constante.

Humedad Relativa (HR)

Se expresa en porcentaje, es la relación de la cantidad de humedad contenida en el aire por la cantidad máxima de humedad que puede contener el aire.

Humedad Absoluta o Específica (ω)

Es la relación de la cantidad de vapor de agua o humedad que contiene el aire seco por la cantidad de aire seco.

$$\omega = 0.622 \frac{P_v}{P_a} \left[\frac{\text{kg vapor de agua}}{\text{kg aire seco}} \right] \quad \text{Ec. (2.12)}$$

Donde:

$$P_v = \text{presión de vapor de agua} = \text{HR} * P_{\text{sat}@T}$$

$$P_a = \text{presión de aire seco} = P_{\text{ATM}} - P_v$$

Entalpía (h)

Es la cantidad de calor contenida en el aire, la entalpía del aire es igual a la suma de la entalpía del aire seco más la entalpía del vapor de agua contenido en la mezcla.

$$h = h_a + h_v = C_p * T + \omega * h_g \quad (\text{Ec. 2.13})$$

Donde:

$$h_a = \text{entalpía del aire seco [kJ/kg]}$$

$$h_v = \text{entalpía del vapor de agua [kJ/kg]}$$

Volumen Específico (v) [9]

Es el volumen ocupado por la unidad de masa del aire seco en condiciones específicas de presión y temperatura.

$$v = \frac{V}{m_{\text{aireseco}}} \quad (\text{Ec. 2.14})$$

Donde:

$$V = \text{volumen del habitáculo [m}^3\text{]}$$

m = masa de aire seco [kg]

2.4.7.7 Flujo másico (\dot{m})

Es la relación entre masa del fluido a la cual está sometido en un cierto tiempo, dando como resultado la cantidad de aire en masa por unidad de tiempo.

$$\dot{m} = \frac{m}{t} \text{ [kg/s]} \quad (\text{Ec. 2.15})$$

2.4.7.8 Caudal (U)

Es la relación de la velocidad del flujo volumétrico por unidad de tiempo.

Para determinar el caudal se tomarán datos de velocidad del aire y de igual manera independiente el área de ingreso del aire caliente.

$$U = v * A \text{ [m}^3\text{/s]} \quad (\text{Ec. 2.16})$$

Donde:

v = velocidad del aire [m/s]

A = área de la sección del ducto [m²]

2.4.7.9 Número de Reynolds

Es la velocidad del flujo viscoso que sale por una cierta área, formándose propiamente el chorro y este se divide en dos tipos: flujo laminar y flujo turbulento. (Según MOTT, R. 2008).

$$Re = \frac{V*x}{\nu} \text{ [Adimensional]} \quad (\text{Ec. 2.17})$$

Donde:

v = velocidad del aire [m/s]

x = distancia de paredes ingreso de aire [m]

ν = viscosidad cinemática [m^2/s]

$\text{Re} < 2000 \rightarrow$ Flujo laminar

$2000 \leq \text{Re} \leq 4000 \rightarrow$ Flujo de transición

$\text{Re} > 4000 \rightarrow$ Flujo turbulento

2.5 HIPÓTESIS

Manteniendo una temperatura mayor o igual a 50°C con lámparas infrarrojas, permitirá reducir la humedad en niveles del 5% en adelante.

Al tener una velocidad de circulación del aire de $0,4\text{m/s}$ hasta un valor de $1,4\text{ m/s}$ aproximadamente, se podrá reducir la humedad en porcentajes menores al 20%.

2.6 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES

2.6.1 Variable Independiente

Parámetros en proceso de secado.

2.6.2 Variable Dependiente

Determinación del grado de humedad en cubetas de cartón de huevos.

2.6.3 Términos de Relación

Influencia

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1 Investigación Experimental

Este proyecto se realizará una investigación experimental, ya que se requiere obtener datos provenientes de las mediciones de la humedad en las cubetas de cartón, con el calor generado por las lámparas infrarrojas, mediante la toma de peso por unidad de tiempo, e indicará que tan eficiente es la fuente de calor.

3.1.2 Investigación Bibliográfica

Para realizar esta investigación es necesario utilizar normas, libros, documentos, páginas web, etc., para poder profundizar de manera eficaz la realización del tema del proyecto.

3.2 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.2.1 Investigación Descriptiva

En la presente investigación se utilizará un nivel descriptivo porque es necesario describir y evaluar los parámetros dentro del proceso de secado con respecto a la humedad existente.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1 Población

En esta investigación la población está compuesta por las mediciones de los parámetros relacionados con la humedad existente en las cubetas de cartón, siendo

estos de un tamaño infinito, dado que pueden variar de acorde a condiciones ambientales, entre otros.

3.3.2 Muestra

El tipo de muestreo que se ajusta al estudio propuesto es de tipo experimental, debido a que se tomará mediciones de la humedad durante el proceso de secado en las cubetas de cartón, se puede decir que la muestra serán todas aquellas cubetas de cartón expuestas a la radiación aplicando tres diferentes potencias de 150W, 250W hasta 950W, y a su vez comparar dos métodos de transferencia de calor, que serán radiación más convección natural y radiación más convección forzada, tanto para calentamiento en vacío y el secado del cartón. De igual manera se realizarán pruebas de secado con el método de transferencia de calor más eficiente, variando la carga desde una cubeta hasta cuatro cubetas húmedas, dando un total de 15 pruebas a realizarse para el secado.

3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.4.1 Variable Independiente: Parámetros en proceso de secado

| CONCEPTUALIZACIÓN | DIMENSIONES | INDICADORES | ITEMS | TÉCNICAS E INSTRUMENTOS |
|---|---|---|---|--|
| En el proceso de secado influyen ciertos parámetros que permiten la separación parcial de un líquido desde un material sólido (cubetas de cartón para huevos) por la aplicación de calor y su ejecución por medio de la transferencia de líquido desde la superficie del sólido hacia una fase de vapor | Separación parcial de líquido en material sólido Aplicación de Calor | -Temperatura -Velocidad de circulación de aire -Tiempo de secado -Por lámparas infrarrojas | ¿Qué temperatura es la adecuada para secar las cubetas de cartón de huevos? ¿Qué velocidad de circulación del aire se requiere para un adecuado secado? ¿Qué tiempo tomará para des-humidificar las cubetas de cartón? ¿Qué eficiencia existe en secar las cubetas de cartón por lámparas infrarrojas? | Observación -Fichas de registro -Sensor de temperatura -Anemómetro -Investigación de campo -Documentación Bibliográfica -Fichas de registro |

3.4.2 Variable Dependiente: Determinación del grado de humedad en las cubetas de cartón.

| CONCEPTUALIZACIÓN | DIMENSIONES | INDICADORES | ITEMS | TÉCNICAS E INSTRUMENTOS |
|--|--|---|---|---|
| <p>La determinación del grado de humedad del papel o cartón depende del valor porcentual (peso/peso) de agua evaporable contenida en el mismo, es decir se basan en eliminar el agua que contiene algún sólido y determinar la cantidad por peso.</p> <p>Su magnitud se expresa en por ciento [%].</p> | <p>Eliminar agua de sólido</p> <p>Determinar cantidad por peso</p> | <p>-Transferencia de calor</p> <p>-Calentamiento más des-humidificación</p> <p>-Contenido de humedad en base húmeda.</p> <p>-Contenido de humedad en base seca.</p> | <p>¿Qué materiales se utilizarán para tener una buena transferencia de calor?</p> <p>¿Qué tiempo tomará calentar el secador para retiro de la humedad en cubetas?</p> <p>¿Qué contenido de humedad se tendrá en cubetas húmedas?</p> <p>¿Qué contenido de humedad se tendrá en cubetas secas?</p> | <p>-Investigación de campo</p> <p>-Documentación Bibliográfica</p> <p>-Fichas de registro</p> <p>-Cronómetro</p> <p>-Fichas de registro</p> <p>- Balanza digital.</p> |

3.5 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

En este proyecto se aplicará la observación directa en la fábrica donde se dedican a la producción de cubetas de cartón para huevos, en la cual podrán facilitar las cubetas de cartón previo a su secado, siendo de mucha ayuda para determinar datos de humedad respecto al proceso de secado, que posteriormente se recolectarán y serán tabulados de acuerdo a un orden lógico.

Los instrumentos que se utilizarán de apoyo serán cuaderno de notas, fichas de campo, balanza digital, sensor de temperatura, entre otros.

3.5.1 Instrumentos de medición

3.5.1.1 Sensor de temperatura.- Un sensor es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas. Las variables de instrumentación pueden ser por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, distancia.



Figura 3.1: Controlador y sensor de temperatura.

(Fuente: Full Gauge)

El sensor a utilizar en el presente estudio para la toma de datos de temperatura será de modelo MT-511 de Full gauge, capaz de tomar datos desde 0 hasta $100\pm 5^{\circ}\text{C}$, y se encuentra dentro de lo requerido.

3.5.1.2 Cronómetro.- Un cronómetro es un reloj de precisión que se emplea para medir fracciones de tiempo suelen usarse en la industria para tener un registro de fracciones temporales más breves.



Figura 3.2: Cronómetro digital.

(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza F.)

Un cronómetro será el instrumento indispensable en el estudio, ya que será de gran ayuda para la toma de datos de temperatura y humedad.

3.5.1.3 Balanza Digital.- La balanza es un instrumento que sirve para medir masa y cuerpo.



Figura 3.3: Balanza digital

(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza F.)

De acuerdo con la norma INEN NTE: 1397 se necesita tomar el peso del espécimen del cartón durante el proceso de secado, para determinar la humedad existente.

3.5.1.4 Anemómetro.- Instrumento utilizado para medir la velocidad del viento (fuerza del viento).



Figura 3.4: Anemómetro portátil.
(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza F.)

El anemómetro será el instrumento necesario para tomar y verificar la velocidad de circulación del aire para el secado de las cubetas de cartón.

3.5.1.5 Prototipo para pruebas

Para el presente estudio se construyó un prototipo para realizar las pruebas de secado con el cartón húmedo, el cual tiene las siguientes características:

Temperatura máxima = 95°C

Potencia calorífica de lámparas = 950W

Voltaje lámparas = 110V

Ventilador = 100 CFM

Voltaje ventilador = 110V

Velocidad de circulación del aire = 1 m/s

Sensor y controlador de temperatura = 0–100± 5°C / 220–110V hasta 8A.

Dimensiones exteriores = Alto: 0,5m - Ancho: 1m - Fondo: 0,7m

Dimensiones interiores = Alto: 0,4m - Ancho: 0,9m - Fondo: 0,6m



3.6 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Una vez que se ha obtenido la información necesaria, se realizó una tabulación de los datos y representaciones gráficas para poder observar el comportamiento de los resultados obtenidos en la investigación.

Las gráficas a utilizar para el estudio son las siguientes:

- Temperatura vs Tiempo de calentamiento de prototipo de secador con radiación y convección natural.
- Temperatura vs Tiempo de calentamiento de prototipo de secador con radiación y convección forzada.
- Humedad removida vs Tiempo de secado de cubetas de cartón con radiación y convección natural.
- Humedad removida vs Tiempo de secado de cubetas de cartón con radiación y convección forzada.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Para realizar el análisis de los resultados se tomaron un total de dieciocho cubetas de cartón húmedas para huevos, posterior a su proceso de formación en dicha fábrica, y una seca, se tomó el peso de la cubeta húmeda y la seca; y se determinó el porcentaje de humedad existente en las cubetas de cartón mediante la ecuación 2.1. Posteriormente se procedió al secado de dos cubetas de cartón húmedas de manera independiente con lámparas de 150W y 250W. Las cubetas húmedas fueron sometidas al calentamiento por radiación con las lámparas infrarrojas con 950W de igual manera, para verificar el tiempo de remoción de humedad con dicha potencia. Después en el prototipo se secador se analizó el calentamiento de la cámara de secado con una temperatura de 65°C como máxima, con radiación y con convección natural como también con convección forzada. Una vez que se determinó el método de calentamiento más eficiente, se procedió a introducir en el secador una cubeta para el secado, posteriormente se ingresaron dos cubetas, después tres cubetas y finalmente cuatro cubetas, que es la máxima capacidad que tiene el secador previamente seleccionado para el prototipo. A continuación se detallan los análisis realizados para el estudio:

4.1.1 Análisis del tiempo de secado de una cubeta de cartón por radiación y convección natural con 150W.

A continuación se va analizar el secado de una cubeta de cartón utilizando tan solo como fuente de calor una lámpara de 150W, tomando una distancia promedio de 0,1m que incida directamente en la cubeta de cartón sin hermetización, el área de calentamiento es de 1m² aproximadamente, con la ecuación 2.1 se procede a determinar la cantidad de remoción de la humedad, dando como resultado los siguientes valores en la tabla 4.1:

Tabla 4.1: Porcentajes de humedad removida por radiación y convección natural de una cubeta de cartón por unidad de tiempo con 150W.

| HOJA DE ESTUDIO DEL SECADO CON RADIACIÓN | | |
|---|----------------------|--------------------------------------|
| INFRARROJA Y CONVECCIÓN NATURAL | | |
| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | |
| Tiempo (s - min) | Peso (g - kg) | Des-humidificación cartón (%) |
| 0 | 250 – 0,25 | 0 |
| 3600 – 60 | 221,3 – 0,221 | 11 |
| 7200 – 120 | 186,1 – 0,186 | 26 |
| 10800 – 180 | 163,7 – 0,164 | 35 |
| 14400 – 240 | 138,8 – 0,139 | 44 |
| 18000 – 300 | 119,7 – 0,120 | 52 |
| 21600 – 360 | 104,5 – 0,105 | 58 |
| 25200 – 420 | 86,1 – 0, 086 | 66 |
| 28800 – 480 | 69,7 – 0,07 | 72 |

(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza F.)

4.1.2 Análisis del tiempo de secado de una cubeta de cartón por radiación y convección natural con 250W.

De igual manera se va analizar el secado de una cubeta de cartón utilizando tan solo como fuente de calor una lámpara de 250W, tomando una distancia promedio de 0,1m que incida directamente en la cubeta de cartón sin hermetización, el área de calentamiento es de 1m² aproximadamente, con la ecuación 2.1 se procede a determinar la cantidad de remoción de la humedad, dando como resultado los siguientes valores en la tabla 4.2:

Tabla 4.2: Porcentajes de humedad removida por radiación y convección natural de una cubeta de cartón por unidad de tiempo con 250W.

| HOJA DE ESTUDIO DEL SECADO CON RADIACIÓN | | |
|---|----------------------|--------------------------------------|
| INFRARROJA Y CONVECCIÓN NATURAL | | |
| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | |
| Tiempo (s - min) | Peso (g - kg) | Des-humidificación cartón (%) |
| 0 | 250 – 0,25 | 0 |
| 3600 – 60 | 220,8 – 0,221 | 12 |
| 7200 – 120 | 189,3 – 0,189 | 24 |
| 10800 – 180 | 160,1 – 0,160 | 36 |
| 14400 – 240 | 132,5 – 0,133 | 47 |
| 18000 – 300 | 101,4 – 0,101 | 59 |
| 21600 – 360 | 69,9 – 0,07 | 72 |
| 25200 – 420 | 69,8 – 0,07 | 72 |
| 28800 – 480 | 69,7 – 0,07 | 72 |

(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza F.)

4.1.3 Análisis del tiempo de calentamiento del prototipo de secador por radiación y convección natural con 950W.

En este análisis se determinó el calentamiento en la cámara de secado, que tiene como fin verificar el tiempo que tarda en alcanzar la temperatura deseada para el secado que son 65°C aproximadamente, utilizando como métodos de transferencia de calor la radiación en conjunto con la convección natural. Proporcionando como resultado los valores ilustrados en la tabla 4.3:

Tabla 4.3: Temperatura de calentamiento de prototipo sin carga con 950W por radiación y convección natural respecto al tiempo.

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | | |
|--|-------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica | | | |
| Carrera de Ingeniería Mecánica | | | |
| Lugar: Laboratorio de energía | | Tem. Ambiente: 17,3 °C | |
| Tiempo (min) | Temperatura (°C) | Tiempo (min) | Temperatura (°C) |
| 0 | 17,3 | 14 | 63,1 |
| 1 | 21,5 | 15 | 60,9 |
| 2 | 26,2 | 16 | 60,1 |
| 3 | 31,1 | 17 | 61,8 |
| 4 | 35,7 | 18 | 64,1 |
| 5 | 40,2 | 19 | 65,1 |
| 6 | 44,5 | 20 | 64,1 |
| 7 | 49,8 | 21 | 62,4 |
| 8 | 53,1 | 22 | 60,2 |
| 9 | 56,1 | 23 | 60,7 |
| 10 | 59,2 | 24 | 62,9 |
| 11 | 62 | 25 | 65,3 |
| 12 | 64,6 | 26 | 64,8 |
| 13 | 64,9 | 27 | 63,2 |

(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza F.)

4.1.4 Análisis del tiempo de calentamiento del prototipo de secador por radiación y convección forzada con 950W.

De igual manera que el análisis interior se determinó el calentamiento en la cámara de secado, verificando el tiempo que tarda en alcanzar la temperatura deseada para el secado que son 65°C aproximadamente, utilizando en este caso como métodos de transferencia de calor la radiación en conjunto con la convección forzada. Dando como resultado los valores los ilustrados en la tabla 4.4:

Tabla 4.4: Temperatura de calentamiento de prototipo sin carga con 950W por radiación y convección forzada respecto al tiempo.

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | | |
|--|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica | | | |
| Carrera de Ingeniería Mecánica | | | |
| Lugar: Laboratorio de energía | | Tem. Ambiente: 17,3 °C | |
| Tiempo (min) | Temperatura (°C) | Tiempo (min) | Temperatura (°C) |
| 0 | 17,3 | 23 | 63,5 |
| 2 | 31 | 24 | 61,1 |
| 4 | 37,5 | 25 | 59,7 |
| 6 | 42 | 26 | 60,4 |
| 8 | 46,1 | 27 | 61,6 |
| 10 | 49,2 | 28 | 63 |
| 12 | 52,6 | 29 | 64,1 |
| 14 | 55,2 | 30 | 65 |
| 15 | 58 | 31 | 63,4 |
| 16 | 58,9 | 32 | 60,8 |
| 17 | 60,3 | 33 | 59,8 |
| 18 | 61,3 | 34 | 60,7 |
| 19 | 62,3 | 35 | 62,2 |
| 20 | 63,2 | 36 | 63,6 |
| 21 | 64,2 | 37 | 64,9 |
| 22 | 65 | 38 | 64 |

(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza F.)

4.1.5 Análisis del tiempo de secado de una cubeta de cartón por radiación y convección natural con 950W.

Para este análisis se tomó de igual manera una distancia promedio de 0,1m para proceder a someter a calentamiento y remover el peso existente en una cubeta de cartón húmeda con una temperatura promedio entre 65-70°C en un área hermetizada; con la ecuación 2.1 se procede a determinar la cantidad de remoción de la humedad en la cubeta de cartón. Los datos obtenidos se muestran en la tabla 4.5, a continuación:

Tabla 4.5: Porcentajes de humedad removida por radiación y convección natural de una cubeta de cartón por unidad de tiempo con 950W.

| HOJA DE ESTUDIO DEL SECADO CON RADIACIÓN | | |
|---|----------------------|--------------------------------------|
| INFRARROJA Y CONVECCIÓN NATURAL | | |
| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | |
| Tiempo (s - min) | Peso (g - Kg) | Des-humidificación cartón (%) |
| 0 – 0 | 250 - 0.25 | 0 |
| 300 – 5 | 222,7 – 0,223 | 10 |
| 600 – 10 | 184,5 – 0,185 | 25 |
| 900 – 15 | 164,9 – 0,165 | 34 |
| 1200 – 20 | 140,1 – 0,140 | 44 |
| 1500 – 25 | 121,2 – 0,121 | 52 |
| 1800 – 30 | 105,3 – 0,105 | 58 |
| 2100 – 35 | 85,4 – 0,085 | 66 |
| 2400 – 40 | 69,7 0,07 | 72 |

(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza F.)

4.1.6 Análisis del tiempo de secado de una cubeta de cartón por radiación y convección forzada con 950W.

Para este análisis se tomó de igual forma la distancia promedio de 0.1m para proceder a remover el peso existente en una cubeta de cartón a una temperatura de 60-65°C; la variación realizada para este análisis consta de tener una circulación del aire forzada, es decir se combinó los dos métodos de transferencia de calor radiación y convección forzada, los datos obtenidos se muestran en la tabla 4.6, teniendo una circulación del aire de 1 m/s.

Tabla 4.6: Porcentajes de humedad removida por radiación y convección forzada de una cubeta de cartón por unidad de tiempo con 950W.

| HOJA DE ESTUDIO DEL SECADO CON RADIACIÓN | | |
|---|----------------------|--------------------------------------|
| INFRARROJA Y CONVECCIÓN FORZADA | | |
| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | |
| Tiempo (s - min) | Peso (g - kg) | Des-humidificación cartón (%) |
| 0 – 0 | 250 – 0,25 | 0 |
| 300 – 5 | 201,7 – 0,202 | 19 |
| 600 – 10 | 165,5 – 0,166 | 34 |
| 900 – 15 | 123,1 – 0,123 | 51 |
| 1200 – 20 | 85,8 – 0,086 | 66 |
| 1500 – 25 | 70 – 0,07 | 72 |
| 1800 – 30 | 69,8 – 0,07 | 72 |
| 2100 – 35 | 69,7 – 0,07 | 72 |
| 2400 – 40 | 69,6 – 0,07 | 72 |

(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza F.)

4.1.7 Análisis del tiempo de secado de dos cubetas de cartón por radiación y convección forzada con 950W.

Para este análisis se tomó de igual forma la distancia promedio de 0.1m para proceder a remover el peso existente en dos cubetas de cartón a una temperatura de 60-65°C; los datos obtenidos se muestran en la tabla 4.7, teniendo una circulación del aire de igual manera de 1 m/s.

Tabla 4.7: Porcentajes de humedad removida por radiación y convección forzada de dos cubetas de cartón por unidad de tiempo con 950W.

| HOJA DE ESTUDIO DEL SECADO CON RADIACIÓN | | |
|---|----------------------|--------------------------------------|
| INFRARROJA Y CONVECCIÓN FORZADA | | |
| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | |
| Tiempo (s - min) | Peso (g - kg) | Des-humidificación cartón (%) |
| 0 – 0 | 250 – 0,25 | 0 |
| 300 – 5 | 212,3 – 0,212 | 15 |
| 600 – 10 | 174,5 – 0,175 | 30 |
| 900 – 15 | 135,4 – 0,135 | 46 |
| 1200 – 20 | 102,8 – 0,103 | 59 |
| 1500 – 25 | 85,3 – 0,085 | 66 |
| 1800 – 30 | 73,1 – 0,073 | 71 |
| 2100 – 35 | 69,7 – 0,07 | 72 |
| 2400 – 40 | 69,6 – 0,07 | 72 |

(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza F.)

4.1.8 Análisis del tiempo de secado de tres cubetas de cartón por radiación y convección forzada con 950W.

Para este análisis se tomó de igual forma la distancia promedio de 0.1m para proceder a remover el peso existente en las tres cubetas de cartón a una temperatura de 60-65°C, los datos obtenidos se muestran en la tabla 4.8, teniendo una circulación del aire de 1 m/s.

Tabla 4.8: Porcentajes de humedad removida por radiación y convección forzada de tres cubetas de cartón por unidad de tiempo con 950W.

| HOJA DE ESTUDIO DEL SECADO CON RADIACIÓN | | |
|---|----------------------|--------------------------------------|
| INFRARROJA Y CONVECCIÓN FORZADA | | |
| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | |
| Tiempo (s - min) | Peso (g - kg) | Des-humidificación cartón (%) |
| 0 – 0 | 250 – 0,25 | 0 |
| 300 – 5 | 219,8 – 0,22 | 12 |
| 600 – 10 | 187,2 – 0,187 | 25 |
| 900 – 15 | 155,1 – 0,155 | 38 |
| 1200 – 20 | 125,4 – 0,125 | 50 |
| 1500 – 25 | 95,7 – 0,096 | 62 |
| 1800 – 30 | 75,9 – 0,076 | 70 |
| 2100 – 35 | 70,1 – 0,07 | 72 |
| 2400 – 40 | 69,7 – 0,07 | 72 |

(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza F.)

4.1.9 Análisis del tiempo de secado de cuatro cubetas de cartón por radiación y convección forzada con 950W.

Para este análisis se tomó de igual forma la distancia promedio de 0.1m para proceder a remover el peso existente en las cubetas de cartón a una temperatura de 60-65°C; los datos obtenidos se muestran en la tabla 4.9, teniendo una circulación del aire de 1 m/s.

Tabla 4.9: Porcentajes de humedad removida por radiación y convección forzada de cuatro cubetas de cartón por unidad de tiempo con 950W.

| HOJA DE ESTUDIO DEL SECADO CON RADIACIÓN | | |
|---|----------------------|--------------------------------------|
| INFRARROJA Y CONVECCIÓN FORZADA | | |
| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | |
| Tiempo (s - min) | Peso (g - kg) | Des-humidificación cartón (%) |
| 0 – 0 | 250 – 0,25 | 0 |
| 300 - 5 | 229,1 – 0,229 | 8 |
| 600 – 10 | 207,8 – 0,208 | 17 |
| 900 – 15 | 187,9 – 0,188 | 25 |
| 1200 – 20 | 166,7 – 0,167 | 33 |
| 1500 – 25 | 145,8 – 0,146 | 42 |
| 1800 – 30 | 123,8 – 0,124 | 50 |
| 2100 – 35 | 102,3 – 0,102 | 59 |
| 2400 – 40 | 81,6 – 0,082 | 72 |
| 2700 – 45 | 69,7 – 0,07 | 72 |

(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza F.)

4.2 INTERPRETACIÓN DE DATOS

A partir de los datos tabulados desde la tabla 4.1 del secado de cada cubeta de cartón con las lámparas de 150 y 250W independientemente, el calentamiento del prototipo del secador con una potencia calorífica de 950W y el secado de las cubetas de cartón aplicando los diferentes métodos de transferencia de calor, se realizarán diagramas de dispersión para tener una mejor captación e interpretación de los datos estudiados.

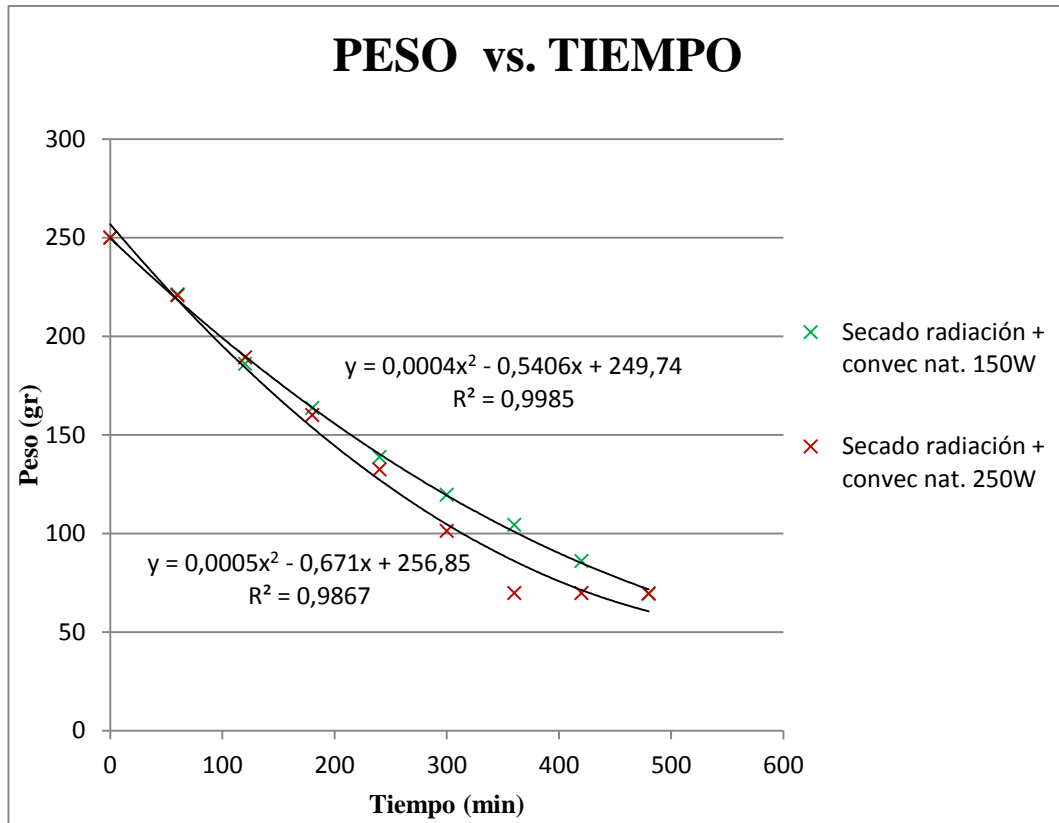


Figura 4.1: Peso removido por cubeta de cartón vs. Tiempo con diferentes potencias caloríficas.

(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza F.)

Como se puede apreciar en la figura 4.1, se nota claramente que cuando se utiliza como fuente de calor la lámpara de 150W el peso decae en su totalidad en un tiempo estimado de 8 horas, mientras que al utilizar como fuente calorífica la lámpara de 250W, el peso disminuye en su totalidad en tiempo alrededor de 6 horas, es decir se tiene una diferencia de tiempo alrededor de 120 minutos a utilizar cada lámpara independientemente en el proceso de secado.

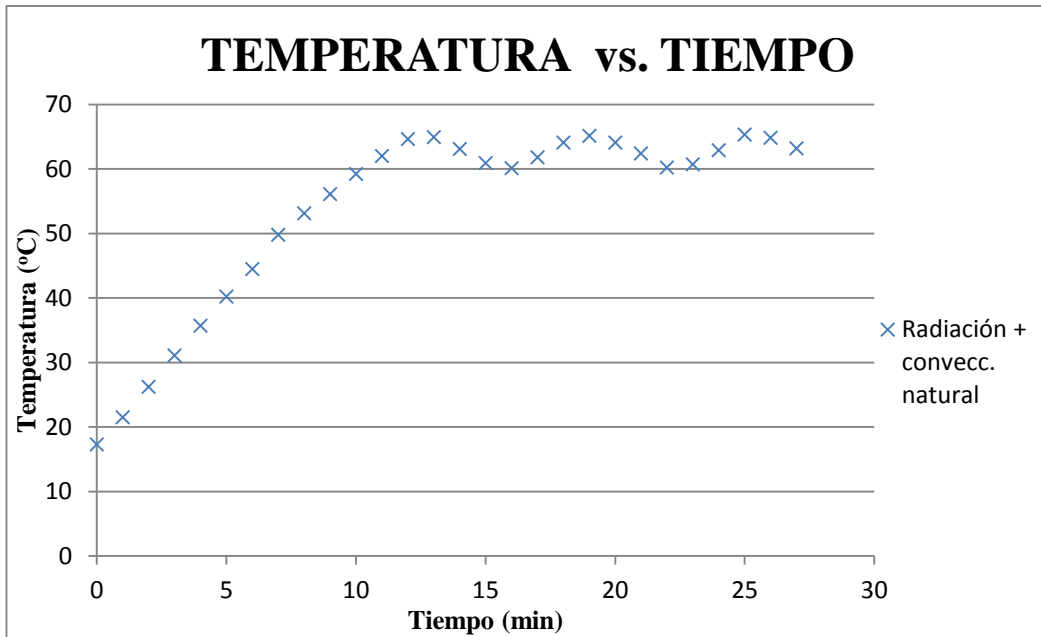


Figura 4.2: Temperatura de calentamiento de prototipo sin carga vs. Tiempo aplicando radiación y convección natural.
(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza F.)

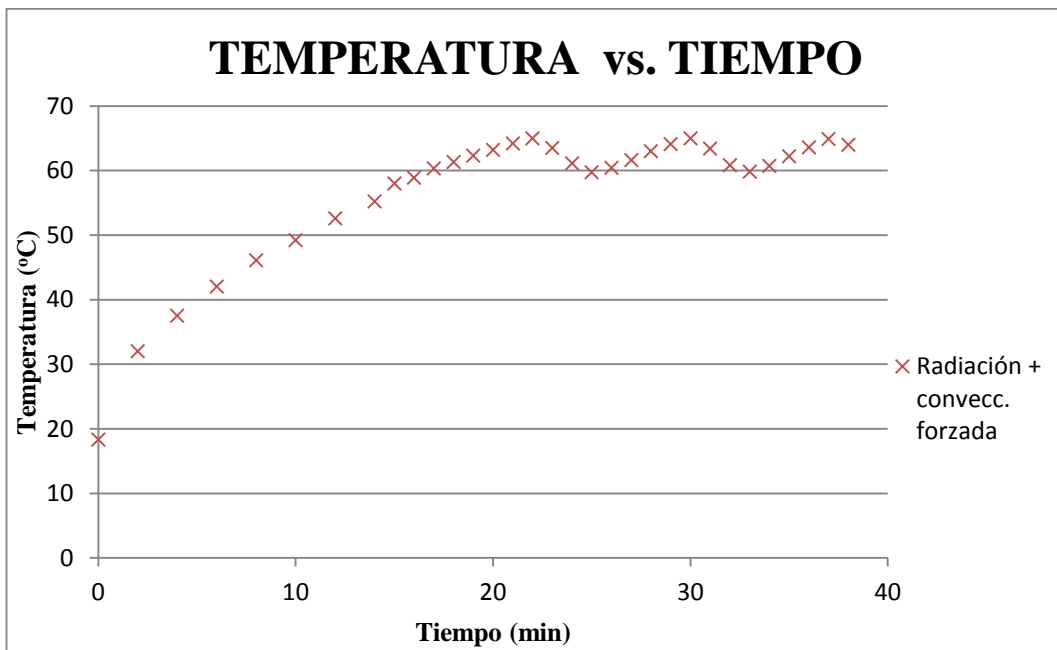


Figura 4.3: Temperatura de calentamiento de prototipo sin carga vs. Tiempo aplicando radiación y convección forzada con 950W.
(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza F.)

En la figura 4.2 y 4.3, se observa el calentamiento del secador, comparando la variación de temperatura de acuerdo al tiempo con los diferentes métodos de

transferencia de calor; en donde al utilizar radiación con convección natural, llega a la temperatura máxima de 65°C en un lapso de tiempo de 13 minutos, mientras que al utilizar radiación más convección forzada alcanza la máxima temperatura en un tiempo aproximado de 23 minutos. Esto indica, que el tiempo entre etapa de encendido y apagado que alcanza, es mayor en la convección forzada entre picos de temperatura, que oscila en un rango de 65 a 60°C.

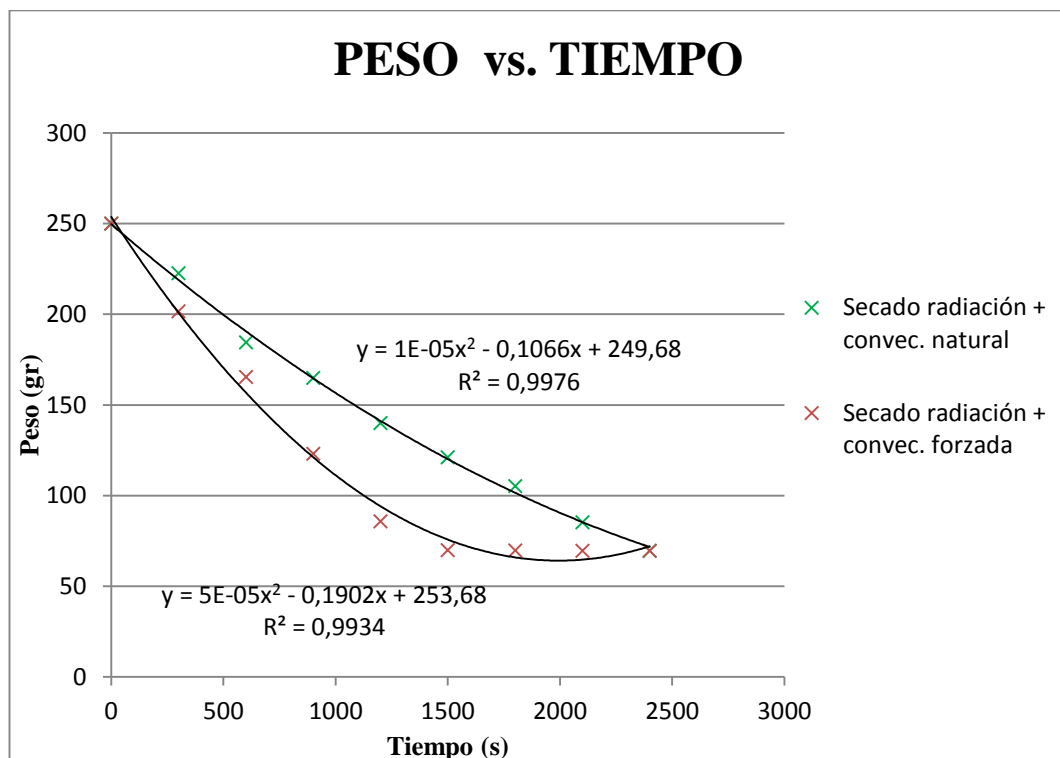


Figura 4.4: Peso removido por cubeta de cartón en prototipo vs. Tiempo con diferentes métodos de transferencia de calor con 950W.

(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza F.)

En la figura 4.4 se observa el secado de una cubeta de cartón por unidad de peso respecto al transcurso del tiempo, se aprecia que utilizando convección natural más radiación infrarroja se puede llegar al peso final de 70 gramos, es decir secarla en su totalidad en un tiempo de 2400 segundos, mientras que al combinar radiación más convección forzada la cubeta de cartón alcanzó el peso final en 1500 segundos, dando a entender que es más eficiente secar con radiación más convección forzada. De este modo se interpretarán los datos con la utilización de estos dos métodos de

transferencia de calor, para determinar la des-humidificación de las cubetas de cartón, incrementando la carga se secado.

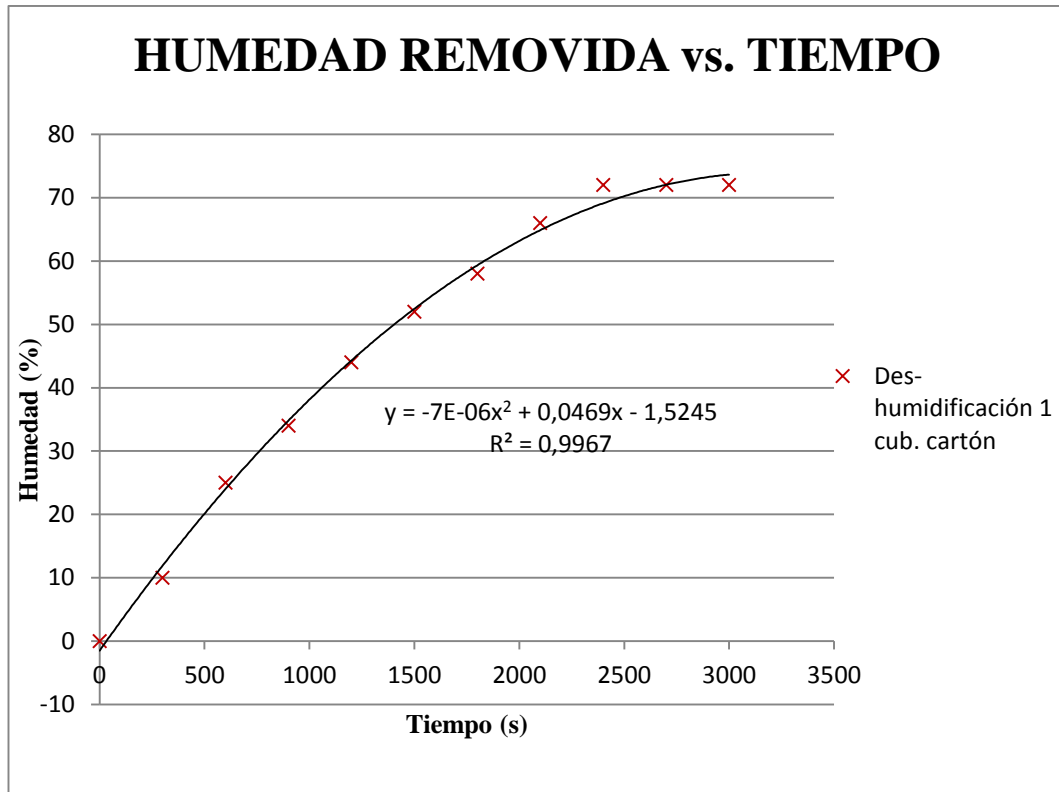


Figura 4.5: Humedad removida de una cubeta de cartón vs. Tiempo aplicando radiación y convección natural.

(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza F.)

En la figura 4.5 se identifica que a medida que se incrementa el tiempo la tasa de remoción de humedad aumenta significativamente, con esto se consigue secar la cubeta de cartón en 2400 segundos, aplicando como medio de transferencia de calor convección natural y radiación, pudiendo con esto remover la humedad existente en las cubetas de cartón del 70% aproximadamente.

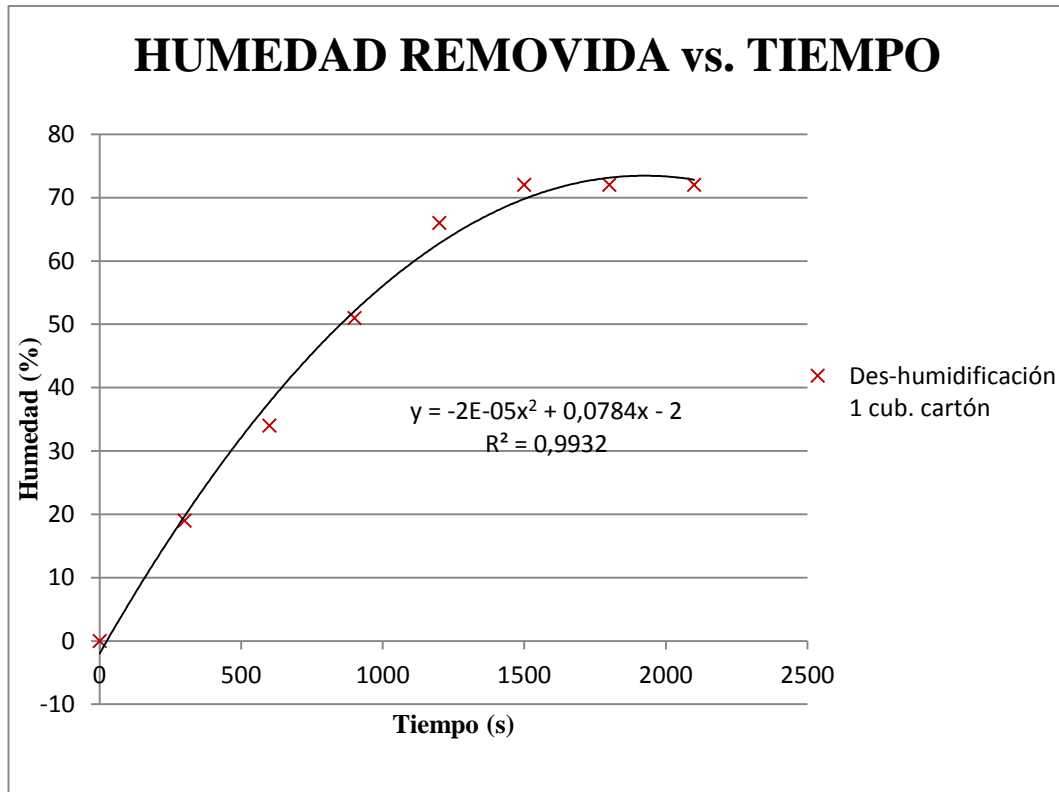


Figura 4.6: Humedad removida de una cubeta de cartón vs. Tiempo aplicando radiación y convección forzada.

(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza F.)

Como se observa en la figura 4.6 en donde se interpreta el secado de una cubeta de cartón mediante la aplicación de radiación más convección forzada, la humedad se remueve en su totalidad a los 1500 segundos, dando a entender que es más eficiente secar el cartón húmedo mediante la unión de estos dos métodos de transferencia de calor, que con la aplicación de convección natural y de radiación, ya que mediante este método de secado se logró remover toda la humedad en 2400 segundos.

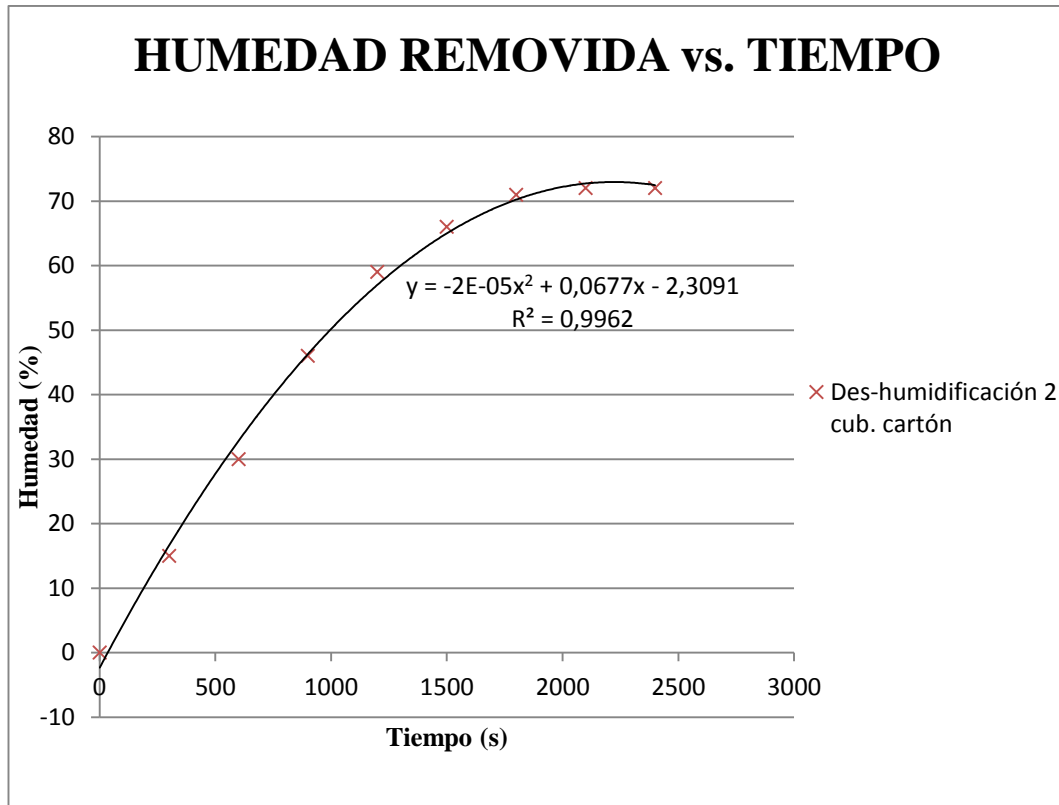


Figura 4.7: Humedad removida de dos cubetas de cartón vs. Tiempo aplicando radiación y convección forzada.

(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza F.)

En la figura 4.7 se aprecia la des-humidificación de dos cubetas de cartón mediante la aplicación de radiación más convección forzada como métodos de transferencia de calor, teniendo como resultado las dos cubetas de cartón secas a los 1800 segundos, y si comparamos con el secado de una cubeta de cartón, se puede decir que existe una variación de 300 segundos por el incremento de una cubeta de cartón o de carga.

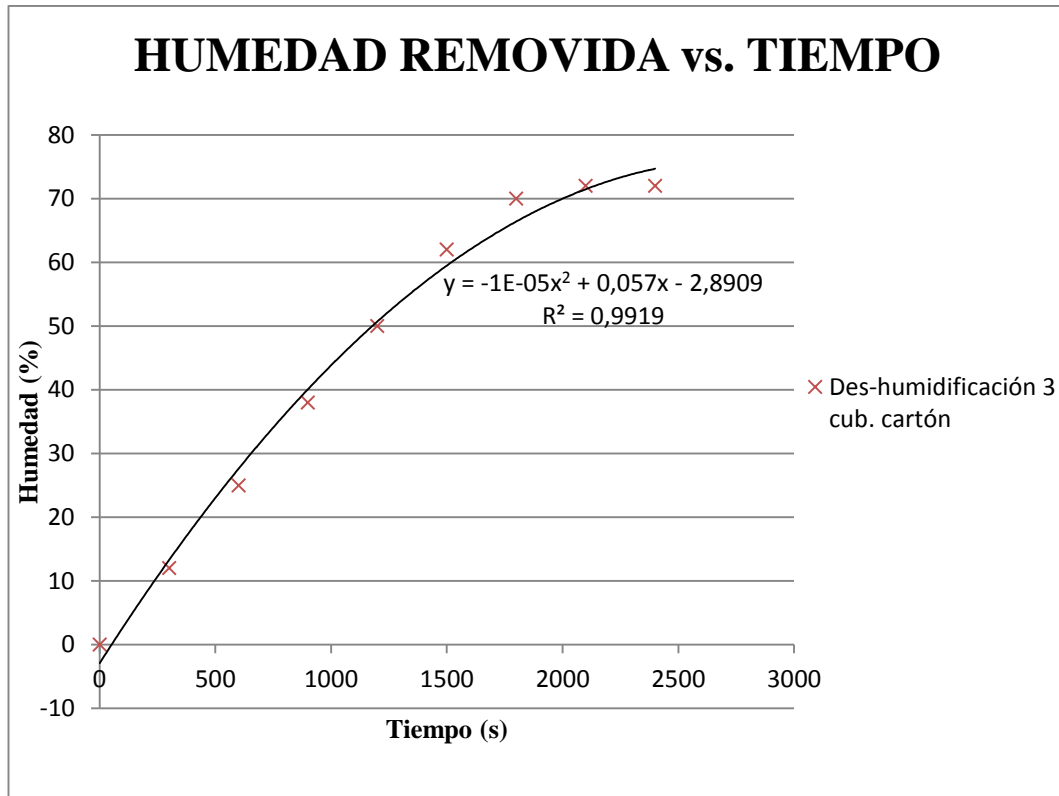


Figura 4.8: Humedad removida de tres cubetas de cartón vs. Tiempo aplicando radiación y convección forzada.

(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza F.)

Se observa en la figura 4.8 la remoción de humedad, donde se someten al secado a tres cubetas de cartón, de igual manera con los dos métodos de transferencia de calor que son radiación más convección forzada, en el cual se consigue remover la humedad en su totalidad a dichas cubetas en un tiempo estimado de 2100 segundos aproximadamente. Y si comparamos con el secado de dos cubetas de cartón, se puede decir que existe una variación de 300 segundos por el incremento de una cubeta de cartón.

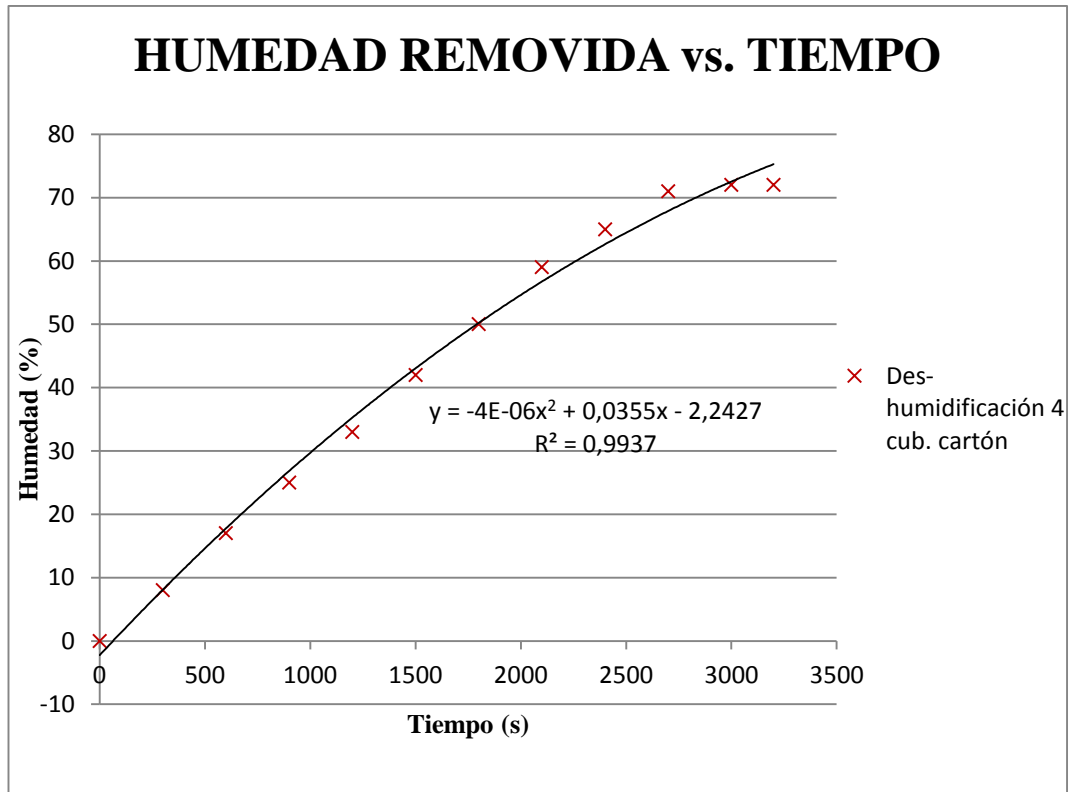


Figura 4.9: Humedad removida de cuatro cubetas de cartón vs. Tiempo aplicando radiación y convección forzada.

(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza F.)

Como se observa en la figura 4.9 donde se analiza el secado de cuatro cubetas de cartón mediante la aplicación de radiación más convección forzada, que la humedad se remueve en su totalidad a los 2700 segundos.

Y si comparamos con el secado de tres cubetas de cartón, se puede decir que existe una variación de 600 segundos por el incremento de una cubeta de cartón.

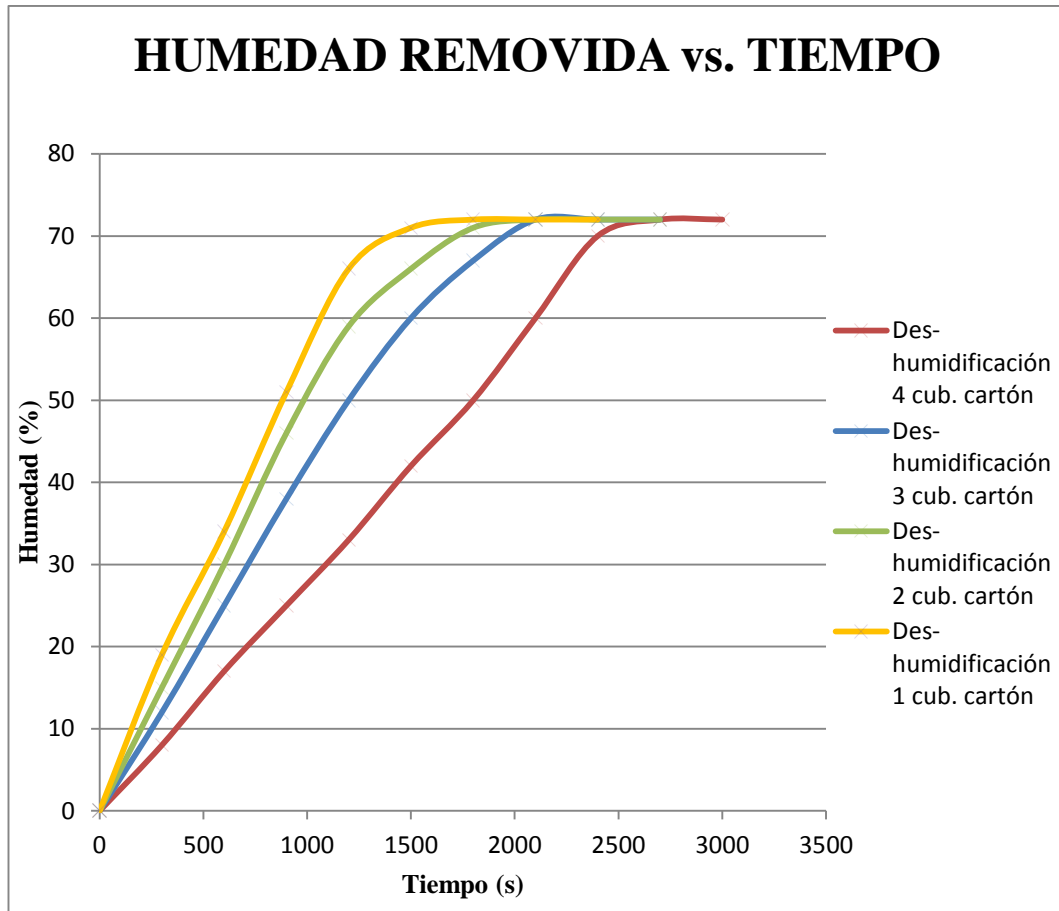


Figura 4.10: Comparación de humedad removida en las cubetas de cartón vs. Tiempo aplicando radiación y convección forzada.

(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza F.)

Se observa la figura 4.11, en la cual se compara el secado de las cubetas de cartón con la variación de la carga a secar.

Como se puede apreciar a medida que va incrementando la carga de las cubetas de cartón a secar, de igual manera sucede con el tiempo de secado, es decir son directamente proporcionales el peso con el tiempo de secado; existiendo una variación de tiempo con el incremento de una cubeta de cartón en cada ensayo de 5 a 10 minutos como se detalla en la figura, para poder secar por completo las cubetas de cartón. A continuación se especifica el tiempo de secado de las cubetas de cartón:

- Si se seca una cubeta se tarda alrededor de 1500 s = 25 min.
- Si se seca dos cubetas se tarda alrededor de 1800 s = 30 min.
- Si se seca tres cubetas se tarda alrededor de 2100 s = 35 min.
- Si se seca cuatro cubetas se tarda alrededor de 2700 s = 45 min.

4.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

Hipótesis:

Manteniendo una temperatura mayor o igual a 50°C con lámparas infrarrojas, permitirá reducir la humedad en niveles del 5% en adelante.

Al tener una velocidad de circulación del aire de 0.4m/s hasta un valor de 1.4m/s aproximadamente, se podrá reducir la humedad en porcentajes menores al 20%.

En el presente estudio se han sometido las cubetas de cartón a una temperatura de secado de 65°C aproximadamente manteniendo esta temperatura constante y consiguiendo con esto disminuir la humedad; como se puede observar en la figura 4.4 en adelante, dando como resultado lo siguiente:

Secado con una cubeta de cartón

La humedad se remueve en un 10% en un lapso de 5 minutos y así de manera consecutiva, aplicando como métodos de transferencia de calor radiación más convección natural. Y si se aplica radiación más convección forzada se remueve el 19% de humedad en 5 minutos de igual manera.

Secado con dos cubetas de cartón

Determinando que es más eficiente secar las cubetas de cartón mediante la combinación de radiación más convección forzada, se dispuso a realizar el secado de tal manera, dando como resultado la disminución de humedad en dos cubetas del 15% en un tiempo de 5 minutos y así sucesivamente hasta secar totalmente.

Secado con tres cubetas de cartón

La humedad se remueve en un 12% en un lapso de 5 minutos y así de manera consecutiva, aplicando como métodos de transferencia de calor radiación más convección forzada, ya que es la forma que mejor se adaptó al estudio del proceso de secado.

Secado con cuatro cubetas de cartón

Al disponer en el proceso de secado de cuatro cubetas de cartón húmedas, se logró reducir la humedad en un 8% de igual forma en tiempo de 5 minutos, y así consecutivamente hasta remover la humedad en su totalidad.

De tal manera con los ensayos realizados anteriormente, se puede cumplir la primera hipótesis de manera positiva ya que se ha podido mantener la temperatura mayor o igual a 50°C y pudiendo reducir la humedad en rangos mayores al 5% de humedad existente en las cubetas de cartón.

De igual forma si observamos la figura 4.5 en adelante, se puede apreciar que al combinar como métodos de transferencia de calor radiación más convección forzada, se puede disminuir los porcentajes de humedad del 19 al 8% en lapsos de 5 minutos en adelante, mediante el incremento de las cubetas de cartón húmedas, dado que la circulación del aire forzado ayuda a remover la humedad en rangos tolerantes. Al poder medir la velocidad de circulación del aire utilizada para secar las cubetas de cartón se tiene una velocidad de 1 m/s; de igual manera con esto se puede cumplir la segunda hipótesis de manera acertada, ya que se ha podido disminuir la humedad en rangos menores al 20% teniendo una circulación del aire existente en el rango de 0,4 a 1,4m/s planteado tentativamente en la hipótesis.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Una vez que se realizó el estudio del proceso de secado con las lámparas infrarrojas para la des-humidificación de cubetas de cartón se concluye lo siguiente:

- Se determinó que el equipo con mejores prestaciones para el secado de las cubetas de cartón es un secador de tipo bandeja, ya que primeramente su construcción y el acoplamiento de las lámparas infrarrojas resulto fácil, y de igual manera favoreció para la obtención de los datos de forma considerable.
- Se realizó ensayos de secado con las lámparas infrarrojas de 150 y 250W independientemente, con la lámpara de 250W se obtuvo una des-humidificación en un tiempo de 6 horas, mientras que al secar con la lámpara de 150W únicamente, se removió la humedad en un lapso de 8 horas, teniendo una distancia de 0.1m; facilitando a entender que mejora el tiempo de secado a mayor potencia, dado que se tiene una diferencia de tiempo alrededor de 120 minutos a utilizar cada lámpara independientemente en el secado de cada cubeta de cartón húmeda.
- Se ejecutó pruebas de calentamiento en vacío en el prototipo de secador, dando a notar que el método de transferencia de calor que ofrece mayores prestaciones, es al calentar el secador con radiación más convección natural, dado que alcanzo la temperatura deseada de 65°C es un tiempo de 13 minutos, mientras que al calentar el secador con radiación más convección forzada se obtuvo la temperatura esperada en un lapso de tiempo de 25 minutos, observando que el tiempo se duplica al calentar con ventilación.
- Se consiguió obtener rangos de humedad de forma adecuada por método gravimétrico de cada cubeta de cartón, tomando como guía la norma NTE -

INEN 1387 para la determinación de la humedad en papel y cartón, se pudo notar que la humedad inicial estaba alrededor del 70 al 73%, sirviendo este como dato para tomar en cuenta que cantidad de humedad hay que remover en un tiempo estimado.

- Al combinar los métodos de transferencia de calor de radiación infrarroja con convección forzada para el secado de las cubetas de cartón húmedas, se obtuvo mejores resultados a comparación de secar con radiación y convección natural, dado que la humedad se removió en un 34% en 10 minutos con una cubeta de cartón a una temperatura promedio de 65°C; mientras que al utilizar radiación y convección natural la cubeta de cartón a la misma temperatura y tiempo se des-humidificó en un 25% aproximadamente.
- A medida que se va incrementando la carga por peso de las cubetas de cartón húmedas, de igual manera sucede con el tiempo de secado que se incrementa significativamente; ya que al tener en la cámara de secado radiación infrarroja más convección forzada y solo una cubeta de cartón se logró remover en su totalidad la humedad en un lapso de tiempo de 25 minutos, mientras que cuando se sometió al secado a cuatro cubetas de cartón húmedas se consiguió des-humidificar totalmente en un tiempo de 45 minutos.

5.2 RECOMENDACIONES

De acorde al estudio realizado acerca del proceso secado por radiación con las lámparas infrarrojas, se citaran unas tantas recomendaciones:

- El calentamiento con lámparas infrarrojas es de forma progresiva, por lo que se recomienda precalentar la cámara de secado en un tiempo aproximado de 10 minutos, para posteriormente secar las cubetas de cartón húmedas.
- Para poder calentar la cámara se recomienda, utilizar los métodos de transferencia de calor radiación más convección natural, ya que con esto se

evita disipar el calor generado por las lámparas infrarrojas, y conseguir el tiempo aconsejado anteriormente.

- Se ha podido notar que existen pérdidas de calor generado con la apertura de las puertas, por lo que es recomendable al momento de realizar los ensayos de determinación de humedad, tomar la cubeta para ser pesada y cerrar inmediatamente las puertas, y para ingresarla actuar de igual manera, ya que con esto se reducirá el tiempo de secado.
- Al momento de manipular el interior secador durante el proceso de secado, es recomendable utilizar guantes de protección para la toma de pesajes, debido a que su construcción está basada en materiales de buena conductividad térmica, y con esto pudiendo ocurrir quemaduras de primer grado.
- Procurar luego de haber realizado el proceso de secado de las cubetas de cartón, con un paño seco limpiar las paredes interiores del secador, ya que de este modo se puede evitar daños por oxidación a corto plazo.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

“Diseño de un secador estático industrial de bandeja por radiación infrarroja y convección forzada para cubetas de cartón húmedas para huevos producidas en fábrica avícola ubicada en Samanga”

6.1 DATOS INFORMATIVOS

De manera que se han estudiado teóricamente los parámetros de secado en el prototipo de secador por radiación con lámparas infrarrojas y su influencia en la determinación del grado de humedad en cubetas de cartón, se ha verificado que los parámetros estudiados influyen directamente a la determinación de la humedad durante el proceso de secado estos siendo, al tener una temperatura que sobrepase los 60°C hasta un valor de 65°C, una circulación del aire de manera forzada hasta 1m/s por dimensiones de prototipo y de igual se tuvo en cuenta un tiempo estimado para la remoción de la humedad, que fueron alrededor de 40 minutos por cuatro cubetas de cartón y 25 minutos con una cubeta; y una potencia calorífica de 950W.

Uno de los parámetros esenciales es la temperatura requerida para el secado de las cubetas de cartón que oscila en un rango entre 60 a 65 °C, para lo cual es necesario la hermetización del calor generado por las lámparas infrarrojas en la fábrica avícola en caso de requerir la construcción adecuada, por lo tanto se requiere el diseño de un secador estático de bandeja utilizando las dimensiones correctas para un recomendable funcionamiento, con una conveniente circulación del aire, y el tiempo optimizado en el proceso de secado estudiado con prototipo con cubetas de cartón húmedas que fueron 25 minutos; del tal forma poder obtener los parámetros técnicos necesarios del secador industrial.

Este diseño se realizará basándose en los cálculos térmicos e hidráulicos que permita un adecuado proyecto, cumpliendo con los requerimientos deseados, pudiendo con esto obtener resultados favorables de acorde a lo estudiado en el análisis de resultados.

6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

6.2.1 Parámetros de Diseño

De las pruebas realizadas en prototipo se determinó los siguientes parámetros, dado que sus resultados fueron aceptables en el secado de las cubetas de cartón a partir del papel reciclado, como es la temperatura a secar de 65°C, la velocidad de circulación del aire de 1 metro por segundo. También se tomó en cuenta los parámetros atmosféricos en donde se utilizará el secador como son temperatura ambiental de 17,5°C aproximadamente, humedad relativa existente 60%. De igual manera se sometieron al secado en el prototipo variando la carga desde 1 cubeta hasta 4 cubetas húmedas, alcanzando tiempos de secado desde 25 minutos hasta 40 minutos con la máxima carga.

Estos parámetros serán de mucha ayuda para un adecuado diseño del secador industrial por radiación infrarroja y convección forzada, para el secado de cubetas de cartón húmedas.

6.3 JUSTIFICACIÓN

El motivo para proponer el diseño de un secador industrial estático por radiación infrarroja para la des-humidificación de las cubetas de cartón, es para poder obtener la disminución de peso de acuerdo al tiempo como indica la norma respectiva para la determinación de la humedad de papel y cartón; de igual forma para poder enfocar lo estudiado con anterioridad en el análisis de resultados con el prototipo de secador, el cual permita obtener resultados favorables de secado en el tiempo adecuado en secador industrial propuesto en el estudio.

6.4 OBJETIVOS

Los objetivos propuestos en la respectiva tesis se detallan a continuación:

- Calcular las cargas térmicas para un apropiado secado de las cubetas de cartón.
- Escoger lámparas infrarrojas adecuadas para el secado de las cubetas de cartón húmedas.
- Seleccionar un ventilador de acuerdo a dimensiones del secador industrial.

6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

6.5.1 Análisis técnico

En lo referente al estudio de factibilidad desde el punto de vista técnico, se puede decir que es fundamental tener conocimientos básicos de metalmecánica y eléctrica, de tal manera poder contar con un taller en el que existan los siguientes equipos como: soldadora, taladro, dobladora, cortadora, soldadora eléctrica, entre otros; así como también herramientas manuales como: limas, desarmadores, flexómetro, etc; para lo cual va hacer necesario alquilar un taller equipado, dado que los talleres de la facultad no cuentan con todos estos equipos mecánicos adecuados.

Para el diseño del secador industrial estático de bandeja es fundamental la aplicación de los conocimientos de: termodinámica, mecánica de fluidos y transferencia de calor, de manera que están enfocados en el área de energía.

6.5.2 Análisis de costos

En lo que consiste a la factibilidad de análisis de costos, se tomarán en cuenta todos los componentes necesarios para poder realizar y concluir la investigación como son: compra de materiales para la construcción, maquinaria y la mano de obra.

6.5.2.1 Costos Directos (CD)

- Costos de Materiales (CTM)

Los costos de los materiales a utilizar en la construcción del secador estático de bandeja por radiación infrarroja industrial, se detallan a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 6.1: Costos de materiales mecánicos

| COSTOS DE MATERIALES MECÁNICOS (CM) | | | | |
|--|---------------------------|----------------------|----------------------|-------------------|
| CANTIDAD | DESCRIPCIÓN | DIMENSIONES | COSTO/u. (\$) | TOTAL (\$) |
| 6 | Plancha acero galvanizado | (250x120)cm x 0,14cm | 44,5 | 267 |
| 1 | Malla soldada | (60x180)cm | 9,5 | 9,5 |
| 2 | Malla ventilador | (13x13)cm | 5 | 10 |
| 1 | Ángulo A36 | (600x5)cm | 5,90 | 5,9 |
| 100 | Pernos | (2,54x0,5)cm | 0,2 | 20 |
| 100 | Remaches | 2,54cm | 0,15 | 15 |
| 2 | Bisagra | (25,4x1,3)cm | 6,75 | 13,5 |
| 2 | Aldaba | (10x4)cm | 3,5 | 7 |
| 2 | Vidrio templado | (20x10)cm | 25 | 50 |
| 50 | Electrodos 6011 | (0,32x20)cm | 0,45 | 22,5 |
| 2 | Difusor de aletas móviles | (15x15)cm | 15 | 30 |
| 8 | Lana de vidrio | (50x25)cm x 5cm | 6,5 | 52 |
| TOTAL (\$) | | | | 502,40 |

(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza F.)

Tabla 6.2: Costos de materiales eléctricos

| COSTOS DE MATERIALES ELÉCTRICOS (CMI) | | | |
|--|--|----------------------|-------------------|
| CANTIDAD | DESCRIPCIÓN | COSTO/u. (\$) | TOTAL (\$) |
| 16 | Lámpara infrarroja 250W-220V | 40 | 640 |
| 1 | Controlador y sensor de temperatura 110V | 82,5 | 82,5 |
| 4 | Interruptor on / off | 3,20 | 12,8 |

| | | | |
|-------------------|---------------------------|-----|--------|
| 14 | Boquillas poliuretano | 2,1 | 29,4 |
| 1 | Ventilador 350 CFM-110V | 20 | 20 |
| 8 | Cable de asbesto #12 | 4 | 32 |
| 4 | Cable gemelo #10 | 1,5 | 6 |
| 1 | Conector a toma corriente | 4 | 4 |
| TOTAL (\$) | | | 826,70 |

(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza F.)

Tabla 6.3: Costos de materiales varios

| COSTOS DE MATERIALES VARIOS (CMV) | | | |
|--|------------------------------|----------------------|-------------------|
| CANTIDAD | DESCRIPCIÓN | COSTO/u. (\$) | TOTAL (\$) |
| 3 | Pintura sintética vino tinto | 8,9 | 26,7 |
| 2 | Fondo para pintura | 3,5 | 7 |
| 4 | Pliego de lija | 0,9 | 3,6 |
| 2 | Tiñer | 1,8 | 3,6 |
| 6 | Caucho rubatex aislante | 1,5 | 9 |
| 2 | Pegamento de contacto | 3,5 | 7 |
| TOTAL (\$) | | | 59,90 |

(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza F.)

Para la obtención de los costos directos sumamos los subtotales:

$$CD = CMM + CME + CMV$$

Tabla 6.4: Costos directos

| COSTOS DIRECTOS | |
|------------------------|------------------|
| DESCRIPCIÓN | VALOR(\$) |
| CMM | 502,40 |
| CME | 826,70 |
| CMV | 59,90 |
| TOTAL(\$) | 1389 |

(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza F.)

6.5.2.2 Costos Indirectos (CI)

- Costo de maquinaria utilizada (CMU)

Los costos de las máquinas y herramientas utilizadas para la construcción están detallados en la siguiente tabla, se ha tomado como referencia las horas de ocupación de cada una de ellas para hallar el costo total.

Tabla 6.5: Costos de maquinaria utilizada

| COSTOS DE MAQUINARIA UTILIZADA (CMU) | | | |
|---|-----------------------------|---------------------|-------------------|
| MÁQUINA | TIEMPO DE EMPLEO (h) | COSTO/h (\$) | TOTAL (\$) |
| Dobladora de tol | 20 | 6 | 120 |
| Taladro | 12 | 3 | 36 |
| Suelda Eléctrica | 8 | 5 | 40 |
| Cortadora | 8 | 3 | 24 |
| Compresor | 4 | 5 | 20 |
| Esmeril | 2 | 3 | 6 |
| Herramientas | 16 | 4 | 64 |
| TOTAL (\$) | | | 310 |

(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza F.)

- Costos de mano de obra (CMO)

Para la construcción del secador estático de bandeja es necesario solicitar la ayuda de un maestro y oficial, ellos trabajarán durante 5 días en la semana durante 8 horas diarias.

El tiempo estimado para la construcción del secador es de 30 días.

Tabla 6.6: Costos de mano de obra

| COSTOS DE MANO DE OBRA (CMO) | | | | |
|-------------------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------------------|---------------------------|
| DESCRIPCIÓN | COSTO/HORA (\$) | COSTO /DÍA (\$) | TIEMPO DE CONSTRUCCIÓN (días) | SALARIO /OBRA (\$) |
| Maestro | 2 | 16 | 30 | 480 |

| | | | | |
|-------------------|---|---|----|-----|
| Oficial | 1 | 8 | 20 | 160 |
| TOTAL (\$) | | | | 640 |

(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza F.)

Para obtener el valor de los costos indirectos sumamos los subtotales:

$$CI = CMU + CMO$$

Tabla 6.7: Costos indirectos

| COSTOS INDIRECTOS | |
|--------------------------|------------------|
| DESCRIPCIÓN | VALOR(\$) |
| CMU | 310 |
| CMO | 640 |
| TOTAL(\$) | 950 |

(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza F.)

6.5.2.3 Costo total (CT)

Para obtener el valor total para la construcción del secador de bandejas, sumamos los costos directos y los costos indirectos hallados anteriormente:

$$CT = CD + CI$$

Tabla 6.8: Costo total

| COSTO TOTAL (CT) | |
|-------------------------|------------------|
| DESCRIPCIÓN | VALOR(\$) |
| CD | 1389 |
| CI | 950 |
| TOTAL(\$) | 2339 |

(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza F.)

Previo al costo total obtenido, le aumentamos el 10%, dado que pueden ocurrir imprevistos mediante la elaboración del proyecto.

Tabla 6.9: Costo total final

| COSTOS TOTAL FINAL | |
|---------------------------|------------------|
| DESCRIPCIÓN | VALOR(\$) |
| TOTAL | 2339 |
| 10% | 233,9 |
| TOTAL(\$) | 2572,9 |

(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza F.)

El costo del secador estático de bandeja por radiación infrarroja es de \$2573

6.6 FUNDAMENTACIÓN

Mediante la investigación realizada en el capítulo II, se encuentran detallados las ecuaciones para el diseño del secador estático industrial de bandeja por radiación infrarroja, de manera que se acoplen los resultados de acorde a lo estudiado y propuesto con anterioridad, para el cual se realizará cálculos mecánicos y térmicos.

6.6.1 Cálculos mecánicos

Este diseño se enfocará a partir de las dimensiones que se encontraran dispuestas en el interior del secador, a partir de la longitud, ancho y altura tanto de las cubetas de cartón para huevos, como también las lámparas infrarrojas. Se tomará para el diseño del fondo del piso y la altura de la cámara de secado las siguientes dimensiones:

A: Largo cámara de secado = 0,6 m

B: Ancho cámara de secado = 1,8 m

C: Altura cámara de secado = 0,4 m

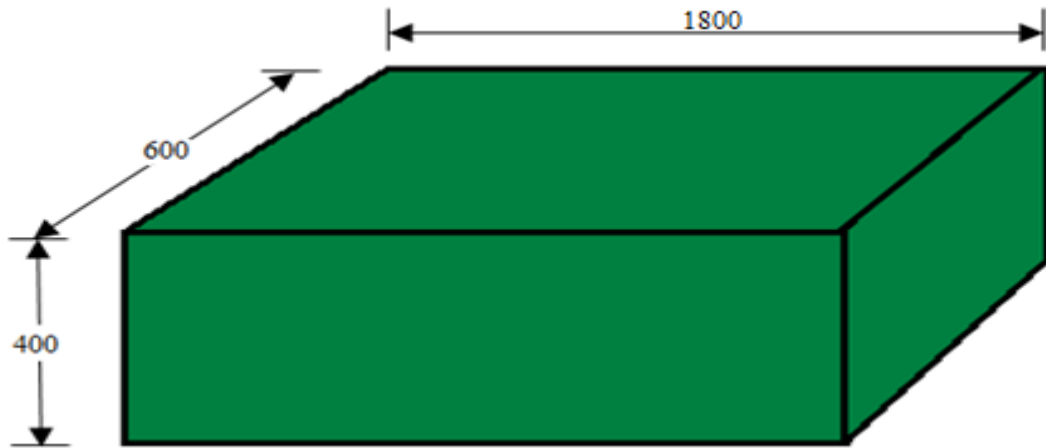


Figura 6.1: Dimensiones de la cámara de secado

(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza)

6.6.1.1 Espesor de pared

Este diseño parte de la determinación del volumen interior en la cámara de secado como se muestra a continuación:

$$V = A * B * C = 0,6 * 1,8 * 0,4 = 0,45 \text{ m}^3$$

La distribución de carga se tomará a partir de la masa del secador:

$$\rho_{\text{acero galv.}} = 1350 \text{ kg/m}^3$$

$$m = \rho * V = 1350 \text{ kg/m}^3 * 0,45 \text{ m}^3 = 607,5 \text{ kg}$$

Y la carga por unidad de área se determinará por la siguiente ecuación:

$$w = m / A * B = 607,5 / (0,6 * 1,8) = 656,1 \text{ kg/m}^2 = 6436,34 \text{ Pa}$$

A continuación se determina el esfuerzo de trabajo realizado en placa (s), este deberá ser menor o igual que el esfuerzo de diseño sugerido, por norma del instituto americano.

Tabla 6.10: Esfuerzo de diseño para placas de acero.

| Esfuerzo de fluencia (MPa) | Esfuerzo último (MPa) | Esfuerzo de diseño (MPa) |
|----------------------------|-----------------------|--------------------------|
| 250 | 400 | 160 |

(Fuente: Norma ASTM A-653)

$$s = \frac{1}{2} * \frac{a^2}{a^2 + b^2} * \frac{w * b^2}{t^2} \quad \text{Ec 6.1}$$

Donde:

s = esfuerzo de trabajo en placa [MPa]

a = lado mayor de cámara de secado [m]

b = lado de menor de cámara de secado [m]

w = carga distribuida [Pa]

t = espesor de placa asumido [m]

Para este cálculo se asumirá 3 espesores de pared, y se seleccionará el que se encuentre acorde a los requisitos:

- Con t = 1 mm

$$s = \frac{1}{2} * \frac{1,8^2}{1,8^2 + 0,4^2} * \frac{6436,34 * 0,4^2}{0,001^2}$$

$$s = 272,6 \text{ MPa}$$

El esfuerzo encontrado sobrepasa el límite del esfuerzo de diseño.

- Con t = 2 mm

$$s = \frac{1}{2} * \frac{1,8^2}{1,8^2 + 0,4^2} * \frac{6436,34 * 0,4^2}{0,002^2}$$

$$s = 145,33 \text{ MPa}$$

El esfuerzo encontrado es menor que el límite del esfuerzo de diseño.

- Con t = 1,4 mm

$$s = \frac{1}{2} * \frac{1,8^2}{1,8^2 + 0,4^2} * \frac{6436,34 * 0,4^2}{0,0014^2}$$

$$s = 150,34 \text{ MPa}$$

El esfuerzo encontrado de igual forma es menor al esfuerzo de diseño.

Dado que ambos espesores de 2 y 1,4 mm su esfuerzo de trabajo es menor que el esfuerzo de diseño sugerido por la norma; se seleccionará un espesor de pared de

1,4mm de acero galvanizado, debido a disminución de peso y costo para la adquisición de material.

6.6.2 Cálculos térmicos

Para el diseño del sistema se considera una serie de estructuras en las cuales el flujo de calor es unidimensional aproximadamente. Para que el tratamiento resulte aplicable, se someterá al tratamiento del flujo de calor a través de lámparas infrarrojas.

Se supondrá que el sistema está expuesto por el lado superior y paredes laterales a alta temperatura constante y conocida, y por el otro lado el inferior a temperatura baja constante y conocida de igual manera.

6.6.2.1 Cálculos de los coeficientes de convección forzada y radiación al interior del secador

CONVECCIÓN

Tabla 6.11: Datos de convección forzada

| Datos de convección forzada |
|--|
| $T_{\text{inicial}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ |
| $T_{\text{final}} = 65 \text{ }^{\circ}\text{C}$ |
| $\text{Vel} = 1 \text{ m/s}$ |

- Con $T_{\text{prom}} 316^{\circ}\text{K}$: Tenemos las siguientes propiedades del aire → Anexo1

$$\text{Viscosidad cinemática } (\nu) = 18,25 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{Numero de Prantl } (\text{Pr}) = 0,704$$

$$\text{Conductividad térmica } (k) = 0,0276 \text{ W/m }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Difusividad térmica } (\alpha) = 0,249 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

Tomando como referencia la ecuación 2.17 se hallará el número de Reynolds

$$\text{Número de Reynolds } (\text{Re}) = \frac{\text{Vel} * x}{\nu}$$

De acuerdo a la cámara interna del secador se tomará como la distancia x a la placa más larga del secador industrial que es de 1,8m.

$$Re = \frac{1 \text{ m/s} * 1,8 \text{ m}}{18,25 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Re = 98630,14$$

Para flujo turbulento de calor en placa calentada, se utilizará la ecuación 2.6 donde indica que, Nusselt (Nu) = $0,0296 Re^{4/5} * Pr^{1/3}$

$$Nu = h_c * L_c / k \quad \text{Ec. 6.2}$$

Donde:

h_c = coeficiente de convección térmica [W/m² °K]

L_c = longitud característica [m]

k = constante de conductividad térmica [W/m °K]

Igualando la ecuación 2.6 con la 6.2 tenemos:

$$h_c * L_c / k = 0,0296 Re^{4/5} * Pr^{1/3} \quad \text{Ec. 6.3}$$

Aplicando la ecuación de longitud caracterésística se tiene:

$$L_c = \frac{V}{A_s} \quad \text{Ec. 6.4}$$

Donde:

V = volumen [m³]

A_s = área superficial [m²]

$$L_c = \frac{0,45}{(1,8 * 0,6)}$$

$$L_c = 0,42\text{m}$$

Reemplazando en la ecuación 6.3 tenemos el coeficiente de convección forzada.

$$h_c = \frac{[0,0296 (98630,14)^{\frac{4}{5}} * (0.704)^{\frac{1}{3}}] * 0,0276 \text{ W/m } \sigma_C}{0.42 \text{ m}}$$

$$h_c = 17,14 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

RADIACIÓN

Tabla 6.12: Datos de radiación.

| Datos lámparas infrarrojas |
|--|
| $T_{\text{superficial}} = 100 \text{ } ^\circ\text{C}$ |
| $T_{\text{alred}} = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$ |
| Emisibilidad cartón húmedo (ϵ) = 0,95 → Anexo 5 |
| Constante de Stefan Boltzmann (σ) = $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$ |

Se determinará el coeficiente de radiación de calor se determina mediante la ecuación (2.9)

$$h_{\text{rad}} = \epsilon * \sigma * (T_s + T_{\text{alr}}) (T_s^2 + T_{\text{alr}}^2)$$

$$h_{\text{rad}} = 0,95 * 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}^4 * (373 + 313)^\circ\text{K} * (373^2 + 313^2)^\circ\text{K}^2$$

$$h_{\text{rad}} = 8,76 \text{ W/ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

6.6.2.2 Cálculo del coeficiente de convección libre o natural al exterior del secador

Para determinar el coeficiente de convección natural se tomará en cuenta las siguientes condiciones:

- Condiciones de estado estable
- Efectos de radiación insignificantes

Datos:

$$T_s = 30^\circ\text{C}$$

$$T_{\infty} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_f = \frac{T_s + T_{\infty}}{2} \quad \text{Ec. 6.5}$$

Donde:

T_s = temperatura a la superficie [$^{\circ}\text{C}$]

T_{∞} = temperatura del ambiente [$^{\circ}\text{C}$]

T_f = temperatura de película o promedio [$^{\circ}\text{C}$]

$$T_f = \frac{30 + 20}{2}$$

$$T_f = 25 \text{ }^{\circ}\text{C} = 298 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

Para calcular el coeficiente de convección natural se toma los siguientes datos a partir del anexo 1, interpolando valores a la temperatura de 298 $^{\circ}\text{K}$.

$$\text{Pr} = 0,709$$

$$k = 0,026 \text{ W/m }^{\circ}\text{K}$$

$$\alpha = 0.218 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\nu = 16,59 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = 3,356 \times 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{K}^{-1}$$

$$\text{Gr} = \frac{g * \beta (T_s - T_{\infty}) L^3}{\nu^2} \quad \text{Ec. 6.6}$$

Donde:

Gr = número de Grashof [adimensional]

g = aceleración de la gravedad [m/s^2]

β = coeficiente de expansión térmica [$^{\circ}\text{K}^{-1}$]

ν = viscosidad cinemática [m^2/s]

L = longitud característica [m]

$$Gr = \frac{9,8 * (3,356 \times 10^{-3}) (30 - 20) (0,4)^3}{(16,59 \times 10^{-6})^2}$$

$$Gr = 76,478 \times 10^6$$

$$Ra = Gr * Pr$$

Ec. 6.7

Donde:

Ra= número de Rayleigh [adimensional]

Pr= número de Prandtl [adimensional]

$$Ra = (76,478 \times 10^6) * 0,709$$

$$Ra = 54,223 \times 10^6$$

Considerando un flujo laminar se tiene la siguiente ecuación para el número de Nusselt:

$$Nu_L = 0,68 + \frac{0,67 Ra^{1/4}}{[1 + (\frac{0,492}{Pr})^{9/16}]^{4/9}} \quad \text{Ec. 6.8}$$

$$Nu_L = 0,68 + \frac{0,67 (54,223 \times 10^6)^{1/4}}{[1 + (\frac{0,492}{0,709})^{9/16}]^{4/9}}$$

$$Nu_L = 44,8$$

Coficiente de convección externa

$$h_a = \frac{Nu_L * k}{L}$$

$$h_a = \frac{44,8 * 0,026}{0,4}$$

$$h_a = 2,91 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$$

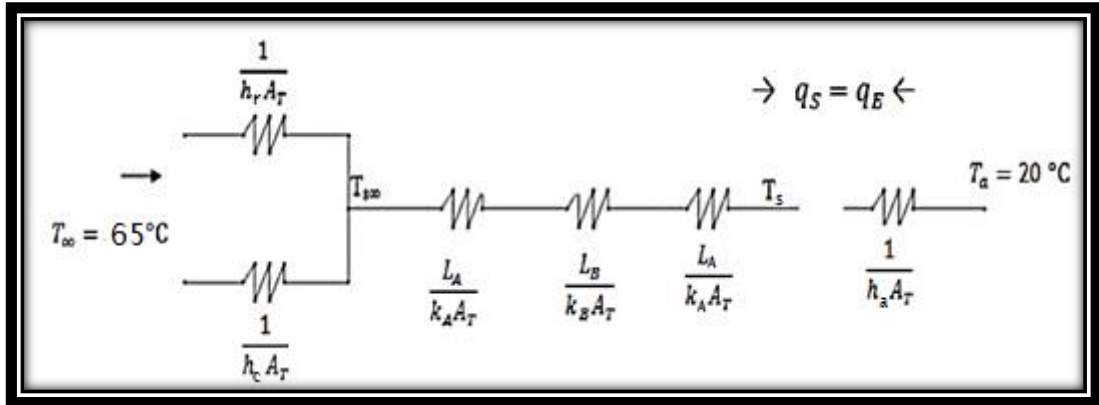


Figura 6.2: Circuito de resistencias térmicas para evaluar la temperatura superficial.

(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza)

$$q_{in} = q_{out}$$

Donde:

$$q_{in} = \text{calor que entra [W]}$$

$$q_{out} = \text{calor que sale [W]}$$

$$q_{in} = \frac{T_s - T_a}{\frac{1}{h_1 A_T}} \quad \text{Ec. 6.9}$$

Donde:

$$T_s = \text{temperatura entre la superficie y el ambiente [°K]}$$

$$T_a = \text{temperatura ambiente [°K]}$$

$$h_a = \text{coeficiente de convección externo [W/m}^2 \text{°K]}$$

$$A_T = \text{área [m}^2 \text{]}$$

$$q_{out} = \frac{T_{\infty} - T_s}{\left(\frac{1}{\frac{1}{h_c A_T} + \frac{1}{h_r A_T}} \right)^{-1} + \frac{L_A}{k_A A_T} + \frac{L_B}{k_B A_T} + \frac{L_A}{k_A A_T} + \frac{1}{h_a A_T}} \quad \text{Ec.6.10}$$

Donde:

h_c = coeficiente de convección interno [W/m²°K]

k_A = coeficiente de conducción térmica del acero galvanizado [W/m °K]

k_B = coeficiente de conducción térmica de la lana de vidrio [W/m °K]

L_A = espesor del acero galvanizado [m]

L_B = espesor de la lana de vidrio [m]

Al igualar las ecuaciones 6.9 y 6.10 se tiene:

$$\frac{T_s - T_a}{\frac{1}{h_a A_T}} = \frac{T_\infty - T_s}{\left(\frac{1}{\frac{1}{h_c A_T}} + \frac{1}{\frac{1}{h_r A_T}} \right)^{-1} + \frac{L_A}{k_A A_T} + \frac{L_B}{k_B A_T} + \frac{L_A}{k_A A_T}}$$

$$\frac{T_s - 293}{\frac{1}{2,91 * 5,33}} = \frac{338 - T_s}{\left(\frac{1}{\frac{1}{17,14 * 4,09}} + \frac{1}{\frac{1}{8,76 * 4,09}} \right)^{-1} + \frac{0,0014}{(46,5 * 4,11)} + \frac{0,05}{(0,046 * 5,29)} + \frac{0,0014}{(46,5 * 5,33)}}$$

$$T_s = 303,35 \text{ °K} = 30,35 \text{ °C} \rightarrow \text{Valor aproximado al asumido de } 30 \text{ °C}$$

6.6.2.3 Cálculo de calor requerido para secar las cubetas de cartón (Q_{carga})

La cantidad de calor que es necesaria para la calentar las cubetas de cartón se puede determinar a partir de un balance energético:

Tomando en cuenta el calor que hay que entregar a la cubeta de cartón húmeda, el calor para calentamiento de la bandeja que contiene las cubetas, la cantidad necesaria para que el aire circundante se caliente y el calor de evaporización del agua al considerar en este ensayo que las cubetas de cartón se encuentran húmedas, entonces se tiene:

$$Q_{\text{carga}} = Q_{\text{cub.cart}} + Q_{\text{band}} + Q_{\text{aire}} + Q_{\text{evp}} \quad \text{Ec. 6.11}$$

Donde:

Q_{carga} = calor requerido para calentar las cubetas de cartón. [J]

$Q_{\text{cub.cart}}$ = calor que absorbe el cartón. [J]

Q_{band} = calor que absorbe la bandeja. [J]

Q_{aire} = calor que necesita para calentar el aire circundante. [J]

Q_{evp} = calor de evaporización. [J]

Calor que absorbe el cartón ($Q_{\text{cub.cart}}$)

Considerando que el secador va a tener una carga de 1,6kg de humedad en las cubetas de cartón, se va a determinar el calor que absorberá esta carga con los siguientes datos:

Tabla 6.13: Datos de cubetas de cartón.

| Datos de cubetas de cartón de huevos |
|--|
| Dimensiones = 0.3m ancho * 0.3m largo * 0.05m altura |
| $T_{\text{inicial}} = 15^{\circ}\text{C}$ |
| $T_{\text{final}} = 65^{\circ}\text{C}$ |
| $m_{\text{cartón húmeda}} = 270\text{gr}$ |
| $m_{\text{cartón seco}} = 70\text{gr}$ |
| $C_{p\text{cartón}} = 1,259 \text{ kJ/kg }^{\circ}\text{C} \rightarrow \text{Anexo 6}$ |
| $C_{p\text{H}_2\text{O}} = 4,18 \text{ kJ/kg }^{\circ}\text{C} \rightarrow \text{Anexo 2}$ |
| Humedad existente aprox= 70% |
| Área = $0,09\text{m}^2$ |
| Emisividad(ϵ)= 0,95 |

Dado que la producción en fábrica avícola es de 8 cubetas de cartón en cada ciclo de mezcla a partir de material reciclado, se tomará una masa total de 2160 gramos.

$$Q_{\text{cub.cart}} = m_{\text{cart humed}} * C_{p\text{cartón}} * \Delta T$$

$$Q_{\text{cub.cart}} = (2,16 \text{ kg}) * (1,259 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}) * (50 ^\circ\text{C})$$

$$Q_{\text{cub.cart}} = 135,97 \text{ kJ}$$

Calor que absorbe la bandeja (Q_{band})

$$C_{p\text{band}} = 0,465 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} \rightarrow \text{Anexo 4}$$

$$Q_{\text{band}} = m_{\text{band}} * C_{p\text{band}} * \Delta T$$

$$Q_{\text{band}} = (5,6 \text{ kg}) * (0,465 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}) * (50 ^\circ\text{C})$$

$$Q_{\text{band}} = 130,2 \text{ kJ}$$

Calor que se necesita para calentar el aire circundante (Q_{aire})

Tomando en cuenta la tabla de las propiedades del aire, se considerará dos factores, primero que se tiene cambio de entalpía de aire de evaporización y segunda suponer que se tiene aire seco en el proceso de secado, entonces tomamos los siguientes datos:

Tabla 6.14: Datos del aire que rodea el secador.

| Datos del aire que rodea el secador |
|---|
| $T_{\text{ambiente}} = 20 ^\circ\text{C}$ |
| $R_{\text{aire}} = 0.287 \text{ KJ/kg } ^0\text{K}$ |
| $P_{\text{ATM}} = 78,02 \text{ KPa}$ |
| Humedad relativa (HR) = 60% |
| $C_{p\text{aire}} = 1,006 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} \rightarrow \text{Anexo 1}$ |
| $P_g = P_{\text{sat}} @ 20 ^\circ\text{C} = 2,339 \text{ kPa} \rightarrow \text{Anexo 5}$ |
| $h_g @ 20 ^\circ\text{C} = 2537,4 \text{ kJ/kg} \rightarrow \text{Anexo 5}$ |

- Presión de vapor $P_v = HR * P_{sat@ 20^\circ C} = 0,60 * 2,339 \text{ kPa}$

$$P_v = 1,403 \text{ kPa}$$

- Presión del aire seco $P_a = P_{ATM} - P_v = (78,02 - 1,403) \text{ kPa}$

$$P_a = 76,62 \text{ kPa}$$

Mediante la ecuación (2.11) se determinará la humedad específica existente alrededor de la cámara de secado.

$$\omega = 0,622 \frac{P_v}{P_a}$$

$$\omega = 0,622 \frac{1,403}{76,62}$$

$$\omega = 0,0183 \text{ kg H}_2\text{O} / \text{kg aire seco}$$

Para determinar la entalpía del aire por unidad de masa de aire seco se determinará a partir de la ecuación (2.12)

$$h_1 = C_p * T + \omega * h_g$$

$$h_1 = 1,006 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} * 20^\circ\text{C} + 0,0183 \text{ kg H}_2\text{O} / \text{kg aire seco} * 2537,4 \text{ kJ/kg}$$

$$h_1 = 66,55 \text{ kJ/ kg aire seco}$$

Tabla 6.15: Datos del aire en cámara de secado.

| Datos del aire en cámara de secado |
|---|
| $T_{cámara} = 65^\circ\text{C}$ |
| Humedad relativa (HR) = 50% |
| $C_{p_{aire}} = 1,009 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} \rightarrow \text{Anexo 1}$ |
| $P_g = P_{sat@ 65^\circ\text{C}} = 25,043 \text{ kPa} \rightarrow \text{Anexo 5}$ |
| $h_g@ 65^\circ\text{C} = 2617,5 \text{ kJ/kg} \rightarrow \text{Anexo 5}$ |

- Presión de vapor $P_v = HR * P_{sat@ 65^\circ C} = 0,50 * 25,043 \text{ kPa}$

$$P_v = 12,52 \text{ kPa}$$

- Presión del aire seco $P_a = P_{ATM} - P_v = (78,02 - 12,52) \text{ kPa}$

$$P_a = 65,5 \text{ kPa}$$

Mediante la ecuación (2.12) se determinará la humedad específica existente en la cámara de secado.

$$\omega = 0,622 \frac{P_v}{P_a}$$

$$\omega = 0,622 \frac{12,52}{65,5}$$

$$\omega = 0,11 \text{ kg H}_2\text{O} / \text{kg aire seco}$$

Para determinar la entalpía del aire por unidad de masa de aire seco se determinará a partir de la ecuación (2.13)

$$h_2 = C_p * T + \omega * h_g$$

$$h_2 = 1,009 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} * 65^\circ\text{C} + 0,11 \text{ kg H}_2\text{O} / \text{kg aire seco} * 2617,5 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 353,51 \text{ kJ/ kg aire seco}$$

Una vez halladas las entalpías tanto del aire que rodea el secador como el aire en el interior, se procede a determinar el calor necesario para calentar el aire.

- A una temperatura promedio de $43^\circ\text{C} = 316 \text{ } ^\circ\text{K} \rightarrow$ Anexo 1

$$\rho_{\text{aire}} = 1,1199 \text{ kg/m}^3$$

$$V_{\text{aire}} = (0,6) * (1,8) * (0,4) = 0,45 \text{ m}^3 \rightarrow \text{Datos de dimensiones de secador}$$

$$q_{\text{aire}} = \rho_{\text{aire}} * V_{\text{sec}} * (h_2 - h_1)$$

$$q_{\text{aire}} = 1,12 \text{ kg/m}^3 * 0,45 \text{ m}^3 (353,51 - 66,55) \text{ kJ/kg}$$

$$q_{1 \text{ aire}} = 144,63 \text{ kJ}$$

Y si suponemos que tenemos aire seco en el proceso de secado, se determina las entalpías de aire seco mediante tabla del Anexo 8.

En donde:

$$h_{1@65^{\circ}\text{C}} = 338,4\text{kJ/kg}$$

$$h_{2@20^{\circ}\text{C}} = 293,15\text{kJ/kg}$$

$$q_{\text{aire}} = \rho_{\text{aire}} * V_{\text{sec}} * (h_2 - h_1)$$

$$q_{\text{aire}} = 1,12 \text{ kg/m}^3 * 0,45 \text{ m}^3 (338,4 - 293,15) \text{ kJ/kg}$$

$$q_{2 \text{ aire}} = 22,81 \text{ kJ}$$

Para obtener un valor adecuado del calor para calentar el aire, se promediará q_1 y q_2 , obteniéndose el siguiente resultado:

$$q_{\text{aire}} = 83,72 \text{ kJ}$$

Calor de evaporización (Q_{evp})

Considerando que las cubetas de cartón se encuentran húmedas después del proceso de formación, y es necesario eliminar la humedad retenida en el cartón, por lo cual basándose en el peso tanto seco como húmedo, se determinó que hay que eliminar una cantidad de 0,2kg por cada cubeta de cartón, y tomando en cuenta que se someterán al secado 8 cubetas de cartón, el valor en masa de humedad que se debe remover en total es 1,6 kg; entonces:

$$m_{\text{evp}} = 1,6 \text{ kg}$$

$$Q_{\text{evp}} = Q_{\text{sen}} + Q_{\text{lat}} \quad \text{Ec. 6.12}$$

Donde:

$$q_{\text{sen}} = \text{Calor sensible [J]}$$

$$q_{\text{lat}} = \text{Calor latente [J]}$$

Cálculo de calor sensible (q_{sen})

$$q_{\text{sen}} = m_{\text{evp}} * C_{p_{\text{sen}}} * \Delta T$$

$$q_{\text{sen}} = (1,6\text{kg}) * (4,18 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}) * (50^\circ\text{C})$$

$$q_{\text{sen}} = 334,4 \text{ kJ}$$

Cálculo de calor latente

Adicionalmente se considera que el fluido existente tiene un comportamiento diferente cuando alcanza una temperatura en el que empieza a evaporizar a esa misma temperatura, llamado como calor latente, y que se lo considera térmicamente como h_{fg} , el dato se obtendrá de tabla en Anexo 5.

$$q_{\text{lat}} = m_{\text{evp}} * h_{\text{fg @ 65}}$$

$$q_{\text{lat}} = (1,6 \text{ kg}) * (2345,4 \text{ kJ/kg})$$

$$q_{\text{lat}} = 3752,64 \text{ kJ}$$

Entonces si reemplazamos en la ecuación 6.12 tenemos un calor de evaporización:

$$q_{\text{evp}} = (334,4 + 3752,64) \text{ kJ}$$

$$q_{\text{evp}} = 4087,04 \text{ kJ}$$

El calor requerido para calentarse y secarse las cubetas de cartón se obtiene al reemplazar en la ecuación 6.11:

$$Q_{\text{carga}} = Q_{\text{cub.cart}} + Q_{\text{band}} + Q_{\text{aire}} + Q_{\text{evp}}$$

$$q_{\text{carga}} = (135,97 + 130,2 + 83,72 + 4087,04) \text{ kJ}$$

$$q_{\text{carga}} = 4436,93 \text{ kJ}$$

Dado que el tiempo adecuado para el secado de las cubetas de cartón en prototipo fueron 25 minutos = 1500 segundos, entonces este valor se aplicará para hallar la potencia de carga.

$$Q_{\text{carga}} = 2,96 \text{ kW}$$

6.6.2.4 Cálculo de pérdidas de transferencia de calor a través de paredes y chimenea.

Pérdidas por paredes (q')

- Primero se procederá a calcular las áreas de transferencia de calor:

Datos de materiales utilizados en paredes

L_a = Espesor de acero galvanizado pared interior y exterior = 0,0014m

L_b = Espesor de lana de vidrio = 0.05m

| Datos de conducción |
|---|
| Constante de conductividad térmica $(k_c)_{\text{acero galv.}} = 46,5 \text{ W/m } ^\circ\text{C} \rightarrow$ Anexo 4 |
| Constante de conductividad térmica $(k_c)_{\text{lana de vid}} = 0,046 \text{ W/m } ^\circ\text{C} \rightarrow$ Anexo 7 |

Tabla 6.16 Datos de conducción

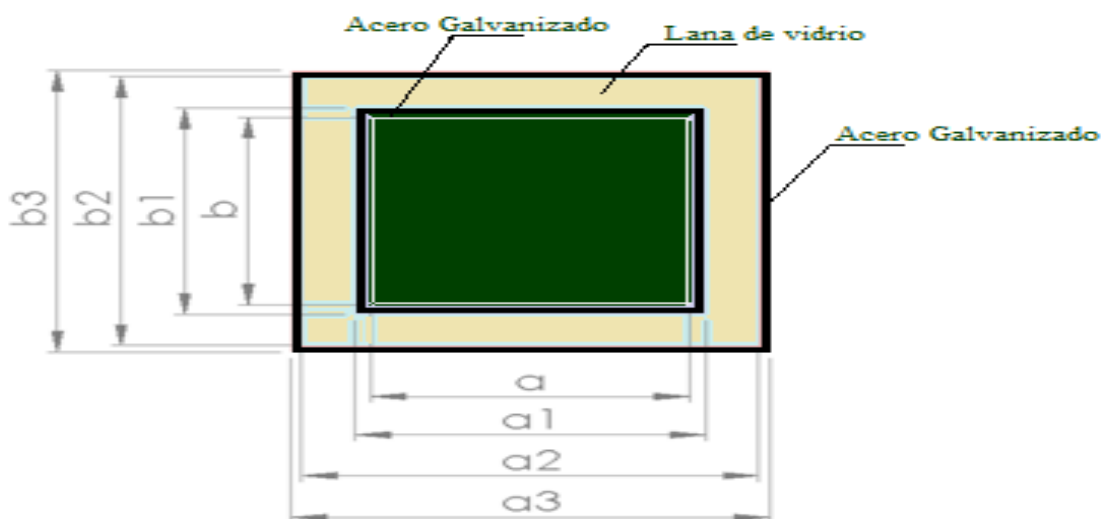


Figura 6.3: Vista frontal de pared del secador
(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza)

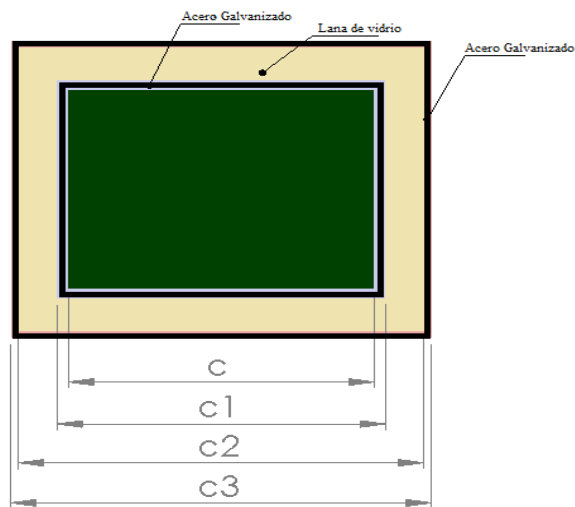


Figura 6.4: Vista lateral de pared del secador

(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza)

$$A = 2[(a \cdot c) + (b \cdot c) + (a \cdot b)]$$

Donde:

A = área inicial de la cámara de secado [m^2]

A_1 = área tomando el espesor del acero galvanizado interior [m^2]

A_2 = área tomando el espesor de la lana de vidrio [m^2]

A_3 = área tomando el espesor del acero galvanizado [m^2]

a = ancho de la cámara de secado = 1,8m

b = alto de la cámara de secado = 0,4m

c = profundidad de la cámara de secado = 0,6m

$$A = 2[(1,8 \cdot 0,6) + (0,4 \cdot 0,6) + (1,8 \cdot 0,4)]$$

$$A = 4,08m^2$$

Luego se procede a calcular las siguientes áreas sumando los espesores de los materiales, mostrados en las figuras 6.3 y 6.4.

$$A_1 = 2[(a_1 * c_1) + (b_1 * c_1) + (a_1 * b_1)]$$

$$A_1 = 2[(1,8028 * 0,6028) + (0,4028 * 0,6028) + (1,8028 * 0,4028)]$$

$$A_1 = 4,11\text{m}^2$$

$$A_2 = 2[(a_2 * c_2) + (b_2 * c_2) + (a_2 * b_2)]$$

$$A_2 = 2[(1,9028 * 0,7028) + (0,5028 * 0,7028) + (1,9028 * 0,5028)]$$

$$A_2 = 5,29\text{m}^2$$

$$A_3 = 2[(a_3 * c_3) + (b_3 * c_3) + (a_3 * b_3)]$$

$$A_3 = 2[(1,9056 * 0,7056) + (0,5056 * 0,7056) + (1,9056 * 0,5056)]$$

$$A_3 = 5,33\text{m}^2$$

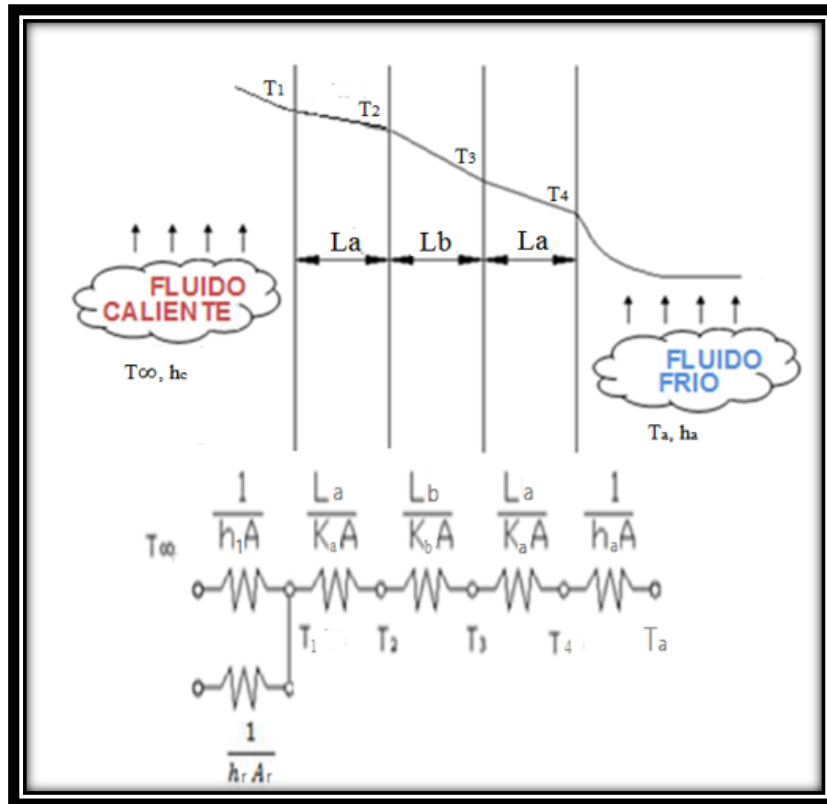


Figura 6.5: Circuito térmico equivalente de una pared compuesta en serie.

(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza)

$$q_x' = \frac{T_{\infty} - T_a}{\sum R_t}$$

$$q_x' = \frac{T_{\infty} - T_a}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5} \quad \text{Ec. 6.13}$$

Donde:

R_1 = resistencia térmica entre fluido caliente y la superficie cercana al fluido. [$^{\circ}\text{C}/\text{W}$]

$R_2 = R_4$ = resistencia térmica del acero galvanizado. [$^{\circ}\text{C}/\text{W}$]

R_3 = resistencia térmica de la lana de vidrio. [$^{\circ}\text{C}/\text{W}$]

R_5 = resistencia térmica entre fluido frío y la superficie exterior. [$^{\circ}\text{C}/\text{W}$]

$$R_{\text{Covecc}} = \frac{1}{h_c * A}$$

$$R_{\text{rad}} = \frac{1}{h_{\text{rad}} * A}$$

$$R_{\text{Covecc}} = \frac{1}{17,14 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ\text{C}} * 4,08 \text{ m}^2}$$

$$R_{\text{rad}} = \frac{1}{8,76 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ\text{C}} * 4,08 \text{ m}^2}$$

$$R_{\text{Covecc}} = 0,0143 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{\text{rad}} = 0,028 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_1 = \left(\frac{R_{\text{convec}} * R_{\text{rad}}}{R_{\text{convec}} + R_{\text{rad}}} \right)$$

$$R_1 = \left(\frac{0,0143 * 0,028}{0,0143 + 0,028} \right) \frac{\frac{\text{ } ^\circ\text{C}^2}{\text{W}^2}}{\frac{\text{ } ^\circ\text{C}}{\text{W}}}$$

$$R_1 = 0,00947 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_2 = \frac{L_a}{k_a * A_1}$$

$$R_2 = \frac{0,0014}{46,5 * 4,11}$$

$$R_2 = 7,325 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_3 = \frac{L_b}{k_b * A_2}$$

$$R_3 = \frac{0,05}{0,046 * 5,29}$$

$$R_3 = 0,205 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_4 = \frac{L_a}{k_a * A_3}$$

$$R_4 = \frac{0,0014}{46,5 * 5,33}$$

$$R_4 = 5,6487 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_5 = \frac{1}{h_a * A_3}$$

$$R_5 = \frac{1}{2,91 * 5,33}$$

$$R_5 = 0,0645 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Reemplazando resistencias encontradas en la ecuación 6.13 tenemos el calor perdido por paredes:

$$q_x' = \frac{65-17}{0,00947 + 7,325 \times 10^{-6} + 0,205 + 5,6487 \times 10^{-6} + 0,0645}$$

$$q_x' = 172,05 \text{ W} = 0,172 \text{ kW}$$

Perdidas por chimenea (q'')

Para poder tener una adecuada liberación de los gases, se determinará la sección de los agujeros de desfogue y de igual forma se tomará la velocidad y temperatura con que sale el aire, dando el siguiente resultado.

$$\text{Diámetro de salida} = 0,05 \text{ m} \rightarrow A = 2,04 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$V_{\text{sal. aire}} = 0,6 \text{ m/s}$$

$$T_{\text{out}} = 50^\circ\text{C} = 323^\circ\text{K}$$

$$R_{\text{aire}} = 0,287 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{k}$$

$$q'' = \dot{m} * h_{\text{aire-caliente}} \quad \text{Ec. 6.14}$$

$$h_{\text{aire-caliente}} = 323,3 \text{ kJ/kg} \rightarrow \text{Anexo 8}$$

De acuerdo con la ecuación de gas ideal, se determinará el flujo másico a la salida de la chimenea.

$$P \dot{v} = \dot{m} R T$$

$$P A v = \dot{m} R T$$

$$\dot{m} = \frac{78 * 2,04 * 10^{-3} * 0,6}{0,287 * 323}$$

$$\dot{m} = 1,03 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$$

Si reemplazamos el flujo másico en ecuación 6.14, tenemos la pérdida de calor por chimenea.

$$q'' = 1,03 \times 10^{-3} \text{ kg/s} * 323,3 \text{ kJ/kg}$$

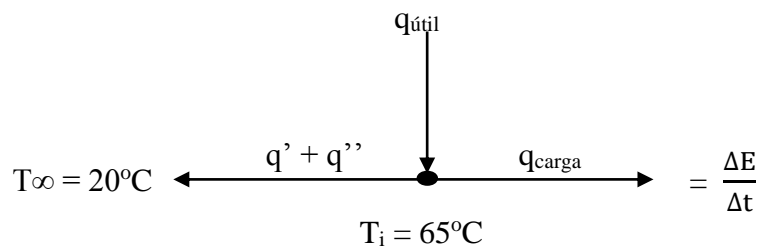
$$q'' = 0,332 \text{ kW}$$

6.6.2.5 Potencia calorífica del secador

La potencia que requiere el secador, es una función de la eficiencia del consumo calorífico y del tiempo. Estas variables se combinan en la siguiente ecuación:

Para determinar el útil o necesario para el secado de cubetas de cartón se va a realizar un balance de energía como se muestra a continuación:

$$E_{in} - E_{out} = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$



$$q_{\text{útil}} - (q' + q'') = q_{\text{carga}}$$

$$q_{\text{útil}} = q_{\text{carga}} + (q' + q'')$$

$$q_{\text{útil}} = 2,96 \text{ kW} + (0,332 \text{ kW} + 0,1128 \text{ kW})$$

$$q_{\text{útil}} = 3,4 \text{ kW}$$

Finalmente para determinar la potencia del secador (Ps), se incrementará un 10% de la potencia útil, debido a que pueden existir perdidas no cuantificables en el funcionamiento del secador, y por pérdidas generadas por la apertura de puertas.

$$P_s = q_{\text{útil}} + 10\% q_{\text{útil}}$$

$$P_s = 3,4 \text{ kW} + 0,34 \text{ kW}$$

$$P_s = 3,7 \text{ kW}$$

6.2.2.6 Dimensionamiento de la chimenea

Para este cálculo tomamos en cuenta la velocidad de salida de los gases de evaporización, la cual fue tomada con la ayuda del anemómetro. La siguiente ecuación permite evaluar la altura deseada por la misma.

$$v = \sqrt{4,43 k h \frac{T_i - T_a}{T_a}} \quad \text{Ec. 6.15}$$

Donde:

v = Velocidad del aire a la salida de chimenea [m/s]

Ta = Temperatura ambiente [°C]

Ti = Temperatura salida de gases [°C]

k = constante [0,3]

h = altura de la chimenea [m]

Despejando h, se tiene la siguiente ecuación:

$$h = \frac{v^2}{4,43 k \left(\frac{T_i - T_a}{T_a}\right)}$$

$$h = \frac{0,6^2}{4,43 * 0,3 \left(\frac{50 - 18}{18}\right)}$$

$$h = 0,10 \text{ m}$$

6.6.2.7 Eficiencia del secador (η)

Para calcular la eficiencia del secador, se determina de la siguiente manera:

$$\eta = \frac{Q_{carga}}{P_s + q_{pérdidas}} * 100\% \quad \text{Ec. 6.16}$$

$$\eta = \frac{2,96}{3,7 + 0,445} * 100\%$$

$$\eta = 71\%$$

6.6.3 Selección del ventilador

Para poder seleccionar el ventilador, se determinará el caudal del aire, al cual va estar sometido la cámara de secador, basado de la ecuación 2.16.

$$U = \text{Vel} * \text{Área de circulación de aire}$$

Primero se determina la velocidad corregida del ingreso del aire al interior de la cámara de secado.

Se tiene como datos para la velocidad de circulación del aire para secado de papel y cartón en un rango de 0,2 hasta 10 m/s, de acuerdo a capítulo anterior:

Tabla 6.17: Datos para la ventilación.

| |
|---|
| $V_{\text{ventilador}} = 0,4 \text{ m/s} \rightarrow$ De acuerdo a dimensiones del secador. |
| Factor de pérdidas (F_v) = 0,68 \rightarrow Ver anexo 10 |

Se determinará la velocidad corregida

$$V_c = V_{\text{ventilador}} * F_v$$

$$V_c = 0,4 \text{ m/s} * 0,68$$

$$V_c = 0,27 \text{ m/s}$$

A continuación se determina el área de circulación del aire:

- De acuerdo a que el aire circulará alrededor de las paredes de la cámara se tomara el área promedio de la pared lateral, la pared inferior y la posterior.

$$x = A + B + C$$

Donde:

x = área de circulación del aire [m²]
 A= área pared lateral o vertical [m²]
 B= área pared posterior [m²]
 C = área pared inferior [m²]

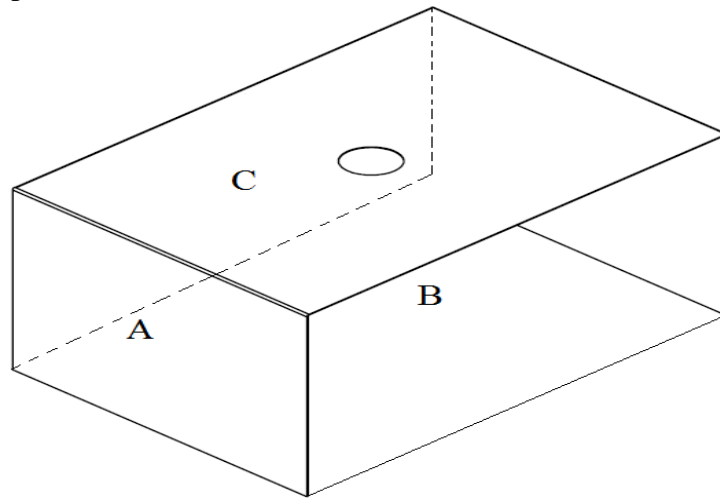


Figura 6.6 Configuración de paredes internas del secador para selección de ventilador.

(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza)

De acuerdo a dimensiones en figura 6.1 se hallará las áreas correspondientes:

$$A = 0,4 * 0,6 = 0,24\text{m}^2$$

$$B = 0,6 * 1,8 = 1,08\text{m}^2$$

$$C = 0,4 * 1,8 = 0,72 \text{ m}^2$$

$$x = 0,24 + 1,08 + 0,72$$

Se elegirá el área tomando un promedio de las áreas determinadas.

$$x = 0,68 \text{ m}^2$$

Una vez hallados los datos para calcular el caudal de ventilación para el secado del cartón, se halla lo siguiente:

$$U = 0,27 \text{ m/s} * 0,68\text{m}^2$$

$$U = 0,18 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$U = 381,4 = 380 \text{ CFM}$$

De acuerdo a especificaciones para selección de ventilador en anexo 10, se tomará el ventilador de acuerdo a dimensiones mostradas en el mismo:

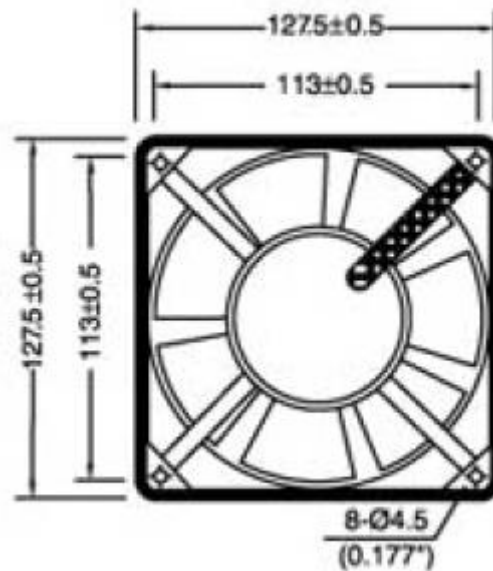


Figura 6.7 Dimensiones del ventilador seleccionado.
(Fuente: Company Fan Ventilador)

En la figura 6.7 indica las dimensiones del ventilador, en el que diámetro que se requiere para el ingreso del aire es de 120 mm aproximadamente, mediante la tabla del anexo 11 y de acuerdo con el caudal encontrado, se seleccionó este tipo de ventilador.

6.7 METODOLOGÍA

En base al estudio teórico, selección de materiales, diseño y cálculos realizados previos, se procedió a dar los pasos para construir en caso de requerir construcción del secador industrial, los pasos son similares al del prototipo de secador estático de bandeja por radiación infrarroja.



Figura 6.8: Prototipo de secador estático de bandeja por radiación infrarroja

(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza)

A continuación se describen los elementos tanto para la construcción mecánica como también para instalación eléctrica que conforma el secador:

6.7.1 Construcción de la cámara de secado

Para la construcción de la base interna de la cámara de secado se tomó las planchas de acero galvanizado, las cuales fueron moldeadas con la ayuda de la dobladora de tol, es aquí donde se someterán al calentamiento y secado las cubetas de cartón para huevos. Esta cámara está recubierta con lana de vidrio, para con esto reducir las pérdidas de calor por paredes, y de igual manera revestido con otra plancha de acero galvanizado exteriormente.

Tabla 6.18: Datos de la cámara de secado

| CÁMARA DE SECADO | |
|------------------|---------|
| Ancho | 1800 mm |
| Alto | 400 mm |
| Fondo | 600 mm |

| | |
|------------|--|
| Materiales | Acero galvanizado 1.4mm Lana de vidrio 50mm |
|------------|--|

(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza)



Figura 6.9: Base interna de la cámara de secado.

(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza)

A la base inferior se le realizaron 26 perforaciones, a una distancia considerable y de poco tamaño, las cuales sirven como des-aireadores, para esta manera no disipar en gran magnitud el calor generado por las lámparas y poder eliminar el vapor de agua, al des-humidificar las cubetas de cartón.

6.7.2 Construcción de las puertas de secador

Para la construcción de las puertas frontales se realizó casi el mismo procedimiento como la construcción de la base interior del secado, es decir se tomó la una mitad de la plancha de acero galvanizado, se le hizo los respectivos dobleces, de igual manera se le aisló térmicamente con la lana de vidrio; la única diferencia es que en cada puerta se le coloco unos visores de vidrio templado, para de este manera tener visibilidad del proceso de secado de las cubetas de cartón.

Tabla 6.19: Datos de las puertas del secador.

| PUERTAS DEL SECADOR | |
|----------------------------|--|
| Ancho | 950 mm/puerta |
| Alto | 280 mm/puerta |
| Fondo | 48 mm |
| Materiales | Acero galvanizado 1.4mm Lana de vidrio 50mm |

| | |
|--|----------------------------|
| | Vidrio templado (100x50)mm |
|--|----------------------------|

(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza)



Figura 6.10: Puerta del secador

(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza)

Para garantizar la sujeción entre ambas planchas de acero galvanizado de la puerta, se colocó un total de 20 remaches por cada puerta, consiguiendo así tener mayor estabilidad en las puertas por la dilatación térmica generada por el calor radiante de las lámparas infrarrojas.

6.7.3 Construcción de la bandeja

Para la construcción de la bandeja se utilizó un ángulo de acero A36, el cual fue cortado y soldado a las medidas internas de la cámara de secado, posteriormente el marco se soldó de igual manera con una malla metálica, que es la que soportará el peso de las cubetas de cartón húmedas para el secado.

Tabla 6.20: Datos de la bandeja del secador.

| BANDEJA | |
|----------------|--|
| Ancho | 1800 mm |
| Alto | 30 mm |
| Fondo | 600 mm |
| Materiales | Ángulo de acero A36 (20x2)'' Malla metálica (70*23,5)'' |

(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza)

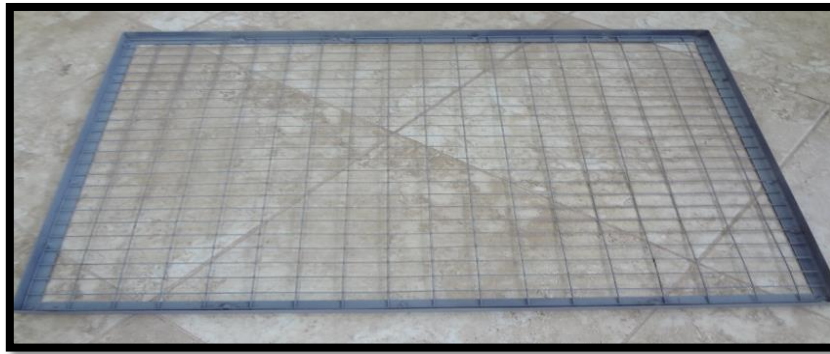


Figura 6.11: Bandeja del secador
(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza)

Para tener una adecuada circulación de aire y buen secado de las cubetas de cartón, la bandeja se la construyó con malla metálica.

6.7.4 Instalación de materiales eléctricos en secador

6.7.4.1 Lámparas infrarrojas y ventilador

Con el fin de garantizar las cubetas de cartón secas en un determinado tiempo, se ha procedido a colocar las lámparas en diferentes geometrías, es decir que incidan directamente de forma perpendicular y de forma lateral. De igual manera la ventilación se ha colocado en la parte superior de la cámara de secado con un difusor de aletas móviles para poder lograr distribuir el flujo de aire de manera uniforme dentro de la cámara de secado.

Tabla 6.21: Datos de las lámparas infrarrojas y ventilador.

| LÁMPARAS INFRARROJAS Y VENTILADOR | |
|--|--|
| Lámparas superiores | 2 de 250 W |
| Lámparas laterales | 3 de 150 W |
| Ventilador | 80 CFM a 110 V |
| Materiales | Lámparas de vidrio templado Ventilador de Aletas plásticas y marco de acero |

(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza)

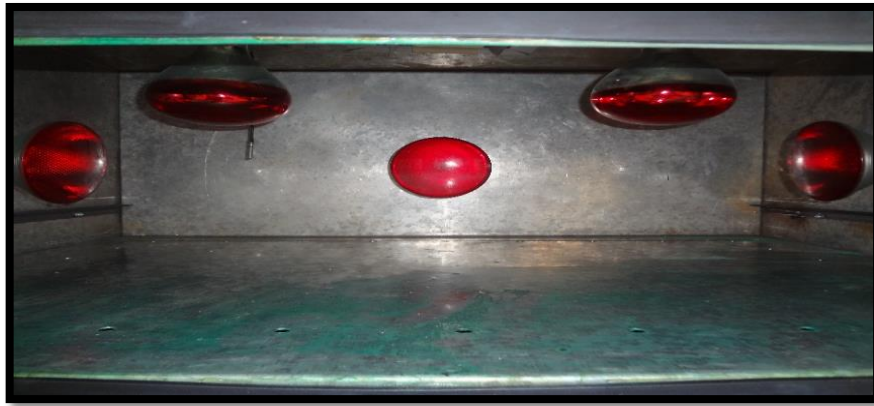


Figura 6.12: Configuración en cámara de las lámparas infrarrojas
(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza)

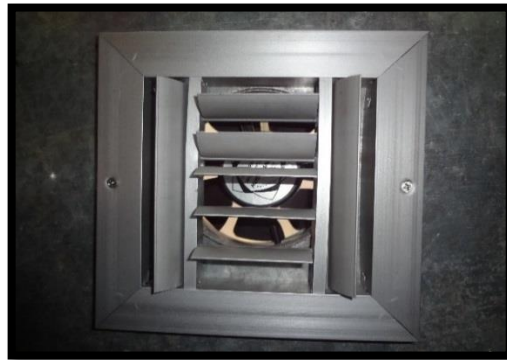


Figura 6.13: Ventilador y difusor de aletas móviles
(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza)

6.7.4.2 Controlador y sensor de temperatura

Para poder tomar datos de temperatura y poder controlar la temperatura máxima de calentamiento se ha colocado en el interior de la cámara un sensor que mide la temperatura, y si se fija una temperatura de control, es capaz de desactivar la fuente calorífica para impedir mayor calentamiento que el deseado, en este caso fue a los 65°C.

Tabla 6.22: Datos de controlador y sensor de temperatura.

| CONTROLADOR Y SENSOR DE TEMPERATURA | |
|--|------------------------------|
| Controlador | NA y NC hasta 8 A/220V -110V |
| Sensor | Rango de 0 a 105 °C |

(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza)

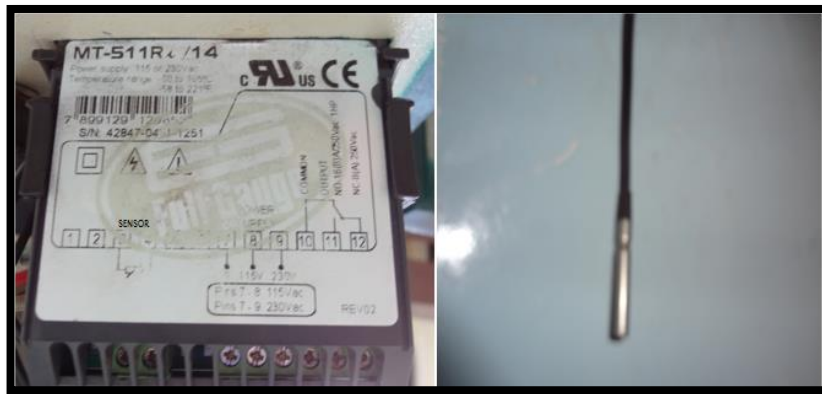


Figura 6.14: Controlador y sensor de temperatura
(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza)

6.7.4.3 Botoneras para accionamiento del secador

Finalmente se colocó botoneras para accionar cada uno de los componentes eléctricos que conforman el secador de forma manual, y como se había mencionado anteriormente el calentamiento puede ser de forma automática hasta una cierta temperatura y manual, con el fin de tener control de cualquier forma deseada para el calentamiento de las cubetas de cartón.



Figura 6.15: Botoneras de accionamiento del secador
(Fuente: Egdo. Juan Carlos Espinoza)

6.8 ADMINISTRACIÓN

Con la finalidad de mantener en óptimas condiciones el secador, hay que tomar mucha importancia acerca de la vida útil del prototipo, y por lo tanto es fundamental presentar un plan de mantenimiento.

6.8.1 Planeación

Se debe realizar un mantenimiento continuo, es decir después que se realice cada práctica; a continuación se presentan unos pasos a seguir que ayudarán a mantenerla:

- Se debe retirar el producto a secar una vez finalizado el proceso de secado, ya que de no hacerlo ocasionaría deterioro en paredes interiores de la cámara de secado debido a la mínima humedad retenida en el producto, ocasionando con esto oxidación con el paso de tiempo.
- El secador se encuentra provisto de un sensor el cual mide la temperatura interior de la cámara, es necesario limpiarlo después de cada práctica, ya que de no hacerlo podría marcar datos erróneos de temperatura con el transcurso de la vida útil del secador.
- Verificar de vez en cuando las conexiones eléctricas, observando que estas no presenten desprendimientos del material aislante por cambios de temperatura, ya que de no hacerlo puede ocasionar corto circuito ocasionando el daño de componentes eléctricos y/o causar accidentes.
- Limpiar adecuadamente el secador cada mes aproximadamente tanto interior como exteriormente, y de esta forma prolongar la vida útil de componentes eléctricos y mecánicos.
- Antes de accionar el ventilador en cada práctica, observar que no se encuentren objetos extraños que impidan la rotación y ventilación correcta del mismo.
- Las lámparas infrarrojas están provistas de 1000 horas uso, por tanto es aconsejable tener lámparas de repuesto para agilizar la práctica en caso de que éstas ya no funcionen.

6.8.2 Organización

Para obtener resultados favorables en cada práctica de secado, se debe controlar la temperatura conforme a lo requerido, para de esta forma no exceder ni perjudicar en las propiedades del producto a secar; por lo que el secador se encuentra provisto de un controlador y sensor de temperatura, el cual se puede fijar una temperatura

máxima de calentamiento en un tiempo favorable, de acuerdo a cada ensayo, con la finalidad de evitar daños en dicho producto.

6.8.3 Dirección

Durante cada práctica o ensayo que se utilice el secador, este debe ser manipulado y dirigido por una persona que conozca el funcionamiento y la aplicación del mismo, de tal forma que para este caso puede ser el ayudante de laboratorio a quien se le indicará el uso y funcionamiento.

6.8.4 Control

Durante el transcurso de la práctica se necesita controlar el funcionamiento tanto del secador en sí, y de la parte eléctrica que es la que controla la temperatura de calentamiento, en caso de presentarse algún inconveniente o fallo de la máquina, el ayudante de laboratorio debe informar al ingeniero que dirigió la práctica, para de este modo presentar algún tipo de solución.

6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN

Con la finalidad de exponer las mejoras para la propuesta, el objetivo principal de la previsión de la evaluación es presentar los resultados obtenidos durante las pruebas de secado y finalmente exponer las observaciones técnicas de la propuesta.

6.9.1 Mejoras para la propuesta

Para poder tener mejoras del secador por radiación infrarroja, se pueden realizar investigaciones posteriores, con el fin de mejorar los tiempos de secado y mejor calentamiento de la cámara de secado. A continuación se presentan algunas mejoras:

- Se puede colocar algún tipo de material refractario en las paredes laterales y en la pared inferior de la cámara, para que los rayos que inciden de las lámparas refracten al material a secar, y con esto disminuir en el tiempo de secado.

- En caso de disponer lámparas infrarrojas tipo tubo, sería de gran ayuda para el secado, ya que su área de incidencia para el calentamiento aumentaría, y con esto poder disminuir el tiempo de secado.
- En caso de desear tomar datos de secado de manera directa al computador, se puede adquirir otro tipo de controlador más avanzado, que permita y facilite la tabulación de datos de secado, temperatura, humedad relativa entre otros.

BIBLIOGRAFÍA

1.- Libros

- TORRASPAPEL, (2008). Fabricación del papel
- HOLMAN, J. (2008). Transferencia de calor. Octava edición.
- INCROPERA, Frank P. (1999). Fundamentos de Transferencia de calor. Cuarta edición.
- REMIREZ, Raúl. (2011). Fórmulas y tablas. Universidad de Navara
- GREENPEACE. (2006). Secado y acondicionamiento del aire.
- CENGEL, Yunus A. (2006). Termodinámica. Quinta edición
- AMUNDARAIN, José. Tesis. (2002). Diseño y Simulación de una Máquina Peladora de Piña. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería. Mecánica.
- CENGEL, Y. A. (2007). Transferencia de Calor y Masa. Cuarta edición.
- MOTT, Robert L. (2004). Mecánica de Fluidos aplicada. Cuarta edición.
- INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. (1986). NTE 1397. Papeles y cartones. Determinación de la Humedad.
- NARANJO, Galo. (2004). Tutoría de Investigación Científica. Segunda edición.
- INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. (1981). Código de Dibujo Técnico – Mecánico. Serie de Normalización 009

2.- Internet

- <http://www.investigacionaccion.com.ar/catedragalan/trabajos/1339813213.pdf>
- <http://www.torraspapel.com/Conocimiento%20Tcnico/FormacionFabriFormacionFa.pdf>
- <http://www.ciq.uchile.cl/operaciones/PDF/QF/clases/SECADO%20Y%20ACONDICIONAMIACON%20DE%20AIRE.pdf>
- http://www.hornosindustriales.cl/info_site/Radiacion_infrarroja.pdf

ALEXOS

ANEXO 1

AIRE

| Temperatura °K | Densidad ρ (Kg/m ³) | Calor específico c_p kJ/Kg°C | Visc. dinám. $\eta \cdot 10^5$ (Kg/m.seg) | Visc. cinem. $\nu \cdot 10^6$ (m ² /seg) | Conductiv. térmica "k" W/m°C | Dif. térmica $\alpha \cdot 10^4$ (m ² /seg) | Pr |
|-------------------|---|--------------------------------------|---|---|------------------------------------|--|-------|
| 100 | 3,6010 | 1,027 | 0,692 | 1,92 | 0,0092 | 0,0250 | 0,770 |
| 150 | 2,3675 | 1,010 | 1,028 | 4,34 | 0,0137 | 0,0575 | 0,753 |
| 200 | 1,7684 | 1,006 | 1,329 | 7,49 | 0,0181 | 0,1017 | 0,739 |
| 250 | 1,4128 | 1,005 | 1,488 | 10,53 | 0,0223 | 0,1316 | 0,722 |
| 300 | 1,1774 | 1,006 | 1,983 | 16,84 | 0,0262 | 0,2216 | 0,708 |
| 350 | 0,9980 | 1,009 | 2,075 | 20,76 | 0,0300 | 0,2983 | 0,697 |
| 400 | 0,8826 | 1,014 | 2,286 | 25,90 | 0,0336 | 0,3760 | 0,689 |
| 450 | 0,7833 | 1,021 | 2,484 | 31,71 | 0,0371 | 0,4222 | 0,683 |
| 500 | 0,7048 | 1,030 | 2,671 | 37,90 | 0,0404 | 0,5564 | 0,680 |
| 550 | 0,6423 | 1,039 | 2,848 | 44,34 | 0,0436 | 0,6532 | 0,680 |
| 600 | 0,5879 | 1,055 | 3,018 | 51,34 | 0,0466 | 0,7512 | 0,680 |
| 650 | 0,5430 | 1,063 | 3,177 | 58,51 | 0,0495 | 0,8578 | 0,682 |
| 700 | 0,5030 | 1,075 | 3,332 | 66,25 | 0,0523 | 0,9672 | 0,684 |
| 750 | 0,4709 | 1,086 | 3,481 | 73,91 | 0,0551 | 1,0774 | 0,686 |
| 800 | 0,4405 | 1,098 | 3,625 | 82,29 | 0,0578 | 1,1981 | 0,689 |
| 850 | 0,4149 | 1,109 | 3,765 | 90,75 | 0,0603 | 1,3097 | 0,692 |
| 900 | 0,3925 | 1,121 | 3,899 | 99,30 | 0,0628 | 1,4271 | 0,696 |
| 950 | 0,3716 | 1,132 | 4,023 | 108,20 | 0,0653 | 1,5510 | 0,699 |
| 1000 | 0,3524 | 1,142 | 4,152 | 117,80 | 0,0675 | 1,6779 | 0,702 |
| 1100 | 0,3204 | 1,160 | 4,440 | 138,60 | 0,0732 | 1,9690 | 0,704 |
| 1200 | 0,2947 | 1,179 | 4,690 | 159,10 | 0,0782 | 2,2510 | 0,707 |
| 1300 | 0,2707 | 1,197 | 4,930 | 182,10 | 0,0837 | 2,5830 | 0,705 |
| 1400 | 0,2515 | 1,214 | 5,170 | 205,50 | 0,0891 | 2,9200 | 0,705 |
| 1500 | 0,2355 | 1,230 | 5,400 | 229,10 | 0,0946 | 3,2620 | 0,705 |
| 1600 | 0,2211 | 1,248 | 5,630 | 254,50 | 0,1000 | 3,6090 | 0,705 |
| 1700 | 0,2082 | 1,267 | 5,850 | 280,50 | 0,1050 | 3,9770 | 0,705 |
| 1800 | 0,1970 | 1,287 | 6,070 | 308,10 | 0,1110 | 4,3790 | 0,704 |
| 1900 | 0,1858 | 1,309 | 6,290 | 338,50 | 0,1170 | 4,8110 | 0,704 |
| 2000 | 0,1762 | 1,338 | 6,500 | 369,00 | 0,1240 | 5,2600 | 0,702 |
| 2100 | 0,1682 | 1,372 | 6,720 | 399,60 | 0,1310 | 5,7150 | 0,700 |
| 2200 | 0,1602 | 1,419 | 6,930 | 432,60 | 0,1390 | 6,1200 | 0,707 |
| 2300 | 0,1538 | 1,482 | 7,140 | 464,00 | 0,1490 | 6,5400 | 0,710 |
| 2400 | 0,1458 | 1,574 | 7,350 | 504,00 | 0,1610 | 7,0200 | 0,718 |
| 2500 | 0,1394 | 1,688 | 7,570 | 543,50 | 0,1750 | 7,4410 | 0,730 |

Propiedades térmicas del aire

(Fuente: HOLMAN, Transferencia de calor)

ANEXO 2

Propiedades del agua saturada

| Temp. T, °C | Presión de saturación P_{sat} , kPa | Densidad ρ , kg/m ³ | | Entalpia de vaporización h_{fg} , kJ/kg | Calor específico c_p , J/kg · K | | Conductividad térmica k , W/m · K | | Viscosidad dinámica μ , kg/m · s | | Número de Prandtl Pr | | Coeficiente de expansión volumétrica β , 1/K |
|----------------|--|--|--------|--|--------------------------------------|-------|--|--------|---|------------------------|---------------------------|-------|---|
| | | Líquido | Vapor | | Líquido | Vapor | Líquido | Vapor | Líquido | Vapor | Líquido | Vapor | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 0.01 | 0.6113 | 999.8 | 0.0048 | 2501 | 4217 | 1854 | 0.561 | 0.0171 | 1.792×10^{-3} | 0.922×10^{-5} | 13.5 | 1.00 | -0.068×10^{-3} |
| 5 | 0.8721 | 999.9 | 0.0068 | 2490 | 4205 | 1857 | 0.571 | 0.0173 | 1.519×10^{-3} | 0.934×10^{-5} | 11.2 | 1.00 | 0.015×10^{-3} |
| 10 | 1.2276 | 999.7 | 0.0094 | 2478 | 4194 | 1862 | 0.580 | 0.0176 | 1.307×10^{-3} | 0.946×10^{-5} | 9.45 | 1.00 | 0.733×10^{-3} |
| 15 | 1.7051 | 999.1 | 0.0128 | 2466 | 4186 | 1863 | 0.589 | 0.0179 | 1.138×10^{-3} | 0.959×10^{-5} | 8.09 | 1.00 | 0.138×10^{-3} |
| 20 | 2.339 | 998.0 | 0.0173 | 2454 | 4182 | 1867 | 0.598 | 0.0182 | 1.002×10^{-3} | 0.973×10^{-5} | 7.01 | 1.00 | 0.195×10^{-3} |
| 25 | 3.169 | 997.0 | 0.0231 | 2442 | 4180 | 1870 | 0.607 | 0.0186 | 0.891×10^{-3} | 0.987×10^{-5} | 6.14 | 1.00 | 0.247×10^{-3} |
| 30 | 4.246 | 996.0 | 0.0304 | 2431 | 4178 | 1875 | 0.615 | 0.0189 | 0.798×10^{-3} | 1.001×10^{-5} | 5.42 | 1.00 | 0.294×10^{-3} |
| 35 | 5.628 | 994.0 | 0.0397 | 2419 | 4178 | 1880 | 0.623 | 0.0192 | 0.720×10^{-3} | 1.016×10^{-5} | 4.83 | 1.00 | 0.337×10^{-3} |
| 40 | 7.384 | 992.1 | 0.0512 | 2407 | 4179 | 1885 | 0.631 | 0.0196 | 0.653×10^{-3} | 1.031×10^{-5} | 4.32 | 1.00 | 0.377×10^{-3} |
| 45 | 9.593 | 990.1 | 0.0655 | 2395 | 4180 | 1892 | 0.637 | 0.0200 | 0.596×10^{-3} | 1.046×10^{-5} | 3.91 | 1.00 | 0.415×10^{-3} |
| 50 | 12.35 | 988.1 | 0.0831 | 2383 | 4181 | 1900 | 0.644 | 0.0204 | 0.547×10^{-3} | 1.062×10^{-5} | 3.55 | 1.00 | 0.451×10^{-3} |
| 55 | 15.76 | 985.2 | 0.1045 | 2371 | 4183 | 1908 | 0.649 | 0.0208 | 0.504×10^{-3} | 1.077×10^{-5} | 3.25 | 1.00 | 0.484×10^{-3} |
| 60 | 19.94 | 981.3 | 0.1304 | 2359 | 4185 | 1916 | 0.654 | 0.0212 | 0.467×10^{-3} | 1.093×10^{-5} | 2.99 | 1.00 | 0.517×10^{-3} |
| 65 | 25.03 | 980.4 | 0.1614 | 2346 | 4187 | 1926 | 0.659 | 0.0216 | 0.433×10^{-3} | 1.110×10^{-5} | 2.75 | 1.00 | 0.548×10^{-3} |
| 70 | 31.19 | 977.5 | 0.1983 | 2334 | 4190 | 1936 | 0.663 | 0.0221 | 0.404×10^{-3} | 1.126×10^{-5} | 2.55 | 1.00 | 0.578×10^{-3} |
| 75 | 38.58 | 974.7 | 0.2421 | 2321 | 4193 | 1948 | 0.667 | 0.0225 | 0.378×10^{-3} | 1.142×10^{-5} | 2.38 | 1.00 | 0.607×10^{-3} |
| 80 | 47.39 | 971.8 | 0.2935 | 2309 | 4197 | 1962 | 0.670 | 0.0230 | 0.355×10^{-3} | 1.159×10^{-5} | 2.22 | 1.00 | 0.633×10^{-3} |
| 85 | 57.83 | 968.1 | 0.3536 | 2296 | 4201 | 1977 | 0.673 | 0.0235 | 0.333×10^{-3} | 1.176×10^{-5} | 2.08 | 1.00 | 0.670×10^{-3} |
| 90 | 70.14 | 965.3 | 0.4235 | 2283 | 4206 | 1993 | 0.675 | 0.0240 | 0.315×10^{-3} | 1.193×10^{-5} | 1.96 | 1.00 | 0.702×10^{-3} |
| 95 | 84.55 | 961.5 | 0.5045 | 2270 | 4212 | 2010 | 0.677 | 0.0246 | 0.297×10^{-3} | 1.210×10^{-5} | 1.85 | 1.00 | 0.716×10^{-3} |
| 100 | 101.33 | 957.9 | 0.5978 | 2257 | 4217 | 2029 | 0.679 | 0.0251 | 0.282×10^{-3} | 1.227×10^{-5} | 1.75 | 1.00 | 0.750×10^{-3} |
| 110 | 143.27 | 950.6 | 0.8263 | 2230 | 4229 | 2071 | 0.682 | 0.0262 | 0.255×10^{-3} | 1.261×10^{-5} | 1.58 | 1.00 | 0.798×10^{-3} |
| 120 | 198.53 | 943.4 | 1.121 | 2203 | 4244 | 2120 | 0.683 | 0.0275 | 0.232×10^{-3} | 1.296×10^{-5} | 1.44 | 1.00 | 0.858×10^{-3} |
| 130 | 270.1 | 934.6 | 1.496 | 2174 | 4263 | 2177 | 0.684 | 0.0288 | 0.213×10^{-3} | 1.330×10^{-5} | 1.33 | 1.01 | 0.913×10^{-3} |
| 140 | 361.3 | 921.7 | 1.965 | 2145 | 4286 | 2244 | 0.683 | 0.0301 | 0.197×10^{-3} | 1.365×10^{-5} | 1.24 | 1.02 | 0.970×10^{-3} |
| 150 | 475.8 | 916.6 | 2.546 | 2114 | 4311 | 2314 | 0.682 | 0.0316 | 0.183×10^{-3} | 1.399×10^{-5} | 1.16 | 1.02 | 1.025×10^{-3} |
| 160 | 617.8 | 907.4 | 3.256 | 2083 | 4340 | 2420 | 0.680 | 0.0331 | 0.170×10^{-3} | 1.434×10^{-5} | 1.09 | 1.05 | 1.145×10^{-3} |
| 170 | 791.7 | 897.7 | 4.119 | 2050 | 4370 | 2490 | 0.677 | 0.0347 | 0.160×10^{-3} | 1.468×10^{-5} | 1.03 | 1.05 | 1.178×10^{-3} |
| 180 | 1,002.1 | 887.3 | 5.153 | 2015 | 4410 | 2590 | 0.673 | 0.0364 | 0.150×10^{-3} | 1.502×10^{-5} | 0.983 | 1.07 | 1.210×10^{-3} |
| 190 | 1,254.4 | 876.4 | 6.388 | 1979 | 4460 | 2710 | 0.669 | 0.0382 | 0.142×10^{-3} | 1.537×10^{-5} | 0.947 | 1.09 | 1.280×10^{-3} |
| 200 | 1,553.8 | 864.3 | 7.852 | 1941 | 4500 | 2840 | 0.663 | 0.0401 | 0.134×10^{-3} | 1.571×10^{-5} | 0.910 | 1.11 | 1.350×10^{-3} |
| 220 | 2,318 | 840.3 | 11.60 | 1859 | 4610 | 3110 | 0.650 | 0.0442 | 0.122×10^{-3} | 1.641×10^{-5} | 0.865 | 1.15 | 1.520×10^{-3} |
| 240 | 3,344 | 813.7 | 16.73 | 1767 | 4760 | 3520 | 0.632 | 0.0487 | 0.111×10^{-3} | 1.712×10^{-5} | 0.836 | 1.24 | 1.720×10^{-3} |
| 260 | 4,688 | 783.7 | 23.69 | 1663 | 4970 | 4070 | 0.609 | 0.0540 | 0.102×10^{-3} | 1.788×10^{-5} | 0.832 | 1.35 | 2.000×10^{-3} |
| 280 | 6,412 | 750.8 | 33.15 | 1544 | 5280 | 4835 | 0.581 | 0.0605 | 0.094×10^{-3} | 1.870×10^{-5} | 0.854 | 1.49 | 2.380×10^{-3} |

Propiedades térmicas del agua saturada

(Fuente: INCROPERA, Fundamentos de transferencia de calor)

ANEXO 3

TABLA A.1 Propiedades termofísicas de sólidos metálicos seleccionados*

| Composición | Punto de fusión (K) | Propiedades a 300 K | | | | Propiedades a varias temperaturas (K) | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---------------------|-----------------------------|------------------|---------------|---|---------------------------------------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|--|--|--|--|--|
| | | ρ (kg/m ³) | c_p (J/kg · K) | k (W/m · K) | $\alpha \cdot 10^4$ (m ² /s) | k (W/m · K), c_p (J/kg · K) | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | 100 | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 1200 | 1500 | 2000 | 2500 | | | | | |
| Aceros | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| puro | 1810 | 7870 | 447 | 80.2 | 23.1 | 134 | 94.0 | 69.5 | 54.7 | 43.3 | 32.8 | 28.3 | 32.1 | | | | | | | |
| Aceros al carbono | | | | | | 216 | 384 | 490 | 574 | 680 | 975 | 609 | 654 | | | | | | | |
| Carbono ordinario (Mn ≤ 1%, Si ≤ 0.1%) | | 7854 | 434 | 60.5 | 17.7 | | | 56.7 | 48.0 | 39.2 | 30.0 | | | | | | | | | |
| AISI 1010 | | 7832 | 434 | 63.9 | 18.8 | | | 58.7 | 48.8 | 39.2 | 31.3 | | | | | | | | | |
| Carbono-silicio (Mn ≤ 1%, 0.1% < Si ≤ 0.6%) | | 7817 | 446 | 51.9 | 14.9 | | | 48.7 | 55.9 | 68.5 | 116.8 | | | | | | | | | |
| Carbono-manganeso-silicio (1% < Mn ≤ 1.65%, 0.1% < Si ≤ 0.6%) | | 8131 | 434 | 41.0 | 11.6 | | | 49.8 | 44.0 | 37.4 | 29.3 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | 501 | 582 | 679 | 971 | | | | | | | | | |
| Aceros con cromo (bajo) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 Cr-1 Mo-Si (0.18% C, 0.65% Cr, 0.23% Mo, 0.6% Si) | | 7822 | 444 | 37.7 | 10.9 | | | 42.2 | 39.7 | 35.0 | 27.6 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | 48.7 | 55.9 | 68.5 | 109.0 | | | | | | | | | |
| 1 Cr-1 Mo (0.16% C, 1% Cr, 0.54% Mo, 0.39% Si) | | 7858 | 442 | 42.3 | 12.2 | | | 38.2 | 36.7 | 33.3 | 26.9 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | 49.2 | 57.5 | 68.8 | 96.9 | | | | | | | | | |
| 1 Cr-V (0.2% C, 1.02% Cr, 0.15% V) | | 7836 | 443 | 48.9 | 14.1 | | | 42.0 | 39.1 | 34.5 | 27.4 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | 49.2 | 57.5 | 68.8 | 96.9 | | | | | | | | | |
| Aceros inoxidables | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| AISI 302 | | 8055 | 480 | 15.1 | 3.91 | | | 17.3 | 20.0 | 22.8 | 25.4 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | 51.2 | 55.9 | 58.5 | 60.6 | | | | | | | | | |
| AISI 304 | 1670 | 7900 | 477 | 14.9 | 3.95 | 9.2 | 12.6 | 16.6 | 19.8 | 22.6 | 25.4 | 28.0 | 31.7 | | | | | | | |
| | | | | | | 27.2 | 40.2 | 51.5 | 55.7 | 58.2 | 61.1 | 64.0 | 68.2 | | | | | | | |
| AISI 316 | | 8238 | 468 | 13.4 | 3.48 | | | 15.2 | 18.3 | 21.3 | 24.2 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | 50.4 | 55.0 | 57.6 | 60.2 | | | | | | | | | |
| AISI 317 | | 7978 | 480 | 14.2 | 3.71 | | | 15.8 | 18.9 | 21.9 | 24.7 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | 51.3 | 55.9 | 58.5 | 60.6 | | | | | | | | | |

Propiedades termo físicas de materiales metálicos

(Fuente: INCROPERA, Fundamentos de transferencia de calor)

ANEXO 4

Apéndice A ECG

Tabla A-2 Valores de propiedades para metales*

| Metal | Propiedades a 20 °C | | | | Conductividad térmica k W/m. °C | | | | | | | | | | |
|--|------------------------|--------------------------------|------------------|--|---------------------------------|---------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--|
| | A kg m ³ | c _p kJ/ kg °C | A, W/ m °C | α, m ² /s x 10 ⁴ | -100 °C -148 °F | 0 °C 32 °F | 100 °C 212 °F | 200 °C 392 °F | 300 °C 572 °F | 400 °C 752 °F | 600 °C 1112 °F | 800 °C 1472 °F | 1000 °C 1832 °F | 1200 °C 2192 °F | |
| Aluminio: | | | | | | | | | | | | | | | |
| Puro | 2 707 | 0.895 | 204 | 8.418 | 215 | 202 | 206 | 215 | 225 | 249 | | | | | |
| Al-Cu (Duraluminio), 94-96% Al, 3-5% Cu, con impurezas Mg Al-Si (Siluminio) contiene cobre | 2 787 | 0.893 | 164 | 6.676 | 126 | 159 | 182 | 194 | | | | | | | |
| 86.5% Al, 1% Cu | 2 659 | 0.867 | 137 | 6.933 | 119 | 137 | 144 | 152 | 161 | | | | | | |
| Al-Si (Alusil), 78- 80% Al, 20-22% Si | 2 627 | 0.854 | 161 | 7.172 | 144 | 157 | 168 | 175 | 178 | | | | | | |
| Al-Mg-Si, 97% Al, 1% Mg, 1% Si, 1% Mn | 2 707 | 0.892 | 177 | 7.311 | | 175 | 189 | 204 | | | | | | | |
| Plomo | 11 373 | 0.130 | 35 | 2.343 | 36.9 | 35.1 | 33.4 | 31.5 | 29.8 | | | | | | |
| Hierro: | | | | | | | | | | | | | | | |
| Puro | 7 897 | 0.452 | 73 | 2.034 | 67 | 73 | 67 | 62 | 55 | 45 | 40 | 35 | 35 | 36 | |
| Hierro forjado, 0.5% C | 7 849 | 0.45 | 59 | 1.625 | | 59 | 57 | 52 | 45 | 45 | 33 | 33 | 33 | 33 | |
| Acero | | | | | | | | | | | | | | | |
| (C max = 1.5%); Acero al carbón | 7 833 | 0.465 | 54 | 1.474 | | 55 | 52 | 48 | 45 | 42 | 35 | 31 | 29 | 31 | |
| C = 0.5% | 7 801 | 0.473 | 43 | 1.172 | | 43 | 43 | 42 | 40 | 36 | 33 | 29 | 28 | 29 | |
| 1.0% | 7 753 | 0.456 | 36 | 0.970 | | 36 | 36 | 36 | 35 | 33 | 31 | 28 | 28 | 29 | |
| 1.5% | | | | | | | | | | | | | | | |
| Acero al níquel | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ni = 0% | 7 897 | 0.452 | 73 | 2.026 | | | | | | | | | | | |
| 20% | 7 933 | 0.45 | 19 | 0.526 | | | | | | | | | | | |

Valores de propiedades para metales

(Fuente: INCROPERA, Fundamentos de transferencia de calor)

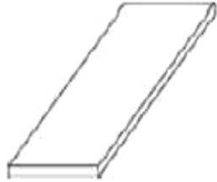
ANEXO 5

| TABLA A-4 | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|--|---|----------------------------------|--------|---------------------------------|---------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| Agua saturada. Tabla de temperaturas | | | | | | | | | | | | | |
| Temp., T °C | Pres. sat., P _{sat} kPa | Volumen específico, m ³ /kg | | | Energía interna, kJ/kg | | | Entalpía, kJ/kg | | | Entropía, kJ/kg · K | | |
| | | Liq. sat., v _f | Vapor sat., v _g | | Liq. sat., u _f | Evap., u _{fg} | Vapor sat., u _g | Liq. sat., h _f | Evap., h _{fg} | Vapor sat., h _g | Liq. sat., s _f | Evap., s _{fg} | Vapor sat., s _g |
| 0.01 | 0.6117 | 0.001000 | 206.00 | 0.000 | 2374.9 | 2374.9 | 0.001 | 2500.9 | 2500.9 | 0.0000 | 9.1556 | 9.1556 | |
| 5 | 0.8725 | 0.001000 | 147.03 | 21.019 | 2360.8 | 2381.8 | 21.020 | 2489.1 | 2510.1 | 0.0763 | 8.9487 | 9.0249 | |
| 10 | 1.2281 | 0.001000 | 106.32 | 42.020 | 2346.6 | 2388.7 | 42.022 | 2477.2 | 2519.2 | 0.1511 | 8.7488 | 8.8999 | |
| 15 | 1.7097 | 0.001001 | 77.885 | 62.980 | 2332.5 | 2395.5 | 62.982 | 2465.4 | 2528.3 | 0.2245 | 8.5559 | 8.7803 | |
| 20 | 2.3392 | 0.001002 | 57.762 | 83.913 | 2318.4 | 2402.3 | 83.915 | 2453.5 | 2537.4 | 0.2965 | 8.3696 | 8.6661 | |
| 25 | 3.1698 | 0.001003 | 43.340 | 104.83 | 2304.3 | 2409.1 | 104.83 | 2441.7 | 2546.5 | 0.3672 | 8.1895 | 8.5567 | |
| 30 | 4.2469 | 0.001004 | 32.879 | 125.73 | 2290.2 | 2415.9 | 125.74 | 2429.8 | 2555.6 | 0.4368 | 8.0152 | 8.4520 | |
| 35 | 5.6291 | 0.001006 | 25.205 | 146.63 | 2276.0 | 2422.7 | 146.64 | 2417.9 | 2564.6 | 0.5051 | 7.8466 | 8.3517 | |
| 40 | 7.3851 | 0.001008 | 19.515 | 167.53 | 2261.9 | 2429.4 | 167.53 | 2406.0 | 2573.5 | 0.5724 | 7.6832 | 8.2556 | |
| 45 | 9.5953 | 0.001010 | 15.251 | 188.43 | 2247.7 | 2436.1 | 188.44 | 2394.0 | 2582.4 | 0.6386 | 7.5247 | 8.1633 | |
| 50 | 12.352 | 0.001012 | 12.026 | 209.33 | 2233.4 | 2442.7 | 209.34 | 2382.0 | 2591.3 | 0.7038 | 7.3710 | 8.0748 | |
| 55 | 15.763 | 0.001015 | 9.5639 | 230.24 | 2219.1 | 2449.3 | 230.26 | 2369.8 | 2600.1 | 0.7680 | 7.2218 | 7.9898 | |
| 60 | 19.947 | 0.001017 | 7.6670 | 251.16 | 2204.7 | 2455.9 | 251.18 | 2357.7 | 2608.8 | 0.8313 | 7.0769 | 7.9082 | |
| 65 | 25.043 | 0.001020 | 6.1995 | 272.09 | 2190.3 | 2462.4 | 272.12 | 2345.4 | 2617.5 | 0.8937 | 6.9360 | 7.8296 | |
| 70 | 31.202 | 0.001023 | 5.0396 | 293.04 | 2175.8 | 2468.9 | 293.07 | 2333.0 | 2626.1 | 0.9551 | 6.7989 | 7.7540 | |
| 75 | 38.597 | 0.001026 | 4.1291 | 313.99 | 2161.3 | 2475.3 | 314.03 | 2320.6 | 2634.6 | 1.0158 | 6.6655 | 7.6812 | |
| 80 | 47.416 | 0.001029 | 3.4053 | 334.97 | 2146.6 | 2481.6 | 335.02 | 2308.0 | 2643.0 | 1.0756 | 6.5355 | 7.6111 | |
| 85 | 57.868 | 0.001032 | 2.8251 | 355.96 | 2131.9 | 2487.8 | 356.02 | 2295.3 | 2651.4 | 1.1346 | 6.4089 | 7.5435 | |
| 90 | 70.183 | 0.001036 | 2.3593 | 375.97 | 2117.0 | 2494.0 | 377.04 | 2282.5 | 2659.6 | 1.1929 | 6.2853 | 7.4782 | |
| 95 | 84.609 | 0.001040 | 1.9828 | 393.00 | 2102.0 | 2500.1 | 398.09 | 2269.6 | 2667.6 | 1.2504 | 6.1647 | 7.4151 | |
| 100 | 101.42 | 0.001043 | 1.6720 | 413.06 | 2087.0 | 2506.0 | 419.17 | 2256.4 | 2675.6 | 1.3072 | 6.0470 | 7.3542 | |
| 105 | 120.90 | 0.001047 | 1.4186 | 443.15 | 2071.8 | 2511.9 | 440.28 | 2243.1 | 2683.4 | 1.3634 | 5.9319 | 7.2952 | |
| 110 | 143.38 | 0.001052 | 1.2094 | 461.27 | 2056.4 | 2517.7 | 461.42 | 2229.7 | 2691.1 | 1.4188 | 5.8193 | 7.2382 | |
| 115 | 169.18 | 0.001056 | 1.0350 | 482.42 | 2040.9 | 2523.3 | 482.59 | 2216.0 | 2698.6 | 1.4737 | 5.7092 | 7.1829 | |
| 120 | 198.67 | 0.001060 | 0.89133 | 503.60 | 2025.3 | 2528.9 | 503.81 | 2202.1 | 2706.0 | 1.5279 | 5.6013 | 7.1292 | |
| 125 | 232.23 | 0.001065 | 0.77012 | 524.83 | 2009.5 | 2534.3 | 525.07 | 2188.1 | 2713.1 | 1.5816 | 5.4956 | 7.0771 | |
| 130 | 270.28 | 0.001070 | 0.66808 | 546.10 | 1993.4 | 2539.5 | 546.38 | 2173.7 | 2720.1 | 1.6346 | 5.3919 | 7.0265 | |
| 135 | 313.22 | 0.001075 | 0.58179 | 567.41 | 1977.3 | 2544.7 | 567.75 | 2159.1 | 2726.9 | 1.6872 | 5.2901 | 6.9773 | |
| 140 | 361.53 | 0.001080 | 0.50850 | 588.77 | 1960.9 | 2549.6 | 589.16 | 2144.3 | 2733.5 | 1.7392 | 5.1901 | 6.9294 | |
| 145 | 415.68 | 0.001085 | 0.44500 | 610.19 | 1944.2 | 2554.4 | 610.64 | 2129.2 | 2739.8 | 1.7908 | 5.0919 | 6.8827 | |
| 150 | 476.16 | 0.001091 | 0.39248 | 631.66 | 1927.4 | 2559.1 | 632.18 | 2113.8 | 2745.9 | 1.8418 | 4.9953 | 6.8371 | |
| 155 | 543.49 | 0.001096 | 0.34545 | 653.19 | 1910.3 | 2563.5 | 653.79 | 2098.0 | 2751.8 | 1.8924 | 4.9002 | 6.7927 | |
| 160 | 618.23 | 0.001102 | 0.30580 | 674.79 | 1893.0 | 2567.8 | 675.47 | 2082.0 | 2757.5 | 1.9426 | 4.8066 | 6.7492 | |
| 165 | 700.93 | 0.001108 | 0.27244 | 696.46 | 1875.4 | 2571.9 | 697.24 | 2065.6 | 2762.8 | 1.9923 | 4.7143 | 6.7067 | |
| 170 | 792.18 | 0.001114 | 0.24250 | 718.20 | 1857.5 | 2575.7 | 719.08 | 2048.8 | 2767.9 | 2.0417 | 4.6233 | 6.6650 | |
| 175 | 892.60 | 0.001121 | 0.21659 | 740.02 | 1839.4 | 2579.4 | 741.02 | 2031.7 | 2772.7 | 2.0906 | 4.5335 | 6.6242 | |
| 180 | 1002.8 | 0.001127 | 0.19384 | 761.92 | 1820.9 | 2582.8 | 763.05 | 2014.2 | 2777.2 | 2.1392 | 4.4448 | 6.5841 | |
| 185 | 1123.5 | 0.001134 | 0.17390 | 783.91 | 1802.1 | 2586.0 | 785.19 | 1996.2 | 2781.4 | 2.1875 | 4.3572 | 6.5447 | |
| 190 | 1255.2 | 0.001141 | 0.15636 | 806.00 | 1783.0 | 2589.0 | 807.43 | 1977.9 | 2785.3 | 2.2355 | 4.2705 | 6.5059 | |
| 195 | 1398.8 | 0.001149 | 0.14089 | 828.18 | 1763.6 | 2591.7 | 829.78 | 1959.0 | 2788.8 | 2.2831 | 4.1847 | 6.4678 | |
| 200 | 1554.9 | 0.001157 | 0.12721 | 850.46 | 1743.7 | 2594.2 | 852.26 | 1939.8 | 2792.0 | 2.3305 | 4.0997 | 6.4302 | |

Tabla de propiedades de agua saturada

(Fuente: CENGEL, Yunus. Termodinámica)

ANEXO 6



ESPECIFICACIONES GENERALES

Acero Galvanizado: ASTM A 653 CS

Observaciones: Otras dimensiones previa consulta



NORMA INTERNA

Espesor: 0.35 mm - 2.00 mm
Longitud: - 0 mm
+ 3 mm
Descuadre: $1,50 \times \text{diagonal nominal} > \text{diagonal mayor} - \text{diagonal menor}$
1000
Ondulamiento: 10 mm de amplitud máxima

APLICACIONES

- Ductos para aire acondicionado
- Puertas metálicas
- Perfilería de tumbado
- Cámaras frigoríficas
- Partes y piezas para línea blanca

TABLA DE PESOS APROXIMADOS

| ESPESOR | PESO APROX. POR PLANCHAS (Kg) |
|---------|-------------------------------|
| mm | 1,220 x 2,440 |
| 0.35 | 8.18 |
| 0.40 | 9.35 |
| 0.45 | 10.52 |
| 0.50 | 11.68 |
| 0.55 | 12.85 |
| 0.70 | 16.36 |
| 0.90 | 21.03 |
| 1.00 | 23.36 |

Propiedades de la plancha de acero galvanizado

(Fuente: IPAC)

ANEXO 7



Propiedades térmicas de la lana de vidrio

(Fuente: CURIA, Aislantes térmicos)

ANEXO 8

TABLA A-17


Propiedades de gas ideal del aire

| T K | h kJ/kg | P_r | u kJ/kg | v_r | s° kJ/kg · K | T K | h kJ/kg | P_r | u kJ/kg | v_r | s° kJ/kg · K |
|----------|--------------|--------|--------------|--------|------------------------|----------|--------------|-------|--------------|--------|------------------------|
| 200 | 199.97 | 0.3363 | 142.56 | 1707.0 | 1.29559 | 580 | 586.04 | 14.38 | 419.55 | 115.7 | 2.37348 |
| 210 | 209.97 | 0.3987 | 149.69 | 1512.0 | 1.34444 | 590 | 596.52 | 15.31 | 427.15 | 110.6 | 2.39140 |
| 220 | 219.97 | 0.4690 | 156.82 | 1346.0 | 1.39105 | 600 | 607.02 | 16.28 | 434.78 | 105.8 | 2.40902 |
| 230 | 230.02 | 0.5477 | 164.00 | 1205.0 | 1.43557 | 610 | 617.53 | 17.30 | 442.42 | 101.2 | 2.42644 |
| 240 | 240.02 | 0.6355 | 171.13 | 1084.0 | 1.47824 | 620 | 628.07 | 18.36 | 450.09 | 96.92 | 2.44356 |
| 250 | 250.05 | 0.7329 | 178.28 | 979.0 | 1.51917 | 630 | 638.63 | 19.84 | 457.78 | 92.84 | 2.46048 |
| 260 | 260.09 | 0.8405 | 185.45 | 887.8 | 1.55848 | 640 | 649.22 | 20.64 | 465.50 | 88.99 | 2.47716 |
| 270 | 270.11 | 0.9590 | 192.60 | 808.0 | 1.59634 | 650 | 659.84 | 21.86 | 473.25 | 85.34 | 2.49364 |
| 280 | 280.13 | 1.0889 | 199.75 | 738.0 | 1.63279 | 660 | 670.47 | 23.13 | 481.01 | 81.89 | 2.50985 |
| 285 | 285.14 | 1.1584 | 203.33 | 706.1 | 1.65055 | 670 | 681.14 | 24.46 | 488.81 | 78.61 | 2.52589 |
| 290 | 290.16 | 1.2311 | 206.91 | 676.1 | 1.66802 | 680 | 691.82 | 25.85 | 496.62 | 75.50 | 2.54175 |
| 295 | 295.17 | 1.3068 | 210.49 | 647.9 | 1.68515 | 690 | 702.52 | 27.29 | 504.45 | 72.56 | 2.55731 |
| 298 | 298.18 | 1.3543 | 212.64 | 631.9 | 1.69528 | 700 | 713.27 | 28.80 | 512.33 | 69.76 | 2.57277 |
| 300 | 300.19 | 1.3860 | 214.07 | 621.2 | 1.70203 | 710 | 724.04 | 30.38 | 520.23 | 67.07 | 2.58810 |
| 305 | 305.22 | 1.4686 | 217.67 | 596.0 | 1.71865 | 720 | 734.82 | 32.02 | 528.14 | 64.53 | 2.60319 |
| 310 | 310.24 | 1.5546 | 221.25 | 572.3 | 1.73498 | 730 | 745.62 | 33.72 | 536.07 | 62.13 | 2.61803 |
| 315 | 315.27 | 1.6442 | 224.85 | 549.8 | 1.75106 | 740 | 756.44 | 35.50 | 544.02 | 59.82 | 2.63280 |
| 320 | 320.29 | 1.7375 | 228.42 | 528.6 | 1.76690 | 750 | 767.29 | 37.35 | 551.99 | 57.63 | 2.64737 |
| 325 | 325.31 | 1.8345 | 232.02 | 508.4 | 1.78249 | 760 | 778.18 | 39.27 | 560.01 | 55.54 | 2.66176 |
| 330 | 330.34 | 1.9352 | 235.61 | 489.4 | 1.79783 | 780 | 800.03 | 43.35 | 576.12 | 51.64 | 2.69013 |
| 340 | 340.42 | 2.149 | 242.82 | 454.1 | 1.82790 | 800 | 821.95 | 47.75 | 592.30 | 48.08 | 2.71787 |
| 350 | 350.49 | 2.379 | 250.02 | 422.2 | 1.85708 | 820 | 843.98 | 52.59 | 608.59 | 44.84 | 2.74504 |
| 360 | 360.58 | 2.626 | 257.24 | 393.4 | 1.88543 | 840 | 866.08 | 57.60 | 624.95 | 41.85 | 2.77170 |
| 370 | 370.67 | 2.892 | 264.46 | 367.2 | 1.91313 | 860 | 888.27 | 63.09 | 641.40 | 39.12 | 2.79783 |
| 380 | 380.77 | 3.176 | 271.69 | 343.4 | 1.94001 | 880 | 910.56 | 68.98 | 657.95 | 36.61 | 2.82344 |
| 390 | 390.88 | 3.481 | 278.93 | 321.5 | 1.96633 | 900 | 932.93 | 75.29 | 674.58 | 34.31 | 2.84856 |
| 400 | 400.98 | 3.806 | 286.16 | 301.6 | 1.99194 | 920 | 955.38 | 82.05 | 691.28 | 32.18 | 2.87324 |
| 410 | 411.12 | 4.153 | 293.43 | 283.3 | 2.01699 | 940 | 977.92 | 89.28 | 708.08 | 30.22 | 2.89748 |
| 420 | 421.26 | 4.522 | 300.69 | 266.6 | 2.04142 | 960 | 1000.55 | 97.00 | 725.02 | 28.40 | 2.92128 |
| 430 | 431.43 | 4.915 | 307.99 | 251.1 | 2.06533 | 980 | 1023.25 | 105.2 | 741.98 | 26.73 | 2.94468 |
| 440 | 441.61 | 5.332 | 315.30 | 236.8 | 2.08870 | 1000 | 1046.04 | 114.0 | 758.94 | 25.17 | 2.96770 |
| 450 | 451.80 | 5.775 | 322.62 | 223.6 | 2.11161 | 1020 | 1068.89 | 123.4 | 776.10 | 23.72 | 2.99034 |
| 460 | 462.02 | 6.245 | 329.97 | 211.4 | 2.13407 | 1040 | 1091.85 | 133.3 | 793.36 | 23.29 | 3.01260 |
| 470 | 472.24 | 6.742 | 337.32 | 200.1 | 2.15604 | 1060 | 1114.86 | 143.9 | 810.62 | 21.14 | 3.03449 |
| 480 | 482.49 | 7.268 | 344.70 | 189.5 | 2.17760 | 1080 | 1137.89 | 155.2 | 827.88 | 19.98 | 3.05608 |
| 490 | 492.74 | 7.824 | 352.08 | 179.7 | 2.19876 | 1100 | 1161.07 | 167.1 | 845.33 | 18.896 | 3.07732 |
| 500 | 503.02 | 8.411 | 359.49 | 170.6 | 2.21952 | 1120 | 1184.28 | 179.7 | 862.79 | 17.886 | 3.09825 |
| 510 | 513.32 | 9.031 | 366.92 | 162.1 | 2.23993 | 1140 | 1207.57 | 193.1 | 880.35 | 16.946 | 3.11883 |
| 520 | 523.63 | 9.684 | 374.36 | 154.1 | 2.25997 | 1160 | 1230.92 | 207.2 | 897.91 | 16.064 | 3.13916 |
| 530 | 533.98 | 10.37 | 381.84 | 146.7 | 2.27967 | 1180 | 1254.34 | 222.2 | 915.57 | 15.241 | 3.15916 |
| 540 | 544.35 | 11.10 | 389.34 | 139.7 | 2.29906 | 1200 | 1277.79 | 238.0 | 933.33 | 14.470 | 3.17888 |
| 550 | 555.74 | 11.86 | 396.86 | 133.1 | 2.31809 | 1220 | 1301.31 | 254.7 | 951.09 | 13.747 | 3.19834 |
| 560 | 565.17 | 12.66 | 404.42 | 127.0 | 2.33685 | 1240 | 1324.93 | 272.3 | 968.95 | 13.069 | 3.21751 |
| 570 | 575.59 | 13.50 | 411.97 | 121.2 | 2.35531 | | | | | | |

Propiedades del gas ideal del aire

(Fuente: CENGEL, Yunus. Termodinámica)


ANEXO 9





MT-511R₄

TERMOSTATO DIGITAL

Ver. 13



1. DESCRIPCIÓN

El MT-511R₄ es un controlador e indicador de temperatura. Puede ser configurado para controlar tanto refrigeración como calefacción.
Producto en conformidad con CE (Unión Europea) y UL Inc. (Estados Unidos y Canadá).

2. APLICACIÓN

- Refrigeradores comerciales
- Climas
- Invernaderos
- Estufas
- Frioleros
- Placa (resistencia) para cerdos
- Máquinas para papetería

3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- Alimentación eléctrica: MT-511R → 115/230 Vca; 10A/50/60 Hz
MT-511R₄ → 12/24 Vdc
- Temperatura de control: -50 hasta 105°C / -58 hasta 221°F
- Corriente máxima: NA → 16(3)A/250Vca; 1HP
NC → 8A/250Vca
- Dimensiones: 71 x 28 x 71 mm
- Temperatura de operación: 0 hasta 50°C/32 hasta 122°F
- Humedad de operación: 10 hasta 90% HR (no condensante)

CLASIFICACIÓN ACORDANDO LA NORMA IEC 60730-2-2:

- Límite de la temperatura de la superficie de la instalación: 50°C / 122°F
- Tipo de construcción: Regulador electrónico incorporado
- Acción automática: Tipo 1
- Control de la contaminación: Nivel 2
- Voltaje del impulso: 1,5kV
- Temperatura para la prueba de la presión de cofre: 75°C y 125°C / 167°F y 257°F
- Aislamiento: Clase II

4. CONFIGURACIONES

4.1 - Ajuste de la temperatura de control (SETPOINT)

- Presione **SET** durante 1 segundo hasta que aparezca **SP**.
- Aparecerá la temperatura de control ajustada.
- Utilice las teclas **▲** y **▼** para ajustar el valor y, cuando esté listo, presione **SET** nuevamente para grabar.

5. ALTERACION DE LOS PARAMETROS

5.1 - Diferencial de temperatura (histéresis) y modo de operación

- Presione simultáneamente las teclas **▲** y **▼** por 5 segundos hasta que aparezca **DIFF**, enseguida suelta las teclas. Aparecerá el diferencial a ser ajustado. Utilice las teclas **▲** y **▼** para ajustar el valor y, cuando esté listo, presione **SET** para seguir adelante.
- Ahorredefina el modo de operación: **COOL** para refrigeración, **HEAT** para calefacción.
- Utilice las teclas **▲** y **▼** para seleccionar el modo.
- Después de seleccionar, presione **SET** para grabar este parámetro.

5.2 - Corrimiento de Indicación

Esta función sirve solamente para corregir eventuales errores en la lectura provenientes del cambio del sensor.
Para esto presione simultáneamente las teclas **▲** y **▼** por 10 segundos hasta que aparezca **DRIFT**.

Aparecerá el valor del corrimiento ajustado.
Entonces, utilice las teclas **▲** y **▼** para ajustar el valor (entre -5.0 y +5.0°C o entre -9 hasta +9°F); cuando esté listo, presione **SET** para seguir adelante.

5.3 - Límite permitido al usuario final

Sirve para evitar que personas no habilitadas ajusten temperaturas de control extremadamente altas o bajas.

a) Límite permitido inferior (bloqueo de mínimo):
Al indicar **MIN**, determine el bloqueo de regulación mínima y confirme con la tecla **SET**.

b) Límite permitido superior (bloqueo de máximo):
Al indicar **MAX**, determine el bloqueo de regulación máxima y confirme con la tecla **SET**.

Luego indicará **TIME**, solicitando ajuste del tiempo mínimo de retardo para activar la salida del termostato (de 0 hasta 999 segundos).
Determine el tiempo de retardo deseado y presione **SET** para grabar.

6. SELECCIÓN DE LA UNIDAD DE TEMPERATURA (C° / F°)

Para definir la unidad en que el instrumento operará presione simultáneamente **▲** y **▼** durante 30 segundos hasta que aparezca **UNIT** volviendo en seguida. Utilice nuevamente **▲** o **▼** para seleccionar entre **C°** o **F°** y confirme con la tecla **SET**. Después de seleccionar la unidad el display exhibirá **C°** y el instrumento retornará a la operación normal (Indicación de temperatura). Siempre que la unidad de temperatura es alterada los parámetros deben ser reconfigurados, pues los mismos asumen los valores "patrón" de fábrica.

7. FUNCIONES DE RÁPIDO ACCESO

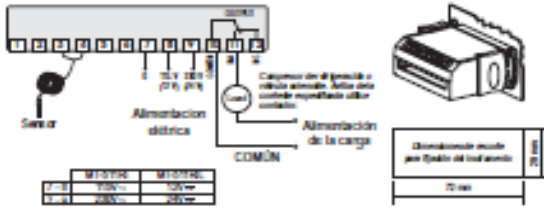
7.1 - Registros de temperaturas mínima y máxima

Presione **▲**. Aparecerá la temperatura mínima registrada y luego después aparecerá la temperatura máxima registrada.
Nota: Para iniciar los registros, mantener presionada la tecla **▲** durante la visualización de las temperaturas mínima y máxima hasta que **OFF** aparezca.

8. SENÁLIZADORES

El indicador luminoso en el frontal del instrumento (OUTPUT) indica que la salida de control está conectada, o sea, contacto NA (Normalmente Abierto) está cerrado y por lo tanto acciona la carga.
OFF - Sensor desconectado o la temperatura fuera del rango especificado.

9. ESQUEMA DE CONEXIÓN

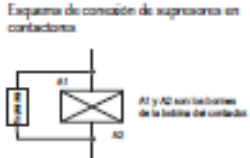


| Terminal | MT-511R | MT-511R ₄ |
|----------|---------|----------------------|
| 1 | COM | COM |
| 2 | NO | NO |
| 3 | NC | NC |


Nota: El largo del cable del sensor puede ser ampliado por el propio usuario, hasta 200 metros utilizando cable #12 x 24 AWG. Para inmersión en agua utilícelo con termómetro.

IMPORTANTE:
Según capítulos de la norma IEC 60264:
1- Instale protecciones contra sobretensiones en la alimentación.
2- Cables de sensores y de señales de computadores pueden estar juntos, sin embargo no en la misma conducción por donde pasan alimentación eléctrica y activación de carga.
3- Instale supresores de transientes (fibras RC) en paralelo a las cargas, de manera a sumarle la vida útil de la línea.
Mayor información contacte nuestro departamento de Ing. de aplicación por medio del e-mail support@fullgauge.com o por teléfono al 51347-5200.

Esquema de conexión de supresores en contactores



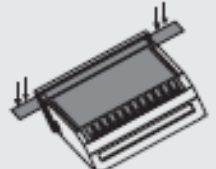
Esquema de conexión de los supresores en cargas de activación directa



VINILO PROTECTOR:

Protege los instrumentos instalados en locales sometidos a gotas de agua, como en refrigeradores comerciales, por ejemplo. Este adhesivo acompaña al instrumento, dentro de su empaque.
Hágale aplicación solamente después de concluir las conexiones eléctricas.

Retire el papel protector y aplique el vinilo sobre toda la parte superior del aparato, doblando los bordes conforme indican las flechas.



Catálogo del controlador y sensor (Fuente: Full Gauge)

X

ANEXO 10

| | -250 | 0 | 250 | 500 | 750 | 1000 | 1250 | 1500 | 1750 | 2000 | 2500 | 3000 |
|-----------------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Temp. E Hg | 782 | 760 | 738 | 717 | 697 | 677 | 657 | 639 | 620 | 603 | 569 | 536 |
| C. E H ₂ O | 10649 | 10345 | 10048 | 3761 | 3482 | 9211 | 8947 | 8691 | 8443 | 8201 | 7739 | 7303 |
| 0 | 1,11 | 1,08 | 1,05 | 1,02 | 0,99 | 0,96 | 0,93 | 0,91 | 0,88 | 0,86 | 0,81 | 0,76 |
| 21 | 1,03 | 1,00 | 0,97 | 0,95 | 0,92 | 0,89 | 0,87 | 0,84 | 0,82 | 0,79 | 0,75 | 0,71 |
| 50 | 0,94 | 0,91 | 0,89 | 0,86 | 0,84 | 0,81 | 0,79 | 0,77 | 0,75 | 0,72 | 0,68 | 0,64 |
| 75 | 0,87 | 0,85 | 0,82 | 0,80 | 0,78 | 0,75 | 0,73 | 0,71 | 0,69 | 0,67 | 0,63 | 0,60 |
| 100 | 0,81 | 0,79 | 0,77 | 0,75 | 0,72 | 0,70 | 0,68 | 0,66 | 0,65 | 0,63 | 0,59 | 0,56 |
| 125 | 0,76 | 0,74 | 0,72 | 0,70 | 0,68 | 0,66 | 0,64 | 0,62 | 0,60 | 0,59 | 0,55 | 0,52 |
| 150 | 0,72 | 0,70 | 0,68 | 0,66 | 0,64 | 0,62 | 0,60 | 0,59 | 0,57 | 0,55 | 0,52 | 0,49 |
| 175 | 0,68 | 0,66 | 0,64 | 0,62 | 0,60 | 0,59 | 0,57 | 0,55 | 0,54 | 0,52 | 0,49 | 0,46 |
| 200 | 0,64 | 0,62 | 0,61 | 0,59 | 0,57 | 0,56 | 0,54 | 0,52 | 0,51 | 0,49 | 0,47 | 0,44 |
| 225 | 0,61 | 0,59 | 0,58 | 0,56 | 0,54 | 0,53 | 0,51 | 0,50 | 0,48 | 0,47 | 0,44 | 0,42 |
| 250 | 0,58 | 0,56 | 0,55 | 0,53 | 0,52 | 0,50 | 0,49 | 0,47 | 0,46 | 0,45 | 0,42 | 0,40 |
| 275 | 0,55 | 0,54 | 0,52 | 0,51 | 0,49 | 0,48 | 0,47 | 0,45 | 0,44 | 0,43 | 0,40 | 0,39 |
| 300 | 0,53 | 0,51 | 0,50 | 0,49 | 0,47 | 0,46 | 0,45 | 0,43 | 0,42 | 0,41 | 0,38 | 0,36 |
| 325 | 0,51 | 0,49 | 0,48 | 0,47 | 0,45 | 0,44 | 0,43 | 0,41 | 0,40 | 0,39 | 0,37 | 0,35 |
| 350 | 0,49 | 0,47 | 0,46 | 0,45 | 0,43 | 0,42 | 0,41 | 0,40 | 0,39 | 0,38 | 0,35 | 0,33 |
| 375 | 0,47 | 0,46 | 0,44 | 0,43 | 0,42 | 0,41 | 0,39 | 0,38 | 0,37 | 0,36 | 0,34 | 0,32 |
| 400 | 0,45 | 0,44 | 0,43 | 0,41 | 0,40 | 0,39 | 0,38 | 0,37 | 0,36 | 0,35 | 0,33 | 0,31 |
| 425 | 0,43 | 0,42 | 0,41 | 0,40 | 0,39 | 0,38 | 0,37 | 0,35 | 0,34 | 0,33 | 0,32 | 0,30 |
| 450 | 0,42 | 0,41 | 0,40 | 0,38 | 0,37 | 0,36 | 0,35 | 0,34 | 0,33 | 0,32 | 0,31 | 0,29 |
| 475 | 0,41 | 0,39 | 0,38 | 0,37 | 0,36 | 0,35 | 0,34 | 0,33 | 0,32 | 0,31 | 0,29 | 0,28 |
| 500 | 0,39 | 0,38 | 0,37 | 0,36 | 0,35 | 0,34 | 0,33 | 0,32 | 0,31 | 0,30 | 0,28 | 0,27 |
| 525 | 0,38 | 0,37 | 0,36 | 0,35 | 0,34 | 0,33 | 0,32 | 0,31 | 0,30 | 0,29 | 0,27 | 0,26 |

Perdidas de carga a diferentes alturas y presiones s.n.m

Fuente: (POCOVÍ, E. Rubens. Ventilación industrial. Diseño de los sistemas de ventilación industrial.)

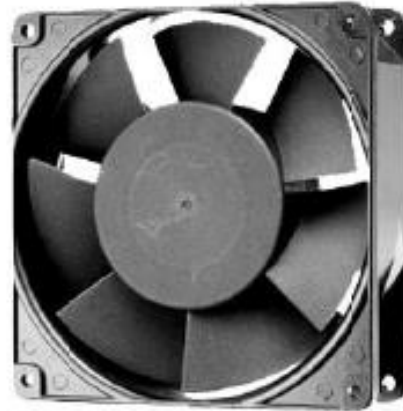
ANEXO 11

FP-108-7

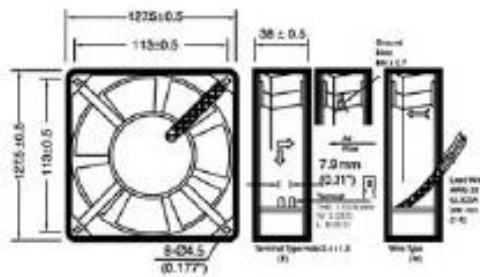
127 x 127 x 38 mm JUPITER

DESIGN FEATURES

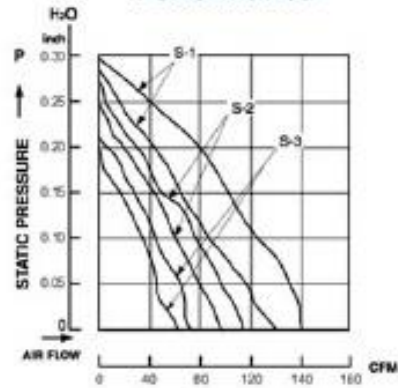
- * Bearing System:
Sleeve bearing & ball bearing
- * Impeller:
Plastic with fiber glass filed UL 94V-0
- * Housing:
Die cast aluminium painted black or natural color
- * Motor:
Shaded pole, impedance protected
- * Connecting:
Terminal & wire leads
- * Speed:
S-1 high speed type
S-2 medium speed type
- * Other Voltage:
24, 48, 100, 380AC, (50-60Hz) are available



Dimensions: mm



Performance



Specification

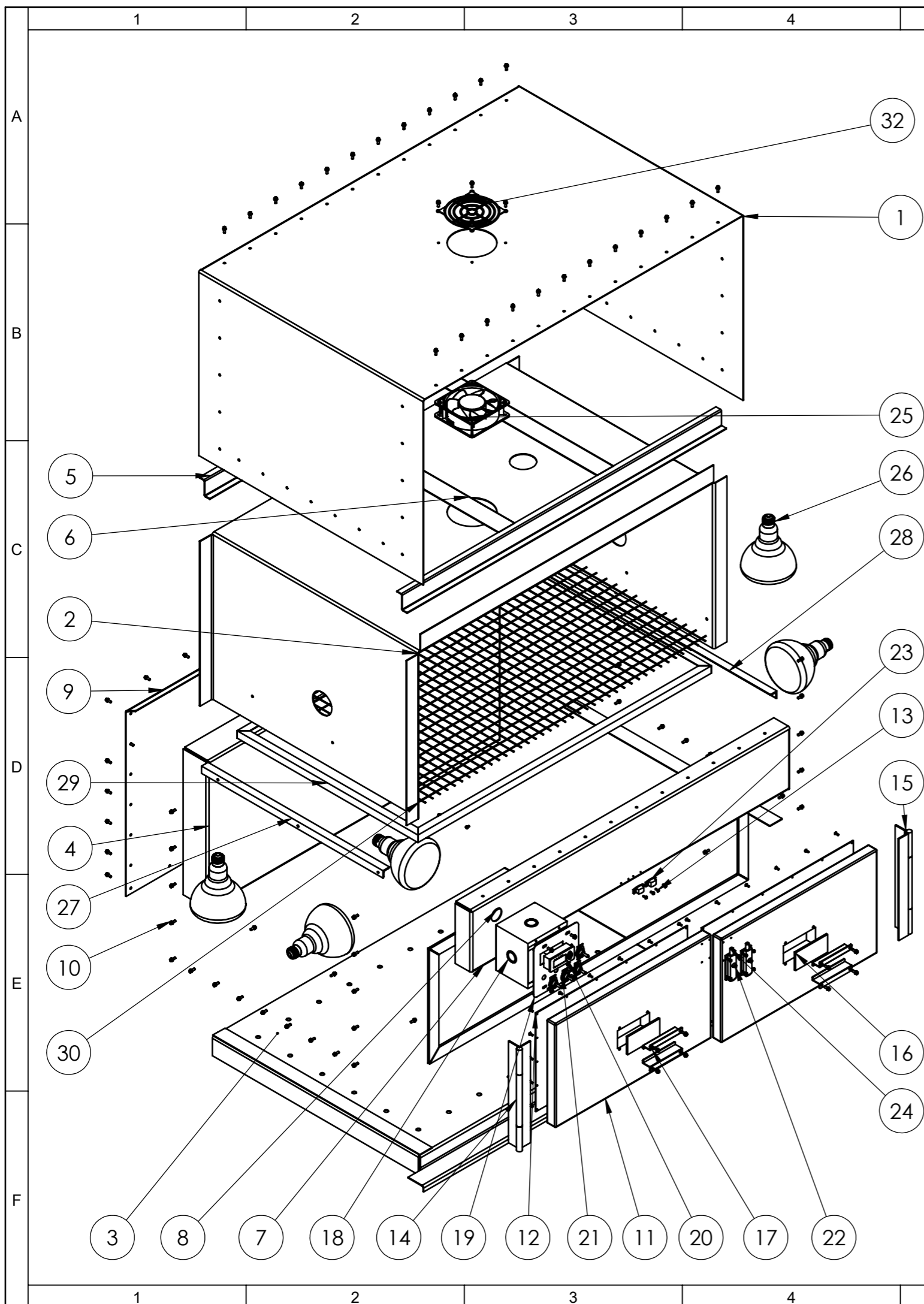
| MODEL NO. | VOLT (VAC) | FREQUENCY (HZ) | AIR (CFM) | VOLUME (M ³ /MIN) | CURRENT (A) | POWER (W) | SPEED (RPM) | STATIC PRESSURE (INCH-H ₂ O) | NOISE (dBA) |
|-------------------|---------------|-------------------|--------------|---------------------------------|----------------|--------------|----------------|--|----------------|
| FP-108-7 (S-1) | 110/120 | 50/60 | 115/140 | 3.30/4.00 | 0.26/0.24 | 24/23 | 2700/3000 | 0.28/0.30 | 44/47 |
| FP-108-7 (S-1) | 220/240 | 50/60 | 115/140 | 3.30/4.00 | 0.16/0.14 | 24/23 | 2700/3000 | 0.28/0.30 | 44/47 |
| FP-108-7 (S-2) | 110/120 | 50/60 | 85/105 | 2.40/3.00 | 0.16/0.14 | 20/19 | 2200/2500 | 0.26/0.27 | 39/40 |
| FP-108-7 (S-2) | 220/240 | 50/60 | 85/105 | 2.40/3.00 | 0.14/0.12 | 20/19 | 2200/2500 | 0.26/0.27 | 39/40 |
| FP-108-7 (S-3) | 110/120 | 50/60 | 72/80 | 2.00/2.30 | 0.14/0.12 | 14/12 | 1800/2100 | 0.20/0.21 | 32/36 |
| FP-108-7 (S-3) | 220/240 | 50/60 | 72/78 | 2.00/2.30 | 0.12/0.10 | 11/10 | 1800/2100 | 0.20/0.21 | 32/36 |

Características del ventilador seleccionado

Fuente: (Company Fan Ventilador)

PLANOS

**PLANOS
SECADOR
PROTO TIPO**



| N.º DE ORDEN | N.º DE PIEZAS | DENOMINACIÓN | CARACTERÍSTICAS | OBSERVACIÓN |
|--------------|---------------|--------------------------|----------------------------|-------------|
| 32 | 6 | LANA DE VIDRIO | 1X0,5X0,05m | Adquirido |
| 31 | 1 | MALLA VENTILADOR | 120X120 mm | Adquirido |
| 30 | 1 | REJILLA | Acero ASTM A 36 | Soldado |
| 29 | 1 | ESTRUCTURA BANDEJA | Acero ASTM A 36 | Soldado |
| 28 | 1 | PERFIL SOPORTE IZQUIERDO | Acero ASTM A 36(20x20x3mm) | Empernado |
| 27 | 1 | PERFIL SOPORTE DERECHO | Acero ASTM A 36(20x20x3mm) | Empernado |
| 26 | 5 | LÁMPARA INFRARROJA | Lámpara 250 W - 110V | Adquirido |
| 25 | 1 | VENTILADOR | Aletas plasticas (D110mm) | Adquirido |
| 24 | 2 | PASADOR DE SEGURO | Niquelado | Adquirido |
| 23 | 2 | SOPORTE DE SEGURO | Niquelado | Adquirido |
| 22 | 2 | SEGURO DE PUERTA | Niquelado | Adquirido |
| 21 | 4 | INTERRUPTOR | Interruptor on/off 110V | Adquirido |
| 20 | 1 | CONTROLADOR | Controlador térmico | Adquirido |
| 19 | 1 | TAPA DE CAJETÍN | Acero ASTM 653-1,4mm | Adquirido |
| 18 | 1 | CAJETÍN | Acero ASTM 653-1,4mm | Adquirido |
| 17 | 4 | SEGURO DE VIDRIO | Acero ASTM A 36 | Doblado |
| 16 | 2 | VIDRIO DE PUERTA | Vidrio T. (98x48x8mm) | Adquirido |
| 15 | 2 | BISAGRA IZQUIERDA | Acero ASTM A36 | Adquirido |
| 14 | 2 | BISAGRA DERECHA | Acero ASTM A 36 | Aquirido |
| 13 | 58 | REMACHE | Aluminio (1/8x2) pulg | Adquirido |
| 12 | 2 | TAPA INTERIOR DE PUERTA | Acero ASTM 653-1,4mm | Remachado |
| 11 | 2 | PUERTA DE SECADOR | Acero ASTM 653-1,4mm | Doblado |
| 10 | 98 | TORNILLO HEXAGONAL | Acero (2x1/4 pulg) | Adquirido |
| 9 | 1 | TAPA POSTERIOR | Acero ASTM 653-1,4mm | Doblado |
| 8 | 1 | EMPAQUE DE PUERTA | Caucho 4mm | Pegado |
| 7 | 1 | TAPA FRONTAL | Acero ASTM 653-1,4mm | Doblado |
| 6 | 2 | VIGA LATERAL | Acero ASTM 653-1,4mm | Soldado |
| 5 | 2 | VIGA SUPERIOR | Acero ASTM 653-1,4mm | Soldado |
| 4 | 1 | TAPA DE CÁMARA | Acero ASTM 653-1,4mm | Empernado |
| 3 | 1 | BASE DE CÁMARA | Acero ASTM 653-1,4mm | Doblado |
| 2 | 1 | ESTRUCTURA INTERNA | Acero ASTM 653-1,4mm | Doblado |
| 1 | 1 | ESTRUCTURA EXTERNA | Acero ASTM 653-1,4mm | Doblado |

| N.º DE ORDEN | N.º DE PIEZAS | DENOMINACIÓN | CARACTERÍSTICAS | OBSERVACIÓN |
|--------------|---------------|--------------|--------------------------------|--|
| | | | Tolerancia (Peso) | Materiales: VARIOS |
| | | | ±0,1 69,2 Kg | |
| | | | Fecha Nombre | Denominación: DESPIECE SECADOR Escala: 1:10 |
| | | | Dib. 17/07/13 Juan Espinoza. | |
| | | | Rev. 17/07/13 Ing. Escobar L. | |
| | | | Apro. 17/07/13 Ing. Escobar L. | Número del dibujo: 01 |
| | | | UTA Ing. Mecánica | |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | (Sustitución) |

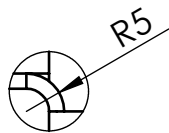
1

2

3

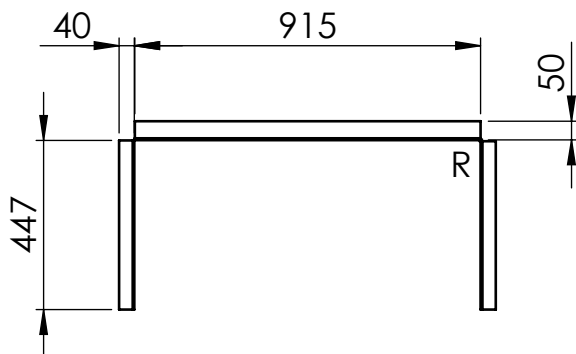
4

A

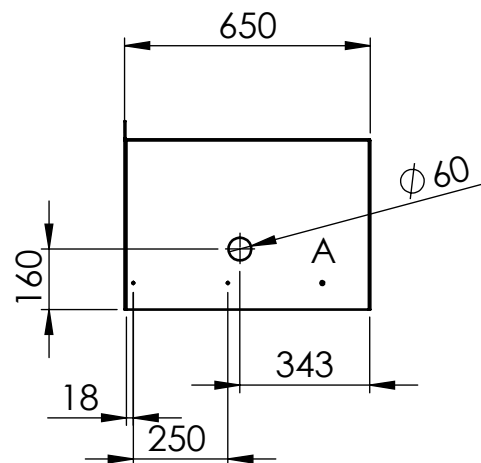


DETALLE R
ESCALA 1 : 1

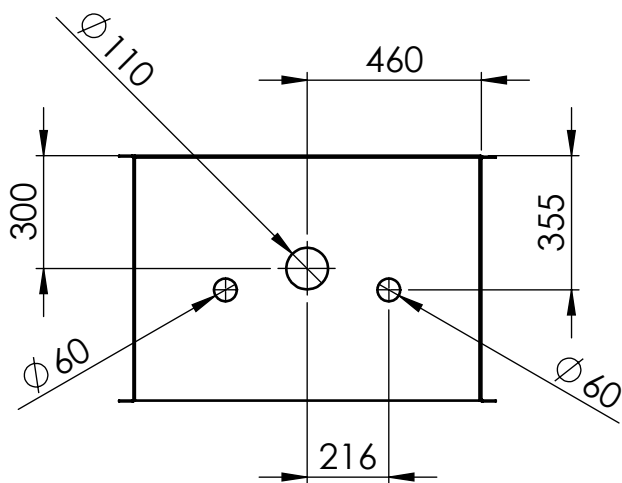
B



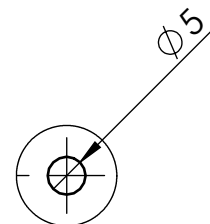
C



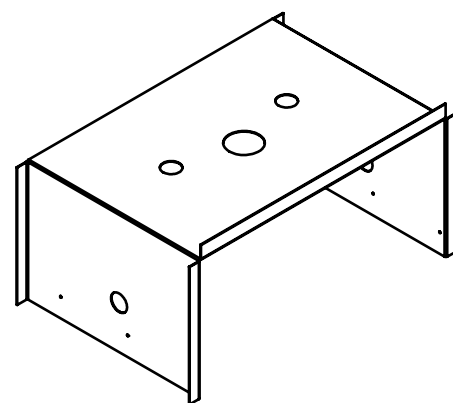
D



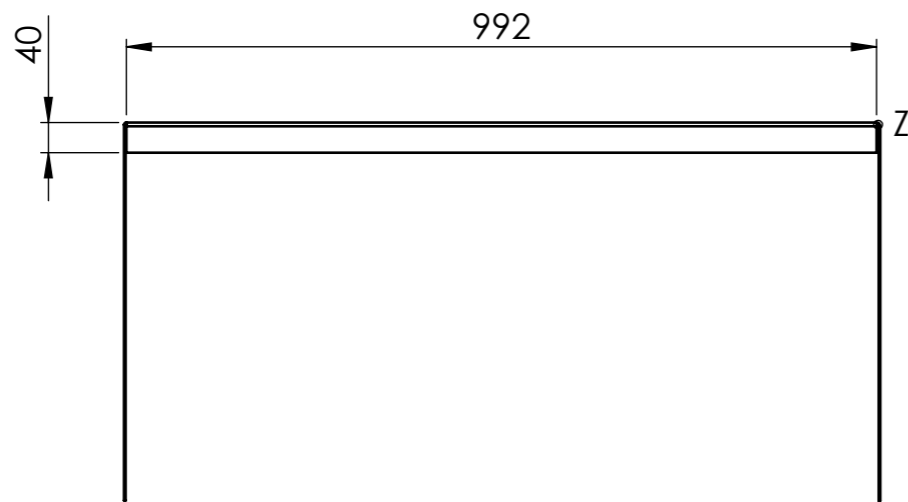
E



DETALLE A
ESCALA 1 : 1

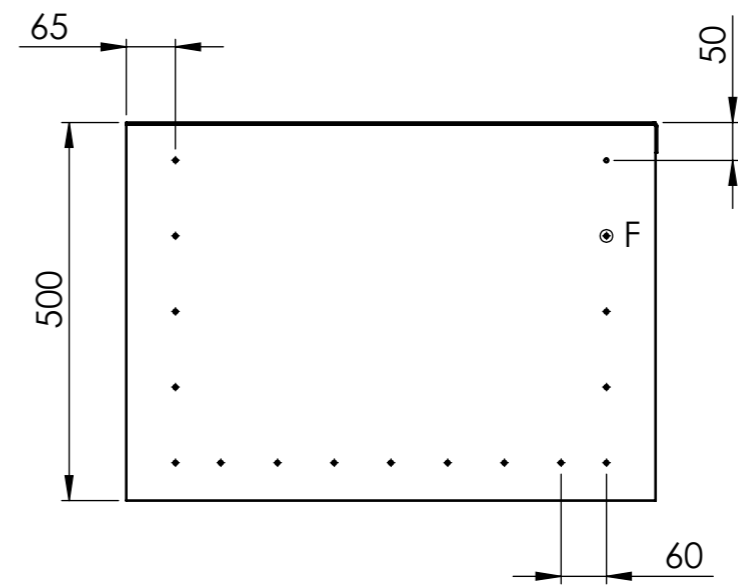


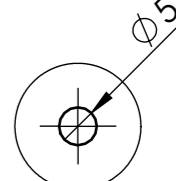
| | | | | | | | | | |
|--------------|--------------|-------|--------|---------------|-----------------|--|---------|--|------|
| | | | | Tolerancia | (Peso) | Materiales: | | | |
| | | | | ±0,1 | 10,8 Kg | ACERO GALVANIZADO ASTM A 653 CS (1.4 mm) | | | |
| | | | | Fecha | Nombre | Denominación: | Escala: | | |
| | | | Dib. | 17/07/13 | Juan Espinoza. | | | ESTRUCTURA INTERNA DE CÁMARA DE SECADO | 1:20 |
| | | | Rev. | 17/07/13 | Ing. Escobar L. | | | | |
| | | | | Apro. | 17/07/13 | Ing. Escobar L. | | | |
| | | | | UTA | | Número del dibujo: | | | |
| | | | | Ing. Mecánica | | 02 | | | |
| Edi- ción | Modificación | Fecha | Nombre | | | (Sustitución) | | | |



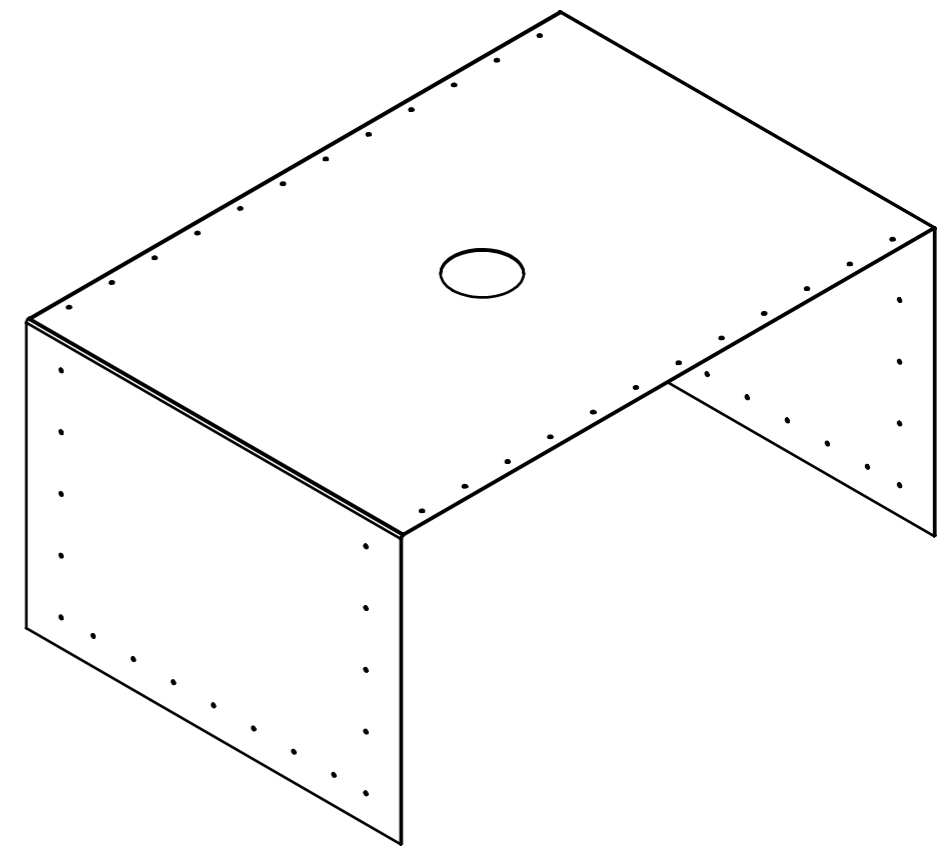
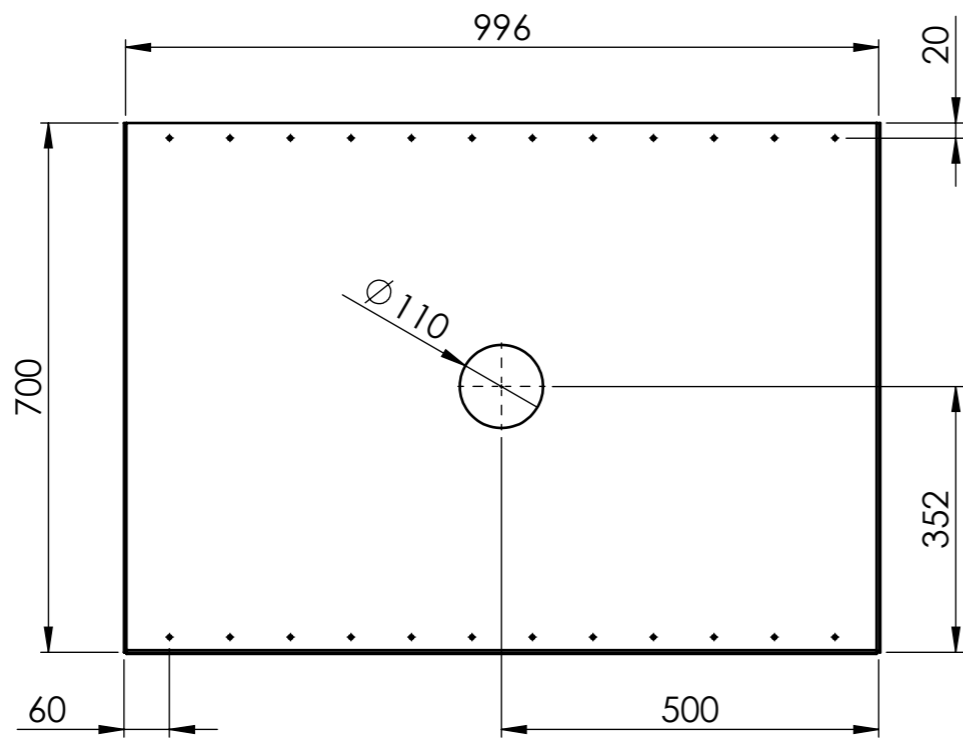


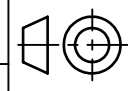
 DETALLE Z
 ESCALA 1 : 1

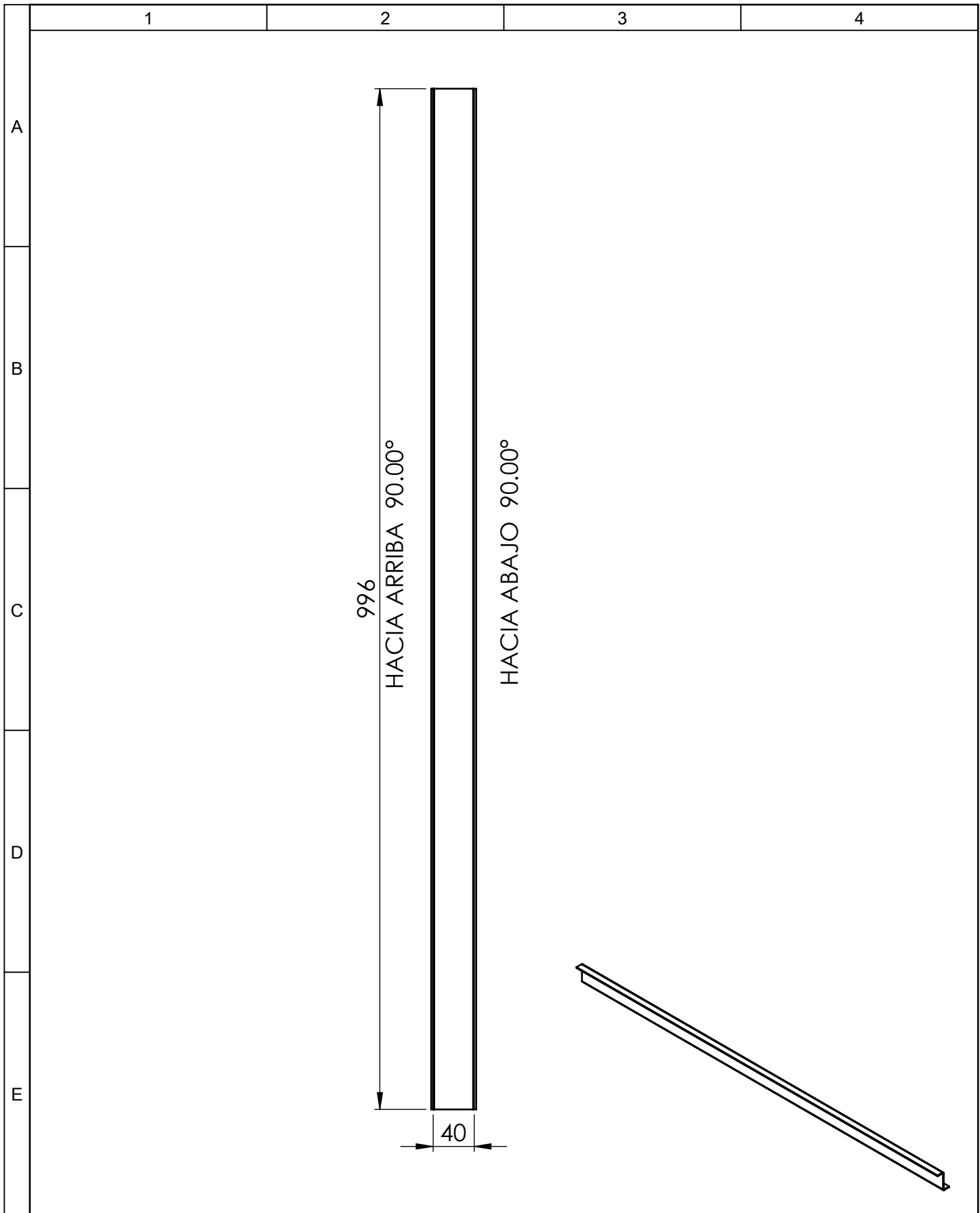




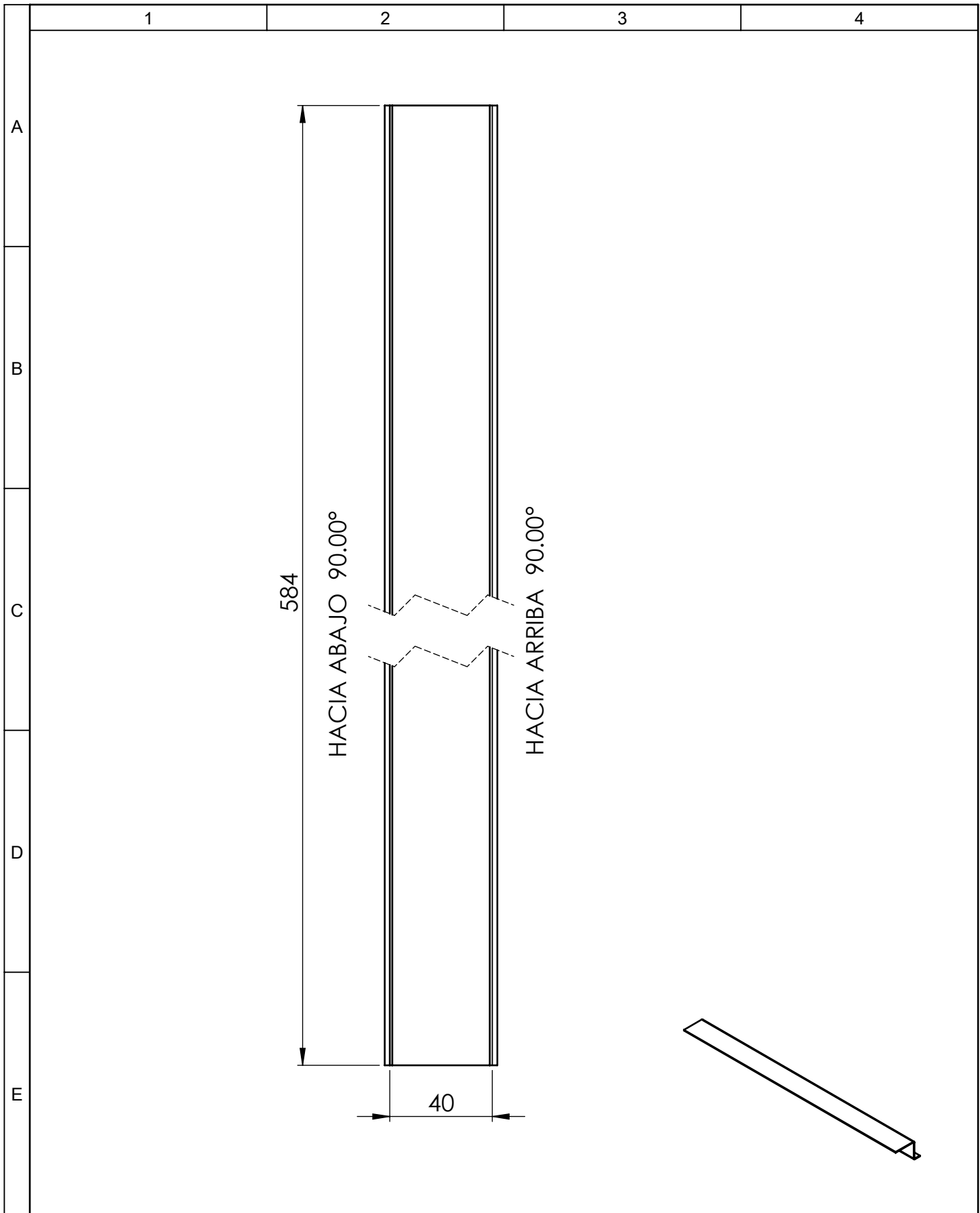
 DETALLE F
 ESCALA 1 : 1



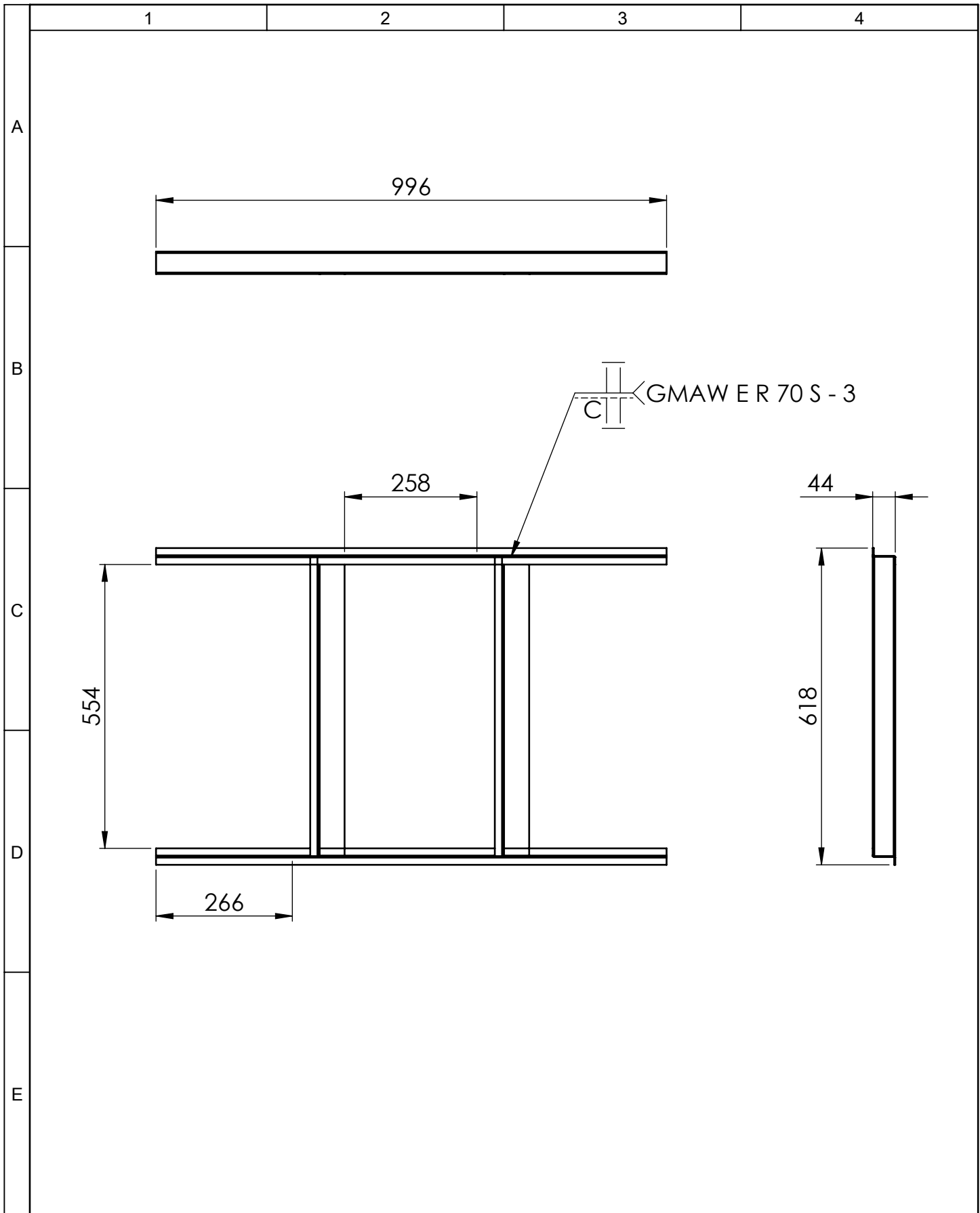
| | | | | | | | | |
|--------------|--------------|-------|--------|----------------------|----------|---|---|-----------------|
| | | | | Tolerancia | (Peso) | Materiales: ACERO GALVANIZADO ASTM A 653 CS (1.4 mm) | | |
| | | | | ±0,1 | 12,4 Kg | | | |
| | | | | | Fecha | Nombre | Denominación: ESTRUCTURA EXTERNA DEL SECADOR | |
| | | | | Dib. | 17/07/13 | Juan Espinoza. | | Escala: 1:10 |
| | | | | Rev. | 17/07/13 | Ing. Escobar L. | | |
| | | | | Apro. | 17/07/13 | Ing. Escobar L. | | |
| | | | | UTA Ing. Mecánica | | Número del dibujo: 03 |  | |
| | | | | | | (Sustitución) | | |
| Edi- ción | Modificación | Fecha | Nombre | | | | | |

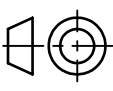


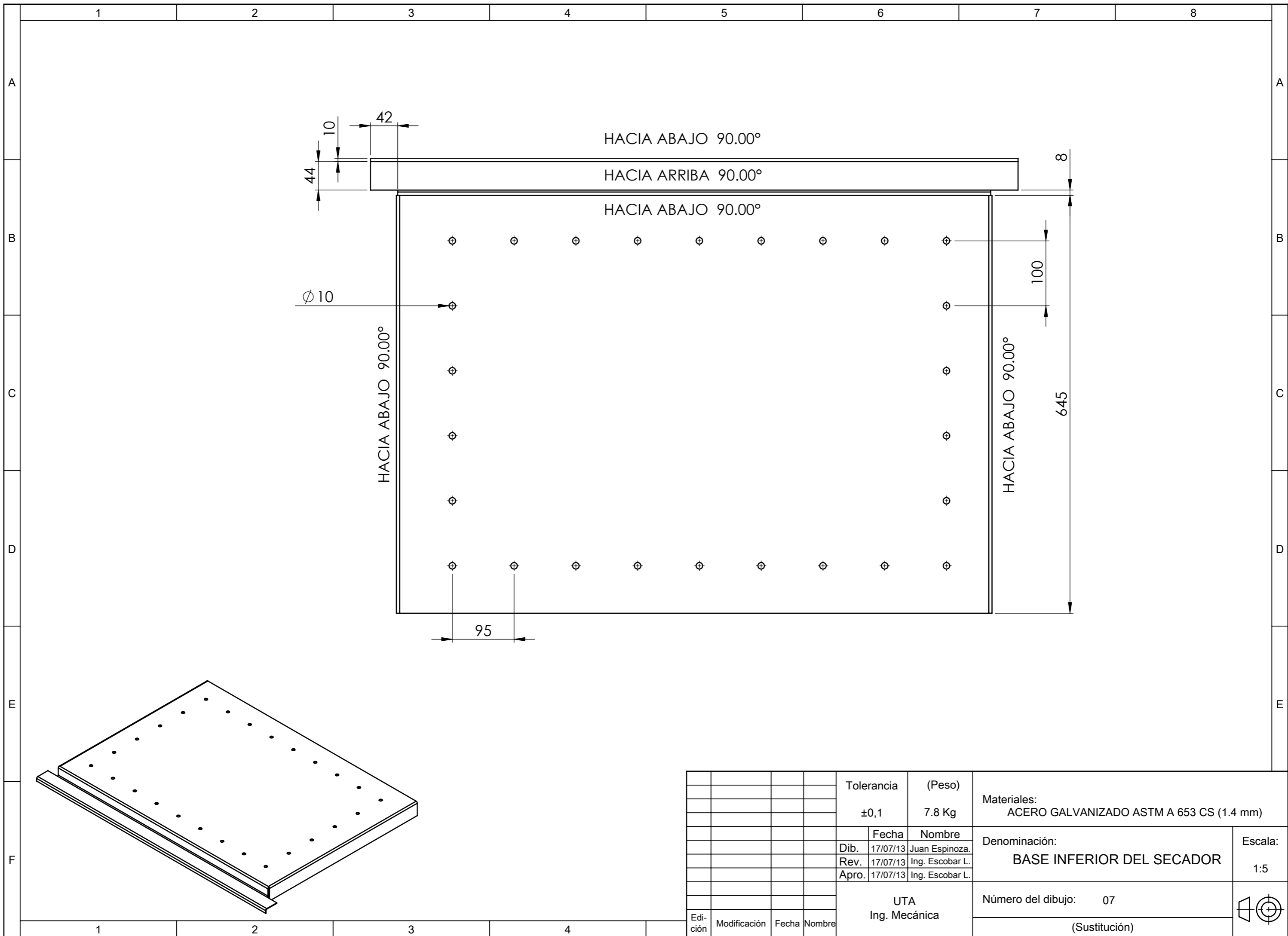
| | | | | | | | |
|---------|--------------|-------|--------|---------------|-----------------|--|---------------|
| | | | | Tolerancia | (Peso) | Materiales: | |
| | | | | ±0,1 | 1.13 Kg | ACERO GALVANIZADO ASTM A 653 CS (1.4 mm) | |
| | | | | Fecha | Nombre | Denominación: | Escala: |
| | | | Dib. | 17/07/13 | Juan Espinoza. | | |
| | | | Rev. | 17/07/13 | Ing. Escobar L. | | |
| | | | | Apro. | 17/07/13 | Ing. Escobar L. | 1:5 |
| | | | | UTA | | Número del dibujo: 04 | |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | Ing. Mecánica | | | (Sustitución) |



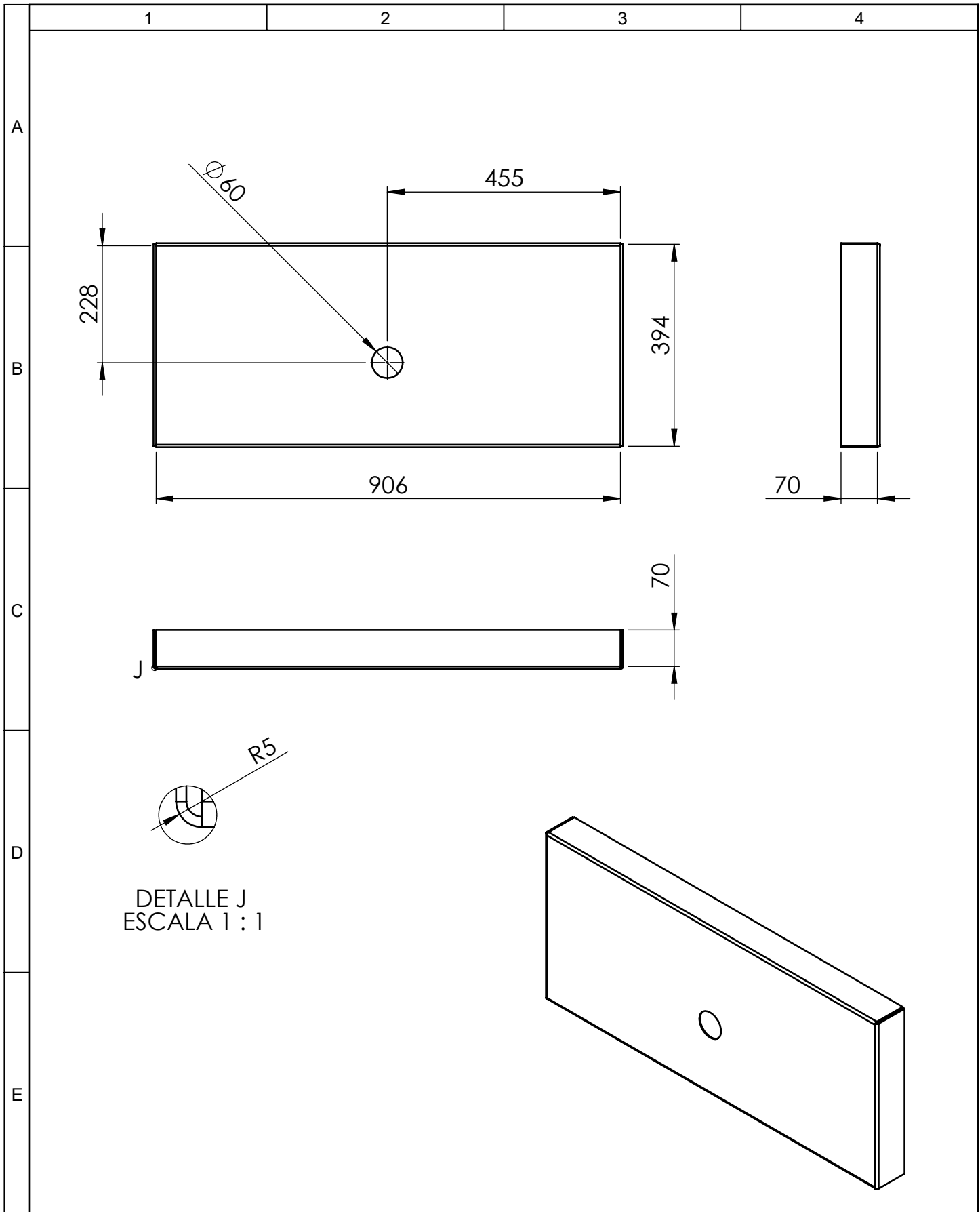
| | | | | | | | |
|---------|--------------|-------|--------|----------------------|-----------------|---|----------------|
| | | | | Tolerancia | (Peso) | Materiales: ACERO GALVANIZADO ASTM A 653 CS (1.4 mm) | |
| | | | | ±0,1 | 0,7 Kg | | |
| | | | | Fecha | Nombre | Denominación: GUIA SOPORTE LATERAL | Escala: 1:2 |
| | | | Dib. | 17/07/13 | Juan Espinoza. | | |
| | | | Rev. | 17/07/13 | Ing. Escobar L. | | |
| | | | | Apro. | 17/07/13 | Ing. Escobar L. | |
| | | | | UTA Ing. Mecánica | | Número del dibujo: 05 | |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | | | (Sustitución) | |



| | | | | | | | | | |
|---------|--------------|-------|--------|---------------|-----------------|--|---|------------------------------|------|
| | | | | Tolerancia | (Peso) | Materiales: | | | |
| | | | | ±0,1 | 3,8 Kg | ACERO GALVANIZADO ASTM A 653 CS (1.4 mm) | | | |
| | | | | Fecha | Nombre | Denominación: | Escala: | | |
| | | | Dib. | 17/07/13 | Juan Espinoza. | | | ENSAMBLE ESTRUCTURA SUPERIOR | 1:10 |
| | | | Rev. | 17/07/13 | Ing. Escobar L. | | | | |
| | | | Apro. | 17/07/13 | Ing. Escobar L. | | | | |
| | | | | UTA | | Número del dibujo: |  | | |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | Ing. Mecánica | | 06 | | | |
| | | | | | | (Sustitución) | | | |

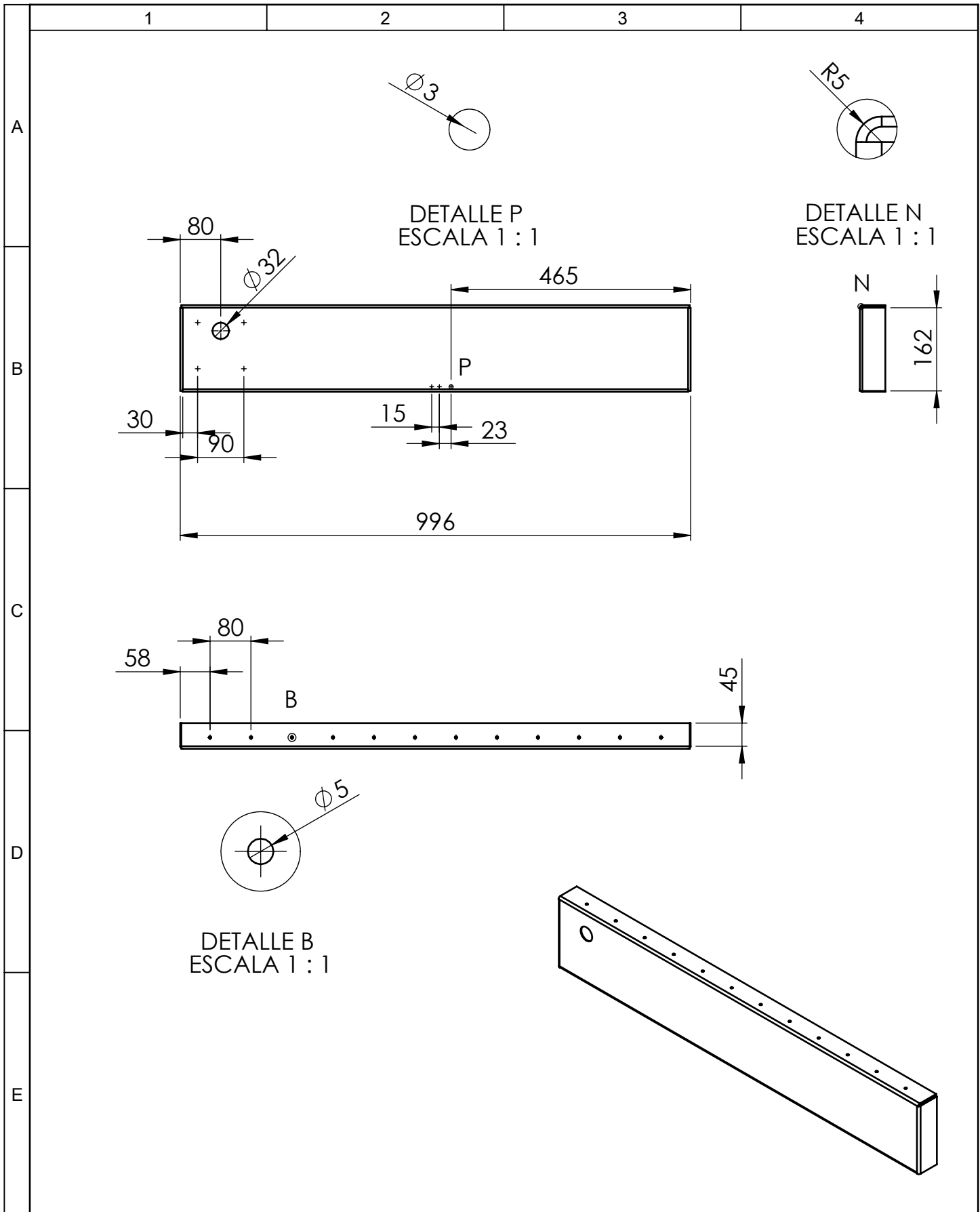


| | | | | | | | |
|---------|--------------|-------|--------|------------|----------------------|---|---|
| | | | | Tolerancia | (Peso) | Materiales: ACERO GALVANIZADO ASTM A 653 CS (1.4 mm) | |
| | | | | ±0,1 | 7.8 Kg | | |
| | | | | | Fecha | Nombre | Denominación: BASE INFERIOR DEL SECADOR |
| | | | | Dib. | 17/07/13 | Juan Espinoza. | |
| | | | | Rev. | 17/07/13 | Ing. Escobar L. | |
| | | | | Apro. | 17/07/13 | Ing. Escobar L. | Escala: 1:5 |
| | | | | | UTA Ing. Mecánica | | Número del dibujo: 07 |
| | | | | | | | (Sustitución) |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | | | | |

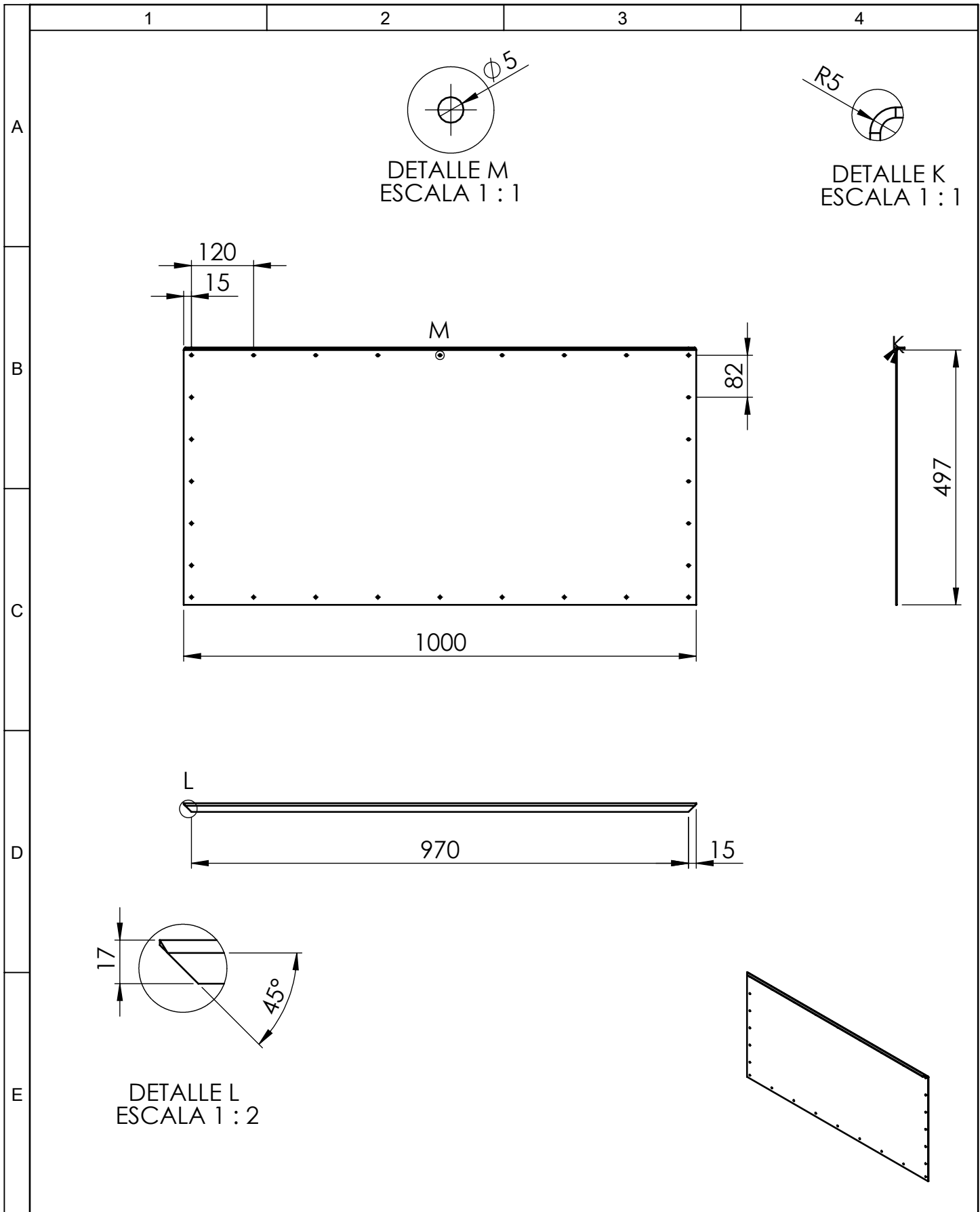


DETALLE J
ESCALA 1 : 1

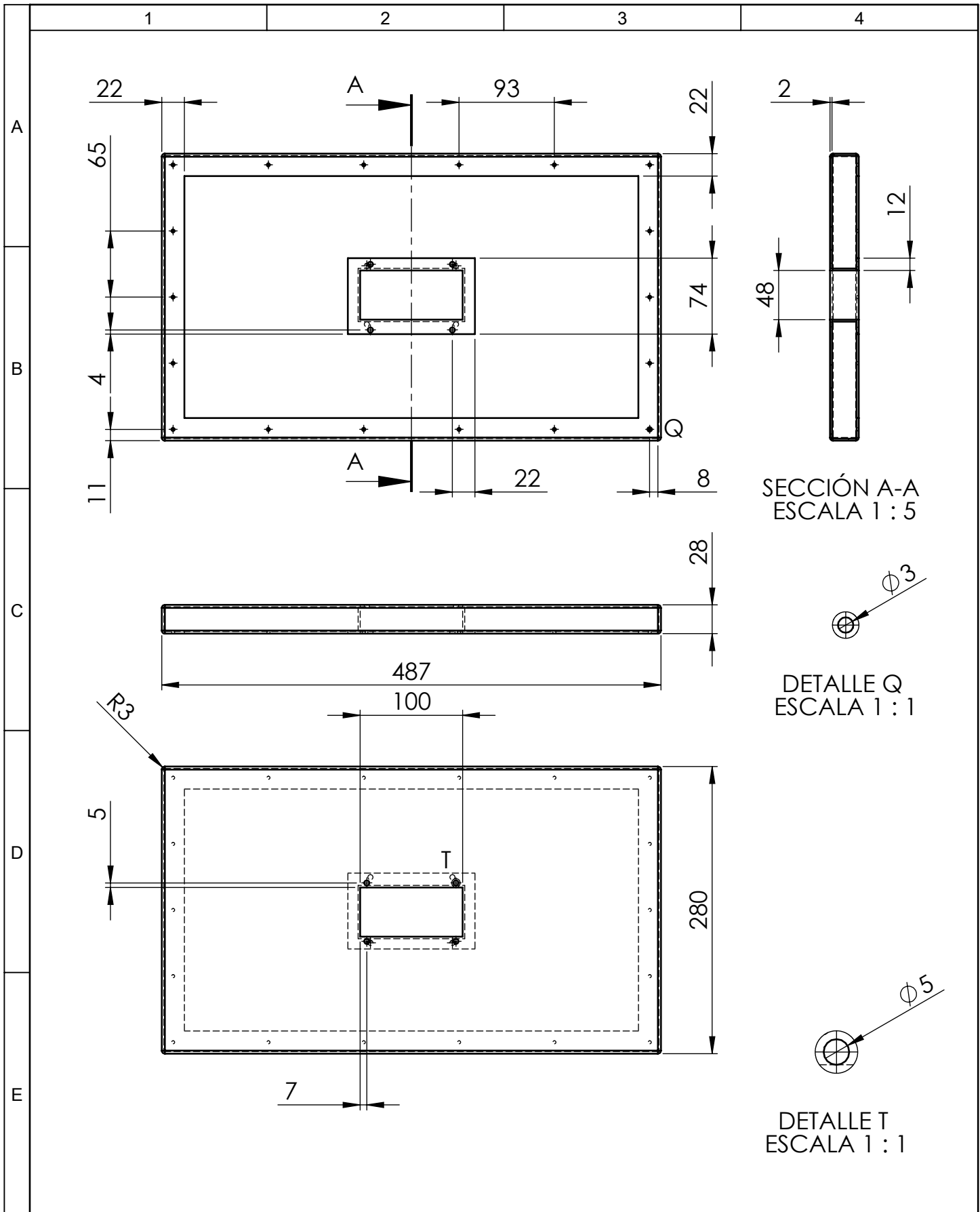
| | | | | | | | | | |
|---------|--------------|-------|--------|---------------|-----------------|--|---------|--------------------------|------|
| | | | | Tolerancia | (Peso) | Materiales: | | | |
| | | | | ±0,1 | 8.65 Kg | ACERO GALVANIZADO ASTM A 653 CS (1.4 mm) | | | |
| | | | | Fecha | Nombre | Denominación: | Escala: | | |
| | | | Dib. | 17/07/13 | Juan Espinoza. | | | TAPA POSTERIOR DE CÁMARA | 1:10 |
| | | | Rev. | 17/07/13 | Ing. Escobar L. | | | | |
| | | | | Apro. | 17/07/13 | Ing. Escobar L. | | | |
| | | | | UTA | | Número del dibujo: | 08 | | |
| | | | | Ing. Mecánica | | (Sustitución) | | | |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | | | | | | |



| | | | | | | | | | |
|---------|--------------|-------|--------|---------------|-----------------|--|---------|--------------------------|------|
| | | | | Tolerancia | (Peso) | Materiales: | | | |
| | | | | $\pm 0,1$ | 4.3 Kg | ACERO GALVANIZADO ASTM A 653 CS (1.4 mm) | | | |
| | | | | Fecha | Nombre | Denominación: | Escala: | | |
| | | | Dib. | 17/07/13 | Juan Espinoza. | | | TAPA FRONTAL DEL SECADOR | 1:10 |
| | | | Rev. | 17/07/13 | Ing. Escobar L. | | | | |
| | | | | Apro. | 17/07/13 | Ing. Escobar L. | | | |
| | | | | UTA | | Número del dibujo: | | | |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | Ing. Mecánica | | 09 | | | |
| | | | | (Sustitución) | | | | | |



| | | | | | | | | | |
|---------|--------------|-------|--------|---------------|-----------------|--|---------|----------------------------|------|
| | | | | Tolerancia | (Peso) | Materiales: | | | |
| | | | | ±0,1 | 5.4 Kg | ACERO GALVANIZADO ASTM A 653 CS (1.4 mm) | | | |
| | | | | Fecha | Nombre | Denominación: | Escala: | | |
| | | | Dib. | 17/07/13 | Juan Espinoza. | | | TAPA POSTERIOR DEL SECADOR | 1:10 |
| | | | Rev. | 17/07/13 | Ing. Escobar L. | | | | |
| | | | | Apro. | 17/07/13 | Ing. Escobar L. | | | |
| | | | | UTA | | Número del dibujo: | | | |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | Ing. Mecánica | | 10 | | | |
| | | | | | | (Sustitución) | | | |



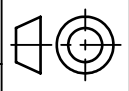
SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 5

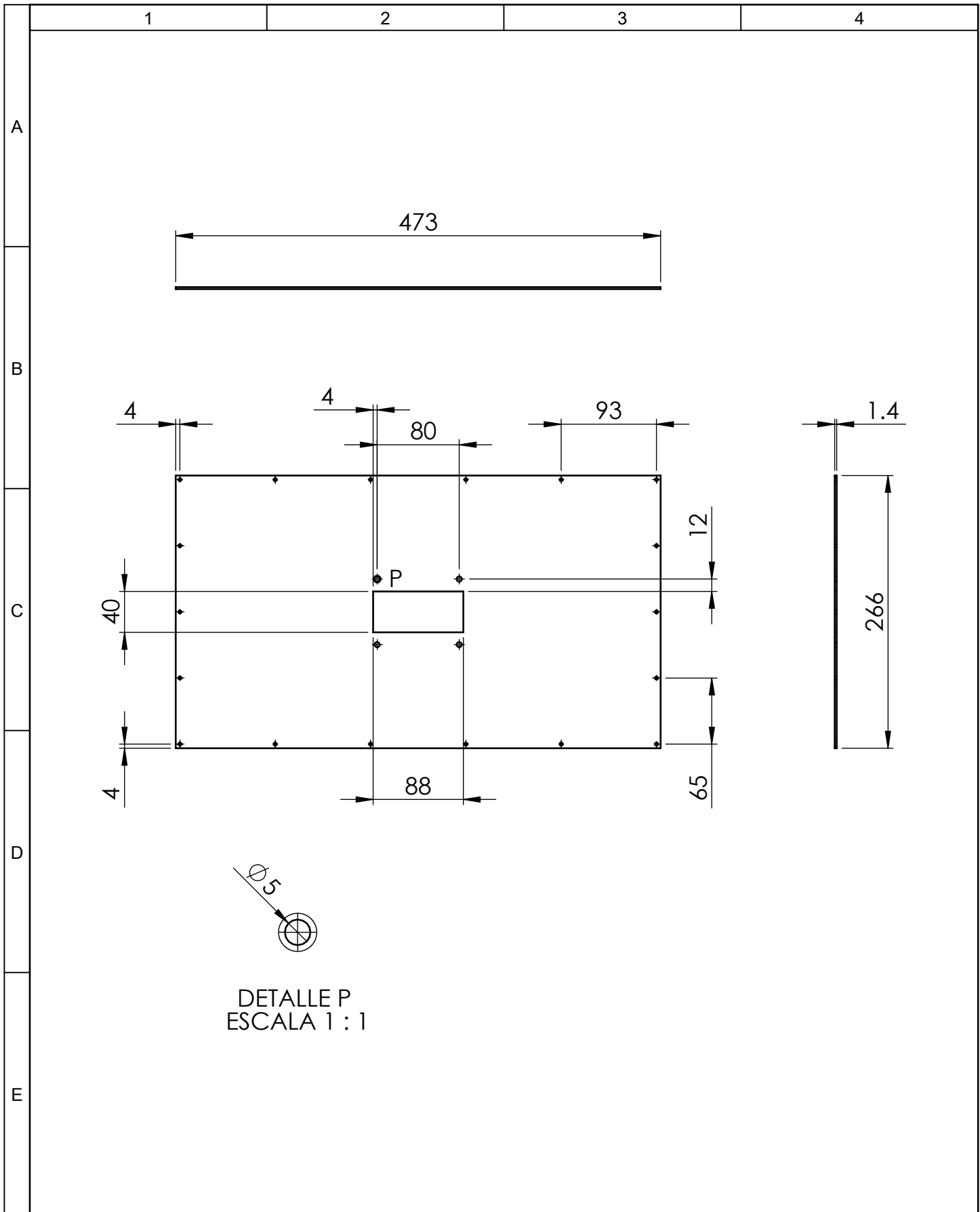
DETALLE Q
ESCALA 1 : 1

DETALLE T
ESCALA 1 : 1

| | | | | | | | |
|---------|--------------|-------|--------|----------------------|-----------------|---|---------|
| | | | | Tolerancia | (Peso) | Materiales: | |
| | | | | ±0,1 | 3,1 Kg | ACERO GALVANIZADO ASTM A 653 CS (1,4mm) | |
| | | | | Fecha | Nombre | Denominación: | Escala: |
| | | | Dib. | 17/07/13 | Juan Espinoza | | |
| | | | Rev. | 17/07/13 | Ing. Escobar L. | | |
| | | | | Apro. | 17/07/13 | Ing. Escobar L. | 1:5 |
| | | | | UTA Ing. Mecánica | | Número del dibujo: 11 | |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | | | (Sustitución) | |

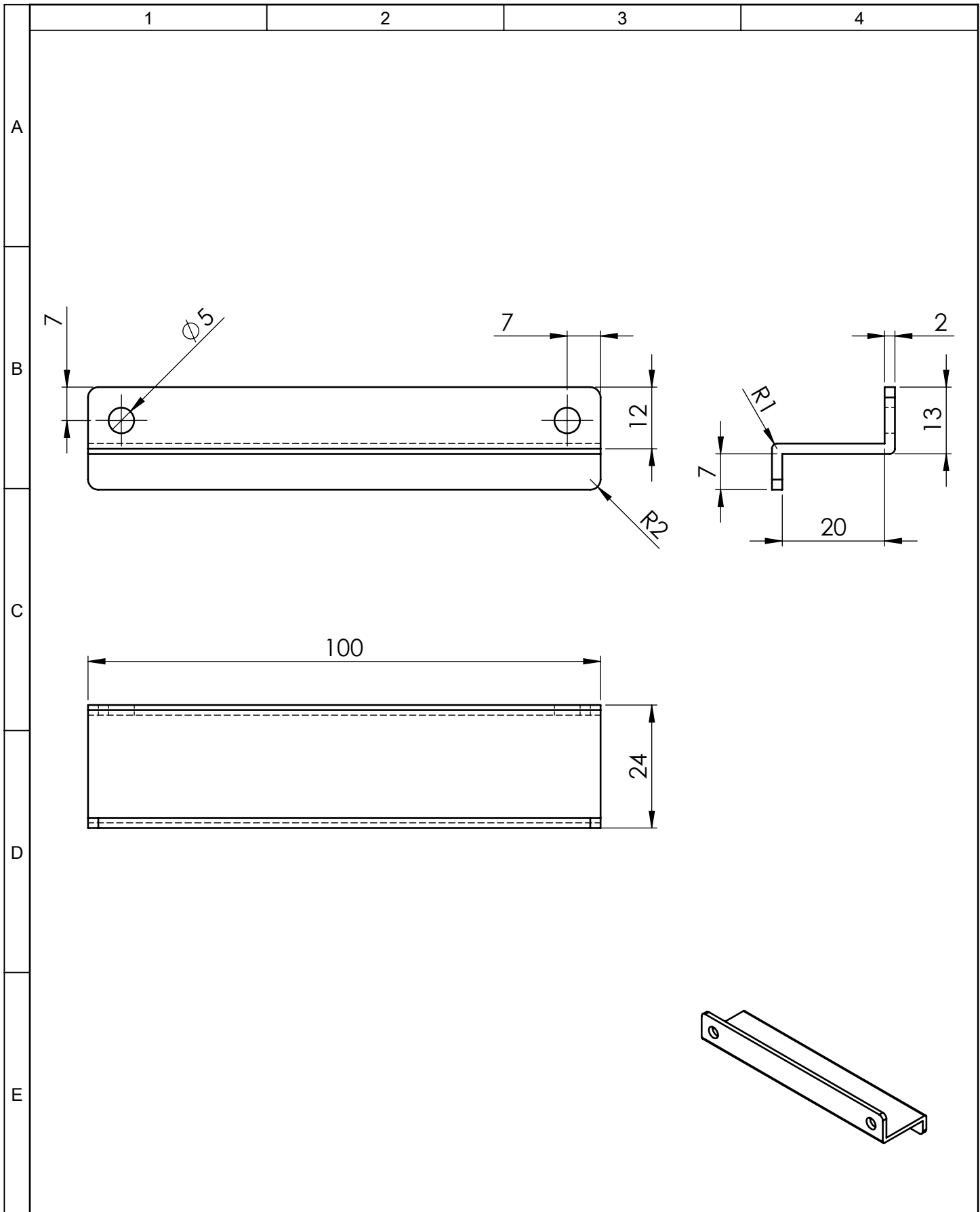
PUERTA DE SECADOR



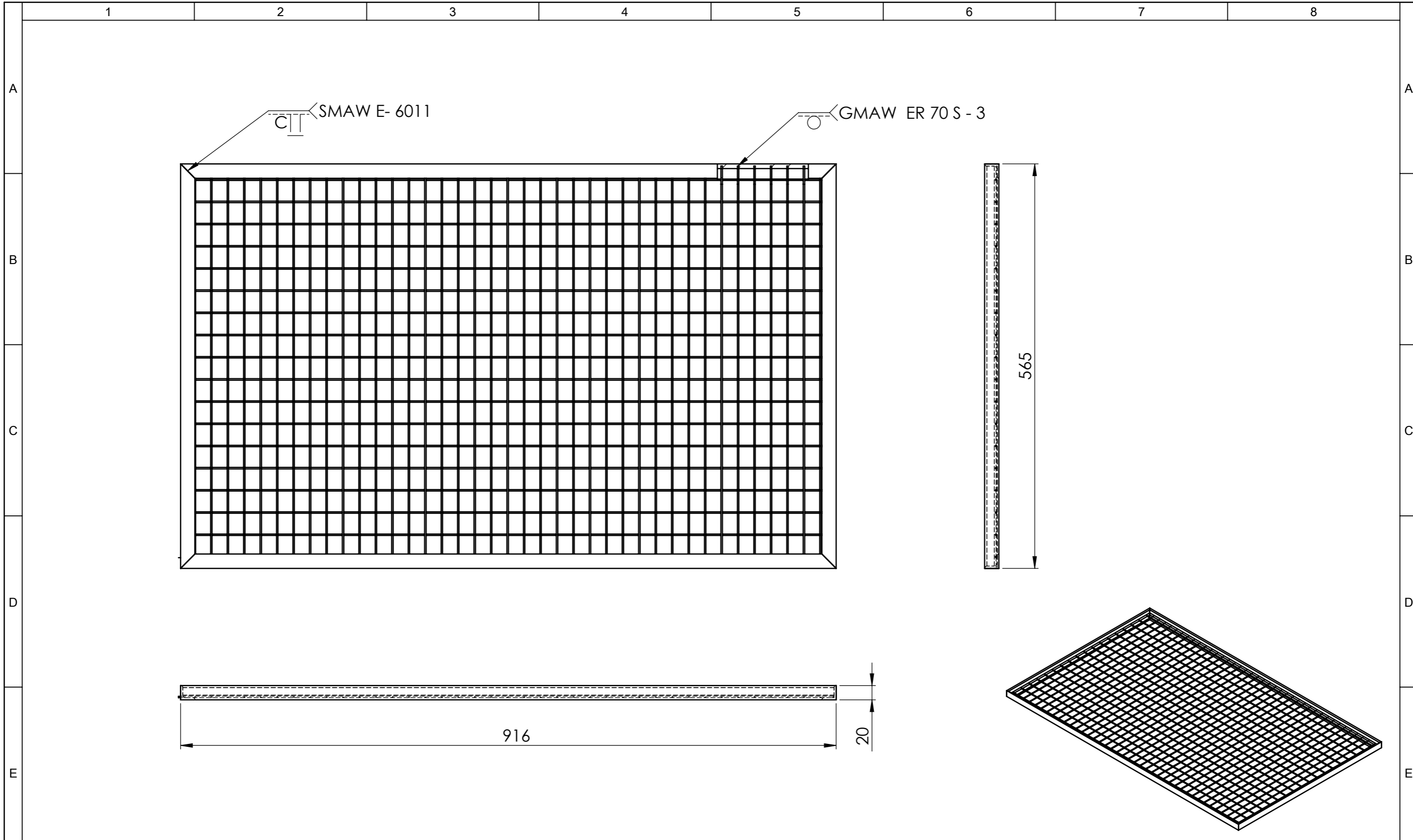


DETALLE P
ESCALA 1 : 1

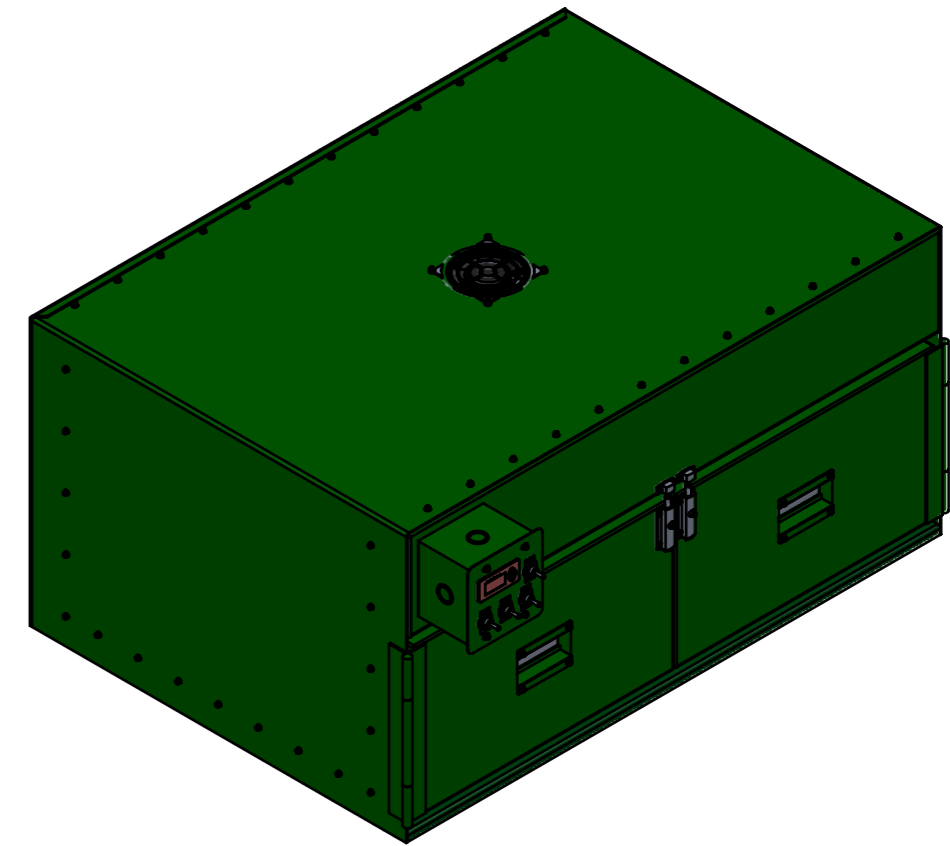
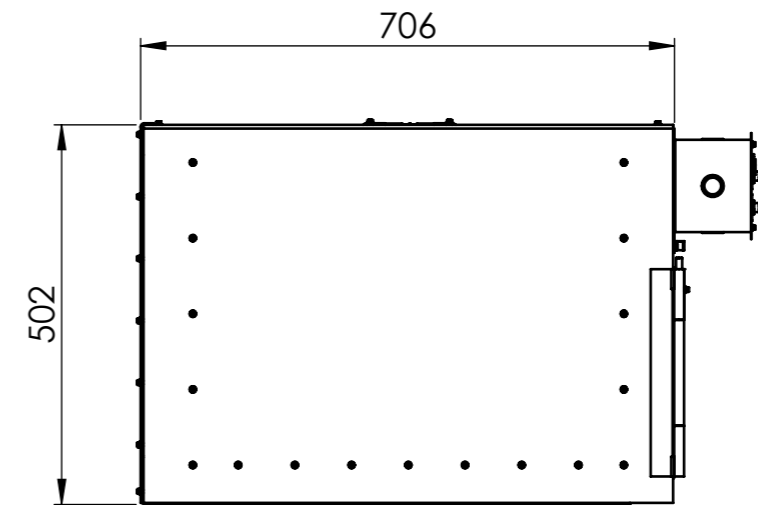
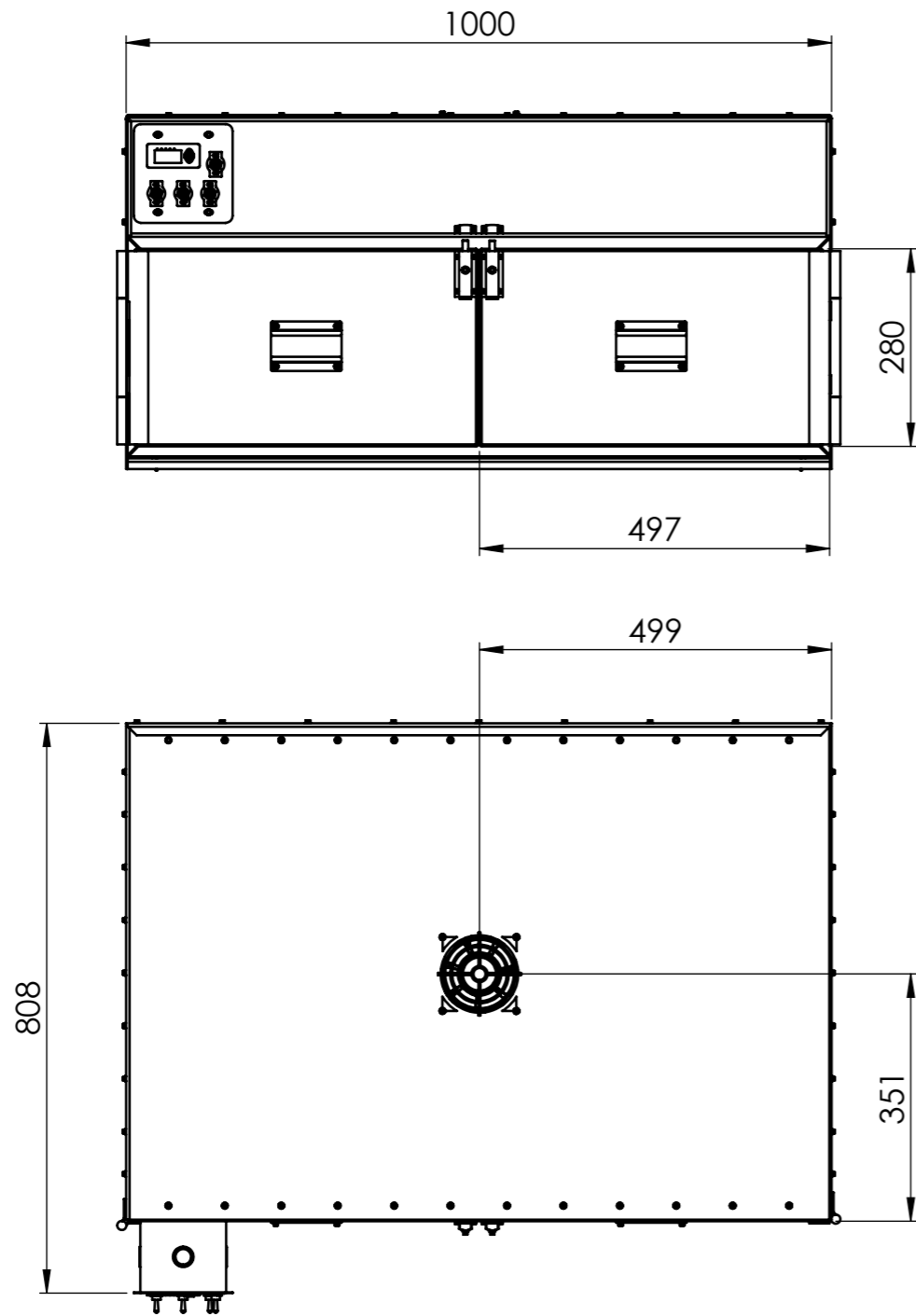
| | | | | | | | |
|---------|--------------|-------|--------|---------------|-----------------|---|---------|
| | | | | Tolerancia | (Peso) | Materiales: | |
| | | | | ±0,1 | 1,3 Kg | ACERO GALVANIZADO ASTM A 653 CS (1,4mm) | |
| | | | | Fecha | Nombre | Denominación: | Escala: |
| | | | Dib. | 17/07/13 | Juan Espinoza | | |
| | | | Rev. | 17/07/13 | Ing. Escobar L. | | |
| | | | | Apro. | 17/07/13 | Ing. Escobar L. | 1:5 |
| | | | | UTA | | Número del dibujo: 12 | |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | Ing. Mecánica | | | |



| | | | | | | | |
|---------|--------------|-------|--------|----------------------|-----------------|--|----------------|
| | | | | Tolerancia | (Peso) | Materiales: ACERO ASTM A36 | |
| | | | | ±0,1 | 0,1 Kg | | |
| | | | | Fecha | Nombre | Denominación: SEGURO DE VIDRIO | Escala: 1:1 |
| | | | Dib. | 17/07/13 | Juan Espinoza | | |
| | | | Rev. | 17/07/13 | Ing. Escobar L. | | |
| | | | Apro. | 17/07/13 | Ing. Escobar L. | | |
| | | | | UTA Ing. Mecánica | | Número del dibujo: 13 | |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | | | (Sustitución) | |

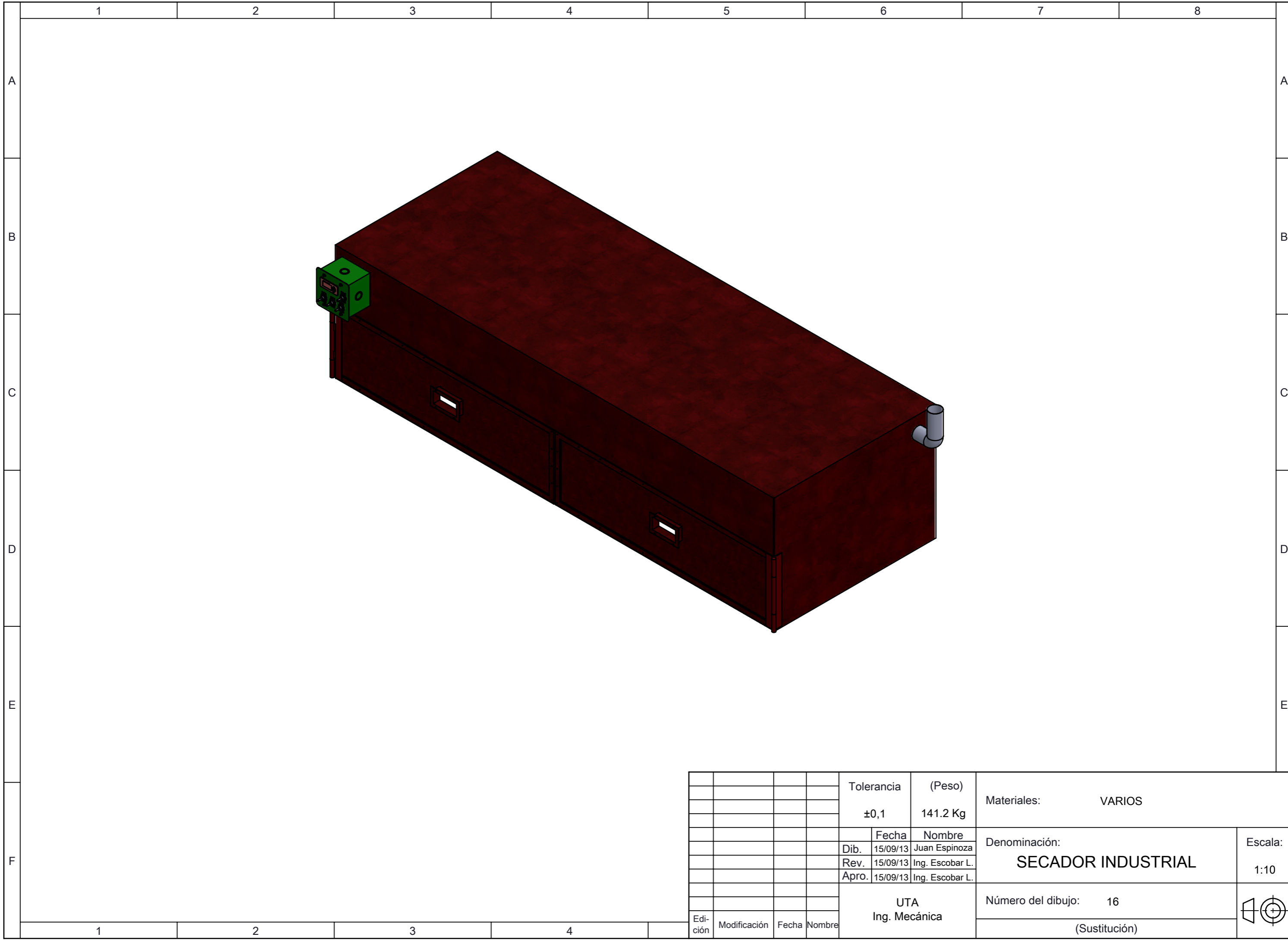


| | | | | | | | |
|---------|--------------|-------|--------|---------------|----------|-----------------------------|---------------|
| | | | | Tolerancia | (Peso) | Materiales: | |
| | | | | ±0,1 | 3.5 Kg | PERFIL ESTRUCTURAL ASTM A36 | |
| | | | | | Fecha | Nombre | Denominación: |
| | | | | Dib. | 17/07/13 | Juan Espinoza. | |
| | | | | Rev. | 17/07/13 | Ing. Escobar L. | |
| | | | | Apro. | 17/07/13 | Ing. Escobar L. | Escala: |
| | | | | UTA | | Número del dibujo: 14 | |
| | | | | Ing. Mecánica | | (Sustitución) | 1:5 |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | | | | |

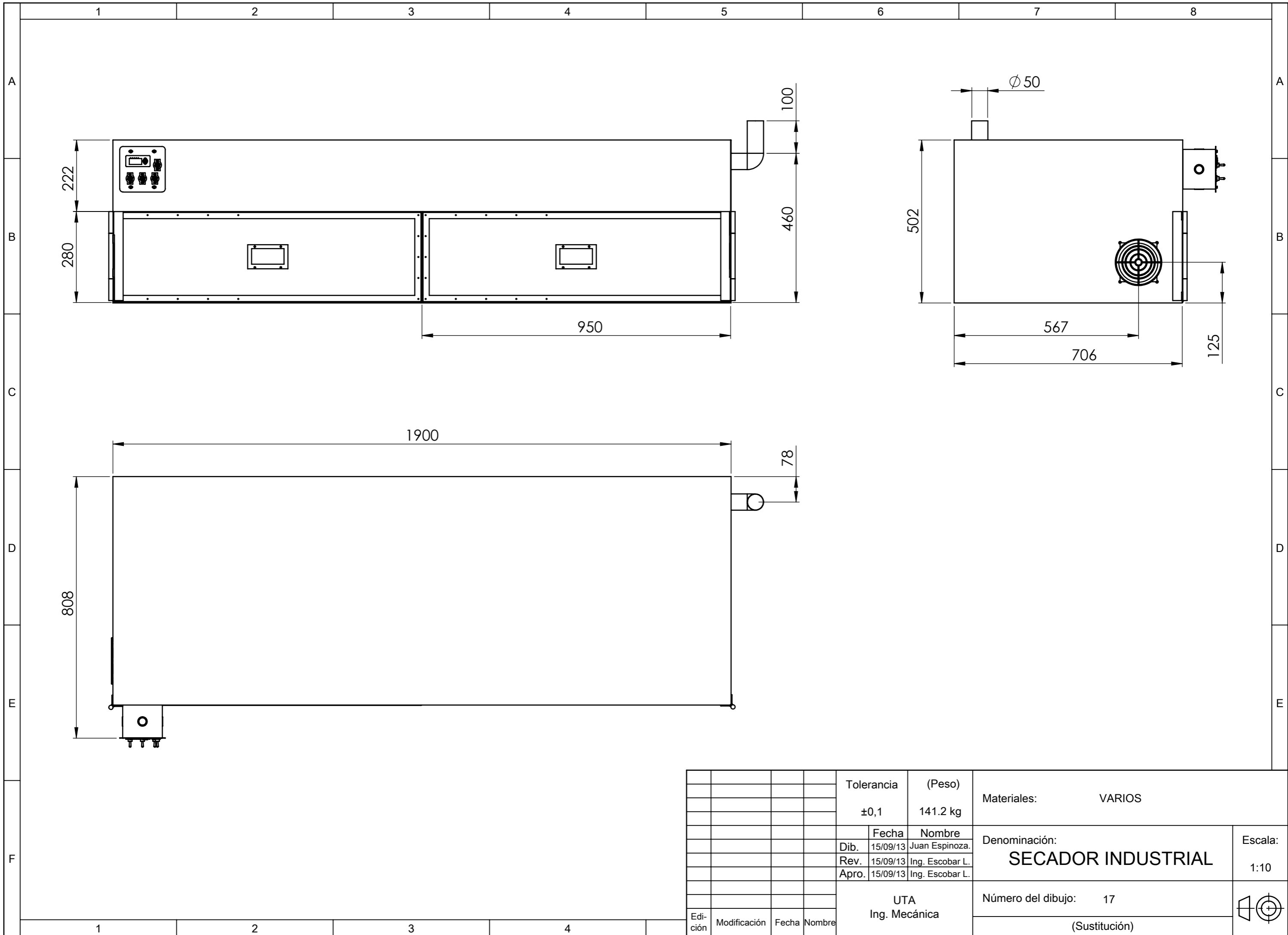


| | | | | | | | |
|--------------|--------------|-------|--------|----------------------|----------|--------------------|--|
| | | | | Tolerancia | (Peso) | Materiales: VARIOS | |
| | | | | ±0,1 | 69,2 Kg | | |
| | | | | | Fecha | Nombre | Denominación: SECADOR DE CUBETAS |
| | | | | Dib. | 17/07/13 | Juan Espinoza | |
| | | | | Rev. | 17/07/13 | Ing. Escobar L. | |
| | | | | Apro. | 17/07/13 | Ing. Escobar L. | Número del dibujo: 15 |
| | | | | | | | |
| | | | | UTA Ing. Mecánica | | (Sustitución) | |
| Edi- ción | Modificación | Fecha | Nombre | | | Escala: 1:10 | |

PLANOS SECADOR INDUSTRIAL



| | | | | | | | |
|---------|--------------|-------|--------|----------------------|----------|-----------------------|--|
| | | | | Tolerancia | (Peso) | Materiales: VARIOS | |
| | | | | ±0,1 | 141.2 Kg | | |
| | | | | | Fecha | Nombre | Denominación: SECADOR INDUSTRIAL |
| | | | | Dib. | 15/09/13 | Juan Espinoza | |
| | | | | Rev. | 15/09/13 | Ing. Escobar L. | |
| | | | | Apro. | 15/09/13 | Ing. Escobar L. | Escala: 1:10 |
| | | | | | | | |
| | | | | UTA Ing. Mecánica | | Número del dibujo: 16 | |
| | | | | | | (Sustitución) | |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | | | | |



| | | | | | | | |
|---------|--------------|-------|--------|----------------------|----------|-----------------------|--|
| | | | | Tolerancia | (Peso) | Materiales: VARIOS | |
| | | | | ±0,1 | 141.2 kg | | |
| | | | | | Fecha | Nombre | Denominación: SECADOR INDUSTRIAL |
| | | | | Dib. | 15/09/13 | Juan Espinoza. | |
| | | | | Rev. | 15/09/13 | Ing. Escobar L. | |
| | | | | Apro. | 15/09/13 | Ing. Escobar L. | Escala: 1:10 |
| | | | | UTA Ing. Mecánica | | Número del dibujo: 17 | |
| | | | | | | (Sustitución) | |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre | | | | |