

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
MECATRÓNICA



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE
SECADOR DE CAFÉ AUTOMATIZADO

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECATRÓNICO

PRESENTADA POR

Bach. HUAMÁN SAYÁN, LUIS ORLANDO

Bach. MAMANI ARROYO, ERNESTO DOMINGO

Asesor: Dr. Ing. SOTELO VALER, FREEDY

LIMA-PERÚ

2019

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios, a mis padres, abuelos, a mi novia, hermanos, compañeros y amigos quienes me brindaron consejos, apoyo y conocimientos a lo largo de mis cinco años de estudio

Luis Orlando Huamán Sayán

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios, a mis padres, hermanos, compañeros y amigos quienes me brindaron consejos, apoyo y conocimientos a lo largo de mi vida universitaria.

Ernesto Domingo Mamani Arroyo

AGRADECIMIENTOS

Mi sincero agradecimiento a Dios por su guía incondicional, por la vida y salud mía, la de mi familia en general, amigos y de personas que necesitan de él.

A mi alma mater, por haberme brindado los conocimientos de esta maravillosa carrera profesional el cual me permite mostrar mi potencial.

Un agradecimiento eterno hacia mis padres Orlando y Elizabeth, quienes me inculcaron la honestidad, el amor al prójimo y me apoyan en todo camino venidero, así como me apoyaron a lo largo de esta interesante carrera.

A mi novia, Cintya, quien me apoya y motiva en seguir estudiando y emprendiendo con ideas de negocios.

A mi abuelita, Flora (Q.E.P.D), quien me ha cuidado y guiado desde que era un niño para ser un hombre de bien y esforzarme para un mejor futuro y así apoyar a mi familia, gracias por todo, siempre te llevo en mi corazón.

A mis hermanos por el apoyo incondicional y la motivación personal para no quedarme atrás sea cual sea el obstáculo.

A mi asesor el Dr. Ing. Sotelo Valer, Freedy por la motivación y la enseñanza para la investigación y desarrollo de la Tesis, y para mi desarrollo profesional.

A mis amigos más cercanos porque con ellos hemos compartido largas horas de estudio y confianza.

Finalmente, a todos mis profesores, por compartirme los conocimientos necesarios para desarrollarme como profesional y por su calidad de enseñanza.

Luis Orlando Huamán Sayán

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a Dios, porque nos dio la vida y sabiduría para poder estar en el mundo y le estoy muy agradecido por darme la oportunidad de conocer a muchas personas buenas en el camino y por brindarme la fortaleza y guía siempre que las he necesitado.

A mi padre Domingo Mamani, por enseñarme a ser una persona decidida en la vida y por mostrarme con su ejemplo a siempre luchar y no darme por vencido ante situaciones difíciles que se nos presentan en la vida.

A mi madre Matilde Arroyo, por darme el amor y apoyo incondicional a lo largo de mi vida. Sin tu aliento diario y tu esperanza depositada en mí, nada de esto sería posible.

A mis hermanos, Xavier y Rosa, más que hermanos mejores amigos, son mi familia y siempre nos hemos estado animando, respaldando y sosteniendo de la mano en momentos buenos y los no tan buenos.

A mis tíos y primos. A toda mi gran familia que nunca me ha dejado sola, a mis abuelos Celso, Víctor, Meche (Q.E.P.D) y Rosa por siempre creer en mí y han ayudado brindándome experiencias y recuerdos invaluable. Les estaré eternamente agradecido.

A mi asesor de tesis, el ing. Freddy Sotelo Valer, eternamente agradecido por brindarme su guía, orientación y valioso tiempo dedicados a esta tesis.

A los docentes de la escuela profesional de Ingeniería Mecatrónica de la universidad Ricardo Palma, por haberme brindado los mejores conocimientos en mi formación como profesional.

Finalmente, a mis amigos y compañeros por apoyarme a través del colegio y universidad, gracias por todos los momentos divertidos y difíciles que hemos vivido.

Ernesto Domingo Mamani Arroyo

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1 Problematización	2
1.1.1 Problema general:.....	3
1.1.2 Problemas Específicos	3
1.2 Objetivos.....	4
1.2.1 Objetivo General	4
1.2.2 Objetivos Específicos.....	4
1.3 Importancia y Justificación.....	4
1.4 Alcances y limitaciones de la Investigación.....	5
1.5 Estructura de la Tesis.....	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1 Antecedentes de la Investigación.....	8
2.2 Óptica de la Investigación.....	10
2.2.1 Hipótesis General	11
2.2.2 Hipótesis Específicas	11
2.3 Selección de Variables.....	11
2.4 Bases Teóricas	12
2.4.1 El café.....	13
2.4.1.1 Historia del Café en Perú.....	14
2.4.1.2 Tipos de granos de café	14
2.4.1.2.1 Arábica	14
2.4.1.2.2 Robusta.....	16
2.4.1.2.3 Kopi Luwak.....	17

2.4.1.3 Composición del café.....	18
2.4.1.4 Proceso de transformación del café	20
2.4.1.4.1 Recolección de la semilla.....	20
2.4.1.4.2 Recibo del café.....	21
2.4.1.4.3 Beneficiado	21
2.4.1.5 Humedad del grano seco.....	22
2.4.1.6 Influencia económica en el Perú.....	23
2.4.2 Secado del café.....	24
2.4.2.1 El punto de secado del café.....	25
2.4.2.2 Factores que influyen en la velocidad del secado	27
2.4.2.2.1 Temperatura de secado.....	27
2.4.2.2.2 Humedad relativa	27
2.4.2.2.3 Eficiencia térmica del secado.....	27
2.4.2.3 Clasificación de café según el grado de humedad	28
2.4.2.3.1 Oreado	28
2.4.2.3.2 Húmedo	28
2.4.2.3.3 Mojado:	29
2.4.3 Tipos de secadores de café.....	30
2.4.3.1 Secado natural o solar	30
2.4.3.1.1 Secado en Patio	30
2.4.3.1.2 Secado en carros de madera	31
2.4.3.1.3 Secado en Elbas.....	32
2.4.3.1.4 Marquesina.....	32
2.4.3.2 Secadores mecánicos	33
2.4.3.2.1 Secado por Bomba de calor.....	33
2.4.3.2.2 Secadores de flujo cruzado.....	34
2.4.3.2.3 Secadores de tambor rotativo	35

2.4.3.2.4 Secadores de lecho fijo.....	36
2.4.4 Sistemas de control	37
2.4.4.1 Características de los sistemas de control.....	38
2.4.4.2 Clasificación de los sistemas de control según su comportamiento	39
2.4.4.2.1 Sistemas de control de lazo abierto	39
2.4.4.2.2 Sistemas de control de lazo cerrado	39
CAPÍTULO III: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO DE	
SECADOR DE CAFÉ AUTOMATIZADO.....	40
3.1 Condiciones Iniciales	40
3.1.1 Condiciones iniciales para el diseño mecánico	40
3.1.2 Condiciones iniciales para el diseño eléctrico	41
3.1.3 Condiciones Iniciales para el diseño Electrónico.....	41
3.1.4 Condiciones Iniciales para el diseño de Control por Software	41
3.1.5 Requisitos del prototipo de secador de café automatizado	41
3.1.6 Especificaciones técnicas	42
3.2 Diseño mecánico:.....	43
3.2.1 Diseño de la cámara de las resistencias eléctricas	48
3.2.2 Diseño de la cámara de secado.....	53
3.2.3 Diseño de la cámara de control	62
3.3 Diseño Electrónico.....	63
3.3.1 Selección del controlador.....	64
3.3.2 Selección de componentes para Etapa de Potencia.....	64
3.3.3 Selección de Componentes Electrónicos de Baja Potencia.....	65
3.3.4 Simulación de conexiones.....	70
3.4 Diseño eléctrico:	70
3.4.1 Resistencia eléctrica.....	70
3.4.2 Interruptor termomagnético	71
3.4.3 Interruptor Diferencial	76

3.4.4 Otros materiales	78
3.4.5 Esquema eléctrico	81
3.5 Diseño de Control por Software	82
3.5.1 Cálculos Físico – Matemáticos para el control PID	82
3.5.2 Codificación	84
3.6 Implementación del Sistema	86
3.6.1 Implementación mecánica.....	87
3.6.2 Implementación Eléctrica.....	96
3.6.3 Implementación Electrónica.....	99
3.6.4 Implementación de Control por Software	102
3.6.4.1 Microcontrolador	102
3.7 Funcionamiento del Prototipo.....	103
CAPÍTULO IV: PRUEBAS Y RESULTADOS	104
4.1 Pruebas de funcionamiento y eficiencia	104
4.1.1 Pruebas de funcionamiento del Sistema.....	104
4.1.2 Pruebas de Secado en Granos de café	105
4.1.2.1 Café Mocca	106
4.1.2.1.1 Primera prueba	106
4.1.2.1.2 Segunda prueba	108
4.1.2.1.3 Tercera prueba.....	109
4.1.2.2 Café Exportación	110
4.1.2.2.1 Primera prueba	110
4.1.2.2.2 Segunda prueba	111
4.1.2.2.3 Tercera prueba.....	112
4.2 Cálculo de costos en la implementación del Sistema	113
4.2.1 Presupuesto sistema mecánico:	113
4.2.2 Presupuesto sistema eléctrico:.....	113

4.2.3 Presupuesto sistema electrónico:.....	114
4.2.4 Presupuesto total del prototipo de secador de café automatizado.....	115
4.3 Cálculo de costo neto de fabricación del prototipo.....	115
4.4 Cálculo del consumo energético del sistema	116
CONCLUSIONES	119
RECOMENDACIONES.....	121
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122
ANEXOS	128
Anexo N° 1: Dimensionado chasis parte mecánica del prototipo de secador.	128
Anexo N° 2: Dimensionado del ducto de aire de la cámara de resistencia eléctrica. ...	129
Anexo N° 3: Dimensionado de la puerta lateral de la cámara de resistencia eléctrica. ...	130
Anexo N° 4: Dimensionado de la cámara de secado.....	131
Anexo N° 5: Dimensionado del ducto de aire de la cámara de secado.	132
Anexo N° 6: Dimensionado de la rejilla metálica para granos de café.	133
Anexo N° 7: Dimensionado de la barra de soporte para la rejilla metálica.....	134
Anexo N° 8: Dimensionado de la puerta principal.....	135
Anexo N° 9: Dimensionado de la cámara de control.....	136
Anexo N° 10: Dimensionado del ventilador de la cámara de calefacción.....	137
Anexo N° 11: Dimensionado del Diodo Led de la cámara de secado.....	138
Anexo N° 12: Dimensionado de la pantalla LCD de la cámara de control	139
Anexo N° 13: Dimensionado del tablero de mando de la cámara de control.....	140
Anexo N° 14: Esquemático del circuito electrónico.....	141
Anexo N° 15: Dimensionado de la resistencia eléctrica.....	142
Anexo N° 16: Código de Programación del Sistema.....	143

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Composición en función de la parte de la planta	19
Tabla N° 2: Requerimientos del prototipo de secador de café	42
Tabla N° 3: Especificaciones técnicas del secado	43
Tabla N° 4: Especificaciones técnicas entre el aluminio y acero	44
Tabla N° 5: Propiedades del café.....	56
Tabla N° 6: Diferencias entre Arduino Nano V3 y Arduino Uno	64
Tabla N° 7: Diferencias entre Triac BT137 y Módulo Relé Arduino	65
Tabla N° 8: Diferencias entre ventilador Cooler Master y DC Brushless Fan Motor	65
Tabla N° 9: Diferencias entre Foco Led de 20W y 50W	66
Tabla N° 10: Diferencias entre Pantalla LCD 20 x 4 y LCD 16 x 2	67
Tabla N° 11: Diferencias entre Sensor de Humedad DHT11 y DHT22.....	68
Tabla N° 12: Especificaciones técnicas del Módulo Bluetooth HC-06.....	69
Tabla N° 13: Diferencia entre Resistencia eléctrica de 90ohm y 60ohm	71
Tabla N° 14: Ficha técnica del interruptor Siemens AC de 6A.....	76
Tabla N° 15: Ficha técnica del Interruptor diferencial	77
Tabla N° 16: Datos técnicos del cable vulcanizado NLT.....	79
Tabla N° 17: Construcción de un producto Mecatrónico	87
Tabla N° 18: Descripción de la Plancha de Acero.....	88
Tabla N° 19: Datos técnicos cortadora laser Salvagnini L3	89
Tabla N° 20: Peso del café por grano	105
Tabla N° 21: Especificaciones técnicas del medidor de humedad MD-4G.....	106
Tabla N° 22: Componentes mecánicos del prototipo de secado de café	113
Tabla N° 23: Componentes eléctricos del prototipo de secado de café.....	114
Tabla N° 24: Componentes electrónicos del prototipo de secado de café.....	114
Tabla N° 25: Presupuesto general.....	115
Tabla N° 26: Costo neto de fabricación del prototipo	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Patios de cemento para secado de café	2
Figura N° 2: Cafeto.....	13
Figura N° 3: Grano de Café Arábica	15
Figura N° 4: Grano de Café Robusta.....	16
Figura N° 5: Granos de Café Kopi Luwak	18
Figura N° 6: Recolección de la semilla de café	20
Figura N° 7: Proceso de transformación del café	22
Figura N° 8: Principales empresas peruanas exportadoras de café	24
Figura N° 9: Proceso de transformación del café	25
Figura N° 10: Reconocimiento de secado del café mediante el diente.....	26
Figura N° 11: Medidor de humedad para granos de café WILE COFFE.....	27
Figura N° 12: Café oreado.....	28
Figura N° 13: Café húmedo	29
Figura N° 14: Café mojado.....	29
Figura N° 15: Secado de café en Patio	31
Figura N° 16: Secado de café en Carros.....	31
Figura N° 17: Secado del café en Elbas.....	32
Figura N° 18: Secado del café en Marquesina.....	33
Figura N° 19: Secado del café por Bomba de calor.....	34
Figura N° 20: Secado por flujo cruzado	35
Figura N° 21: Secado del café por Tambor Rotativo.....	36
Figura N° 22: Secado del café por lecho fijo.....	36
Figura N° 23: Esquema general de un sistema	37
Figura N° 24: Esquema general de un sistema de control	38
Figura N° 25: Sistema de control de lazo abierto	39
Figura N° 26: Sistema de control de lazo cerrado	39
Figura N° 27: Parte frontal del secador de café elaborada en Catia	45
Figura N° 28: Parte posterior del secador de café elaborada en Catia.....	45
Figura N° 29: Chasis completo del secador de café elaborada en Catia.....	46
Figura N° 30: Lámina de acero elaborada en Catia	46
Figura N° 31: Lámina de acero a 45 °C elaborada en Catia	47

Figura N° 32: Separación de las 3 cámaras elaborada en Catia.....	48
Figura N° 33: Cámara de la resistencia eléctrica elaborada en Catia V5	49
Figura N° 34: Cámara de la resistencia eléctrica a 55 °C elaborada en Catia	50
Figura N° 35: Dimensionado ducto de aire elaborada en Catia.....	50
Figura N° 36: Ducto de aire en 3D elaborada en Catia	51
Figura N° 37: Diseño del ventilador elaborada en Catia	51
Figura N° 38: Diseño del recipiente de resistencia eléctrica elaborada en Catia	52
Figura N° 39: Puerta de cámara de resistencia eléctrica elaborada en Catia.....	52
Figura N° 40: Cámara de secado de café en 3D elaborada en Catia	53
Figura N° 41: Dimensionado de la cámara de secado elaborada en Catia	54
Figura N° 42: Cámara de secado a 45 °C elaborada en Catia.....	54
Figura N° 43: Ducto de ingreso de aire a cámara de secado elaborada en Catia.....	55
Figura N° 44: Ducto de desfogue de aire de cámara de secado elaborada en Catia.....	55
Figura N° 45: Rejilla metálica en 3D elaborada en Catia.....	57
Figura N° 46: Resistencia térmica de la rejilla a 50 °C	58
Figura N° 47: Carril derecho elaborado en 3D elaborada en Catia	58
Figura N° 48: Puerta para el ingreso a cámara de secado elaborada en Catia.....	59
Figura N° 49: Descripción de los vidrios.....	60
Figura N° 50: Resistencia térmica del vidrio templado elaborado en Catia.....	61
Figura N° 51: Dimensionado de la perilla en 3D en Catia	61
Figura N° 52: Resistencia térmica de la empaquetadura de silicona en Catia.....	62
Figura N° 53: Cámara de control a 25 °C elaborada en Catia V5	63
Figura N° 54: Deformación térmica del ventilador en cámara de resistencia	66
Figura N° 55: Diseño Electrónico acoplado al Arduino Nano V3	70
Figura N° 56: Dimensionado de la resistencia de 90 Ω	71
Figura N° 57: Tipos de interruptores termomagnéticos.....	72
Figura N° 58: Medición amperaje del sistema de control	74
Figura N° 59: Interruptor termomagnético de dos polos	75
Figura N° 60: Interruptor diferencial	77
Figura N° 61: Tiempo de respuesta según intensidad diferencial nominal	78
Figura N° 62: Cable INDECO calibre NLT: 18 AWG.....	78
Figura N° 63: Dimensionado del conector hembra en 3D en Catia.....	79
Figura N° 64: Interruptor bipolar de 220V	80
Figura N° 65: Tomacorriente.....	80

Figura N° 66: Regleta clema eléctrica.....	80
Figura N° 67: Esquema eléctrico en Cade_Simu v3.....	81
Figura N° 68: Simulación del esquema eléctrico en Cade_Simu v3	82
Figura N° 69: Diagrama de un control PID	84
Figura N° 70: Entorno de desarrollo IDE Arduino 1.0.6.....	85
Figura N° 71: Diagrama de bloques del Sistema de Control Realimentado.....	86
Figura N° 72: Planchado de Acero Inoxidable	87
Figura N° 73: Cortadora Laser Salvagnini L3	88
Figura N° 74: Proceso de corte en la cortadora Laser Salvagnini L3	89
Figura N° 75: Construcción del chasis del secador de café.....	90
Figura N° 76: Construcción del chasis de la cámara de resistencia eléctrica.....	90
Figura N° 77: Construcción del chasis de la cámara de secado de café.....	91
Figura N° 78: Construcción del chasis de la cámara de control del secado de café.....	91
Figura N° 79: Maquina soldadora TIG 250	92
Figura N° 80: Proceso de soldadura con la maquina TIG 250	92
Figura N° 81: Cámara de resistencia eléctrica terminada.....	93
Figura N° 82: Cámara de secado de café.....	93
Figura N° 83: Rejilla elaborada con acero inoxidable 304.....	94
Figura N° 84: Desfogue de la cámara de secado	94
Figura N° 85: Puerta hecha de acero inoxidable 304.....	95
Figura N° 86: Puertas instaladas en el prototipo de secado de café	95
Figura N° 87: Aberturas elaborada con esmeril MAKITA en la cámara de control	96
Figura N° 88: Implementación del interruptor termomagnético y diferencial	97
Figura N° 89: Interruptor termomagnético C6 5SY62	97
Figura N° 90: implementación del interruptor bipolar 220V	98
Figura N° 91: Resistencia eléctrica de 90 ohmios	98
Figura N° 92: Fuentes de poder del sistema electrónico	99
Figura N° 93: Implementación Electrónica	100
Figura N° 94: Implementación del MOC3021, Triac BT137 y Arduino Nano V3	100
Figura N° 95: Ventilador de cabina de control en funcionamiento	101
Figura N° 96: Ventilador de cámara de calefacción en funcionamiento	101
Figura N° 97: Arduino Nano V3.....	102
Figura N° 98: Switch On-Off, tablero de control y LCD Display.....	103
Figura N° 99: Gráfica Tiempo vs Temperatura de los granos de café	104

Figura N° 100: Medidor de humedad	105
Figura N° 101: Gráfica Tiempo vs Humedad de granos de café Mocca – Prueba 1	107
Figura N° 102: Grano de café Mocca con 12% de humedad – Prueba 1	107
Figura N° 103: Gráfica Tiempo vs Humedad de granos de café Mocca – Prueba 2....	108
Figura N° 104: Grano de café Mocca con 11% de humedad – Prueba 2	108
Figura N° 105: Gráfica Tiempo vs Humedad de granos de café Mocca – Prueba 3	109
Figura N° 106: Grano de café Mocca con 10% de humedad – Prueba 3	109
Figura N° 107: Gráfica Tiempo vs Humedad de café Exportación – Prueba 1.....	110
Figura N° 108: Grano de café Exportación con 12% de humedad – Prueba 1.....	110
Figura N° 109: Gráfica Tiempo vs Humedad de café Exportación – Prueba 2.....	111
Figura N° 110: Grano de café Exportación con 11% de humedad – Prueba 2.....	111
Figura N° 111: Gráfica Tiempo vs Humedad de café Exportación – Prueba 3.....	112
Figura N° 112: Grano de café Exportación con 10% de humedad – Prueba 3.....	112

RESUMEN

Esta tesis ha tenido como objetivo el diseño y desarrollo de un prototipo de sistema de secado para granos de café el cual conlleva un sistema de control realimentado para el proceso de calefacción estable y con la finalidad de que, los granos de café que ingresan húmedos lleguen a la temperatura deseada tal como se ha realizado en las pruebas logrando una estabilidad de 45 °C en la cámara de secado para un secado uniforme.

Se ha realizado el diseño y simulación mecánica del sistema mediante el programa Catia V5, el cual incluyó el dimensionado previo de los componentes eléctricos y electrónicos, las dimensiones del contenedor para 500gr de granos de café y la temperatura y el tiempo de secado para cada tipo de grano de café para cumplir con los estándares de seguridad utilizados en el campo de la automatización resultando el acero inoxidable 304 como material a utilizar para la construcción del prototipo por su excelente resistencia a la corrosión y adicionalmente puede ser soldado utilizando la mayoría de las técnicas de soldadura.

Al término del diseño se realizaron los cálculos para validar que el diseño propuesto haya cumplido con los requerimientos establecidos para un correcto funcionamiento tales como tensiones de Von Mises para una temperatura de 55 °C para calcular la resistencia térmica de las tres cámaras: calefacción, secado y de control,

Finalmente se procedió a realizar las diferentes pruebas para corroborar el resultado de la simulación y el control realimentado obteniendo un tiempo de secado de 20hrs y logrando el 11% de humedad en los granos secos.

Se realizaron cálculos de costo de implementación mecánica, eléctrica y electrónica, así como el presupuesto total del prototipo y, adicionalmente a ello se realizó el cálculo del consumo energético logrando una reducción significativa en el consumo.

Palabras claves: Sistemas de control, Ingeniería Mecatrónica, Automatización, Secador de café, Granos de café, Von Mises.

ABSTRACT

This thesis has had as objective the design and development of a prototype drying system for coffee beans which involves a feedback control system for the stable heating process and with the purpose that the coffee beans entering wet reach at the desired temperature, as has been done in the tests, achieving a stability of 45 °C in the drying chamber for uniform drying.

The design and mechanical simulation of the system was carried out by the Catia V5 program, which included the previous dimensioning of the electrical and electronic components, the dimensions of the container for 500gr of coffee beans and the temperature and drying time for each type of coffee grain to meet the safety standards used in the field of automation resulting in 304 stainless steel as the material to be used for the construction of the prototype for its excellent resistance to corrosion and additionally can be welded using most of the techniques of welding.

At the end of the design, the calculations were performed to validate that the proposed design has met the requirements established for proper operation such as Von Misses voltages for a temperature of 55 °C to calculate the thermal resistance of the three chambers: heating, drying and control,

Finally, the different tests were carried out to corroborate the simulation result and the feedback control, obtaining a drying time of 20hrs and achieving 11% of humidity in the dry grains.

Cost calculations for mechanical, electrical and electronic implementation were made, as well as the total budget of the prototype and, additionally, the calculation of energy consumption was made, achieving a significant reduction in consumption.

Key words: Control systems, Mechatronics Engineering, Automation, Coffee Dryer, Coffee Beans, Von Misses.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la tendencia para el secado de granos de café poco a poco se inclina hacia la automatización, esto es importante, debido a que los comerciantes de café venden un producto el cual garantice la calidad en el sabor y aroma, siendo este tipo de productos los más costosos.

El Perú también se ha visto beneficiado con la innovación de las máquinas secadoras de café, aunque esto es un proceso a mediano plazo, se espera que la mayoría de los comerciantes puedan beneficiarse con un sistema cada vez más automatizado para así mejorar en producción manteniendo la calidad de cada grano. Ante esto se explica también sobre nuestro país como comerciante de estos exquisitos granos.

Ministerio de Agricultura y riego (s.f.) indica lo siguiente: “El Café es el primer producto agrícola peruano de exportación, siendo el séptimo país exportador de café a nivel mundial. No solo lidera las exportaciones agrícolas sino está dentro de los 10 principales productos de exportación, después de algunos minerales”.

“El café es una bebida antioxidante, principalmente por la presencia de polifenoles, que ayuda a reducir y eliminar los radicales libres” (Magem, p.5).

Por lo que es necesaria la integración de procesos de secado a corto plazo para su elaboración desde el grano del cafeto hasta el café servido en mesa.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Problematización

El café es el primer producto agrícola peruano de exportación y es el séptimo país exportador de café a nivel mundial. No solo lidera las exportaciones agrícolas sino está dentro de los 10 principales productos de exportación, después de algunos minerales, petróleo, gas natural, harina de pescado, entre otros. (Ministerio de Cultura y Riego del Perú, 2015)

La problemática radica en el proceso de secado del café, ya que lamentablemente la mayoría de agricultores del Perú realizan un proceso de secado tradicional (secado mediante la luz del sol en patios de cemento), (ver figura N° 1), el cual toma de 4 a 5 días dependiendo del clima del día, a su vez es muy difícil saber la humedad con el cual el proceso de los granos de café da por finalizada.



Figura N° 1: Patios de cemento para secado de café

Fuente: “GrainPro patios en Finca Los Pirineos”, por Perfect Daily Grind (2017)

Con respecto a las dificultades de realizar un secador de café tradicional COFFEEIQ (s.f) comenta:

En las formas de secado al sol, el café toma aproximadamente 40 horas para llegar al porcentaje de humedad deseado. Esto son aproximadamente 5 días, pero puede tomar un poco más dependiendo de las condiciones climatológicas.

Secarlo demasiado tampoco es conveniente, ya que un grano demasiado seco se vuelve quebradizo, y puede dañarse fácilmente en la trilla, generando gran cantidad de defectos por granos partidos.

Por los motivos explicados anteriormente, este trabajo de tesis busca automatizar el proceso de secado del café mediante la realización de un prototipo de horno, el cual ayude a minimizar el tiempo secado sin perder la calidad de la misma.

1.1.1 Problema general:

¿Cómo realizar el secado automático de café, tomando en cuenta los parámetros de temperatura y humedad?

1.1.2 Problemas Específicos

- a. ¿Cómo lograr el mecanismo adecuado para el proceso de secado automático del café?
- b. ¿Cómo suministrar la energía eléctrica necesaria al sistema de secado automático de café?
- c. ¿Cómo lograr el control para la recepción/emisión de las señales hacia los actuadores del prototipo?
- d. ¿Cómo lograr describir la unidad lógica que permita el control del prototipo de secador de café automatizado?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Diseñar e implementar un prototipo de Secador de Café automático el cual permita el secado de los granos de café sin exceder en temperatura ni tiempos, logrando que el grano cumpla con las condiciones establecidas de calidad.

1.2.2 Objetivos Específicos

Ésta tesis tiene como objetivos específicos:

- a. El diseño e implementación de un sistema mecánico adecuado que sea liviano y soporte el peso establecido, así como la temperatura de operación.
- b. El diseño e implementación de un sistema eléctrico adecuado para suministrar la corriente requerida por el sistema de secado automático.
- c. El diseño e implementación de un sistema electrónico adecuado para el buen funcionamiento de cada etapa de control, la recepción de señales de los sensores y emisión de señales hacia los actuadores.
- d. El diseño e implementación de un sistema con una programación eficiente para la etapa de control y realimentación de los sensores y actuadores del prototipo.

1.3 Importancia y Justificación

La importancia de la presente Tesis radica en el desarrollo de una tecnología el cual es más eficaz para el secado del café, ya que se observan máquinas que tienen la misma finalidad, pero no son netamente automáticas y, muy aparte de ello el café tiene que terminar con las condiciones de humedad que está especificado para considerarse una buena calidad de café.

Por ello es importante el avance tecnológico en este campo ya que nos permite exportar granos de café de calidad y sin tomarnos mucho tiempo en el procesado, obteniendo como resultado una mejora económica notable

1.4 Alcances y limitaciones de la Investigación

La presente tesis consiste en el diseño de un prototipo de horno automático para el secado de granos de café el cual se adapta a las necesidades de la industria por realizar el trabajo de secado en un menor tiempo posible sin afectar la calidad del grano de café.

Se tiene como componentes principales del prototipo a:

- Plataforma de mando y monitoreo
- Sistema de calefacción
- Módulo de alimentación

El presente diseño es creado pensando en la facilidad económica para la adquisición del sistema, así como en lo eficaz que el sistema puede resultar para la obtención de granos de café secos y sin necesidad de perjudicar la estructura y, por ende, el sabor del mismo.

Los inconvenientes durante el proceso fueron:

- El sensado de la humedad del café, ya que actualmente el sensado en las máquinas secadoras de café lo realiza un dispositivo externo.
- Viajar para la obtención de los granos de café y la realización de pruebas
- La implementación correcta del sistema

1.5 Estructura de la Tesis

La presente Tesis está dividida en cuatro (04) capítulos, conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos los cuales presentan un breve resumen a continuación.

➤ Capítulo I. Planteamiento del Problema

En este capítulo se realiza la introducción a la Tesis, el planteamiento del problema, objetivos, importancia y justificación, alcances y limitaciones de la investigación; así mismo se realiza la descripción de la estructura de la Tesis y se conoce el resumen de cada capítulo.

➤ Capítulo II. Marco teórico

En este capítulo se desarrolla la descripción de antecedentes, la óptica de investigación, así como la selección de variables y los conceptos teóricos que abarca esta investigación, de igual manera se realiza el enfoque en máquinas secadoras de café y su selección por tipo de trabajo.

Finalmente se describe el funcionamiento de cada componente que comprende el sistema, así como sus características técnicas.

➤ Capítulo III. Diseño, Simulación Matemática e implementación del Sistema Secador de café.

En éste capítulo se desarrolla y describe el diseño mecánico, eléctrico, electrónico, así como el desarrollo de la programación para el control y el sistema de sensado en tiempo real. Iniciando con la selección de los sensores para la captación de temperatura y humedad y los actuadores para el control y realimentación del sistema, luego se realiza el diseño mecánico para la estructura y soporte donde se indican las dimensiones y el material a utilizar, seguido del diseño eléctrico – electrónico en el que se analiza el diseño e implementación del circuito hasta llegar a la etapa de la programación que es donde mediante software se introduce la lógica de control a fin

de obtener un sistema realimentado. Finalmente se realiza la implementación del sistema.

➤ Capítulo IV. Pruebas y Resultados

En este capítulo se muestran las pruebas realizadas para cada variedad de café, así como el análisis y la realimentación de los procesos y los cambios que son necesarios realizar.

Se realiza el cálculo de los gastos parciales y totales en el cual está incluido el costo de componentes para el desarrollo del prototipo siendo este resultado comparado con el costo de una máquina secadora de café actual.

➤ Conclusiones

Finalmente, se presentan las conclusiones de la investigación las cuales asumen la aceptación de la hipótesis general y específica.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

Es este capítulo se mencionan los antecedentes de las tesis que se toman como base y referencia para la automatización de un prototipo de secado de café. También se describe la óptica de la investigación.

Finalmente se presentan las bases teóricas que dan sustento y complementan las variables que se utilizaron para la elaboración de la tesis.

2.1 Antecedentes de la Investigación

A continuación, se presentan los aportes nacionales e internacionales más importantes necesarios para el desarrollo de la investigación de la tesis, basados en el desarrollo de sistemas automatizados de secado de café.

Según Espinoza Martinez Cristina y Ruiz Buitron Valeria, en su tesis para obtener el título de Ingeniero en Mecatrónica, titulada “Diseño y construcción de una maquina secadora de cacao para aplicación agroindustrial en la provincia de Santo Domingo de los Tsachilas”. Universidad de las Fuerzas Armadas, facultad de ingeniería, Sangolqui, Ecuador. Se presenta el estudio y realización de diseñar y construir una maquina secadora de cacao, con la que se pretende disminuir el tiempo de secado del mismo sin afectar su calidad, aroma y sabor.

En la tesis mencionada se concluye que: “Se puede optimizar el tiempo de secado en relación al necesario de manera natural, siendo este de 5 días en condiciones soleadas; con la secadora se requiere un total de 6 horas 49 minutos” (Espinoza y Ruiz, 2015, p. 223).

Según Hernandez Delgado Raul y Ramirez Cañas Alvaro, en su tesis para obtener el título de Ingeniero Químico, titulada “Diseño de un sistema de secado de café, mediante la utilización de un fluido geotérmico de baja entalpia como fuerza térmica”. Universidad de El Salvador, facultad de ingeniería y arquitectura, San Salvador. En dicha tesis se presentan los beneficios que se puede tener utilizando fluido geotérmico de baja entalpia, en el cual para generar esos ahorros se desarrolla un intercambiador de calor a partir de

su diseño, que funcione con los parámetros fisicoquímicos de aire ya establecidos en los secadores actuales. En dicha tesis también se concluye que:

Los intercambiadores de calor pueden alcanzar la temperatura requerida en el secador de café, a partir de las condiciones de entrada establecidas previamente, de manera que los hornos actuales que trabajan con combustibles fósiles, pueden ser sustituidos por intercambiadores de calor que utilicen un recurso renovable. (Hernandez y Ramirez, 2016, p.52)

Según Tacuri Guaman Leopoldo y Quintana Guillen Marcelo, en su tesis para obtener el título de Ingeniero Mecánico, titulada “Diseño concurrente de una secadora vertical intermitente para arroz”. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, facultad de ingeniería mecánica, Riobamba, Ecuador. Presenta el planteamiento de los siguientes objetivos específicos: Definir los parámetros funcionales y geometría general de la máquina, diseñar el sistema de control y automatización de la secadora y determinar el proceso de secado. En esta tesis se menciona que:

Utilizando las herramientas computacionales modernas se puede ahorrar tiempo y lograr mejor precisión en el diseño de elementos, mecanismos y partes que constituyen la maquina secadora, debido a que se verifica los resultados teóricos con los experimentales y obtener un diseño confiable de la máquina. (Tacuri y Quintana, 2010, p. 196)

Según Vega Arnao Romel y Martinez Salazar Whaltong, en su tesis para obtener el título de Ingeniero Eléctrico, titulada “Diseño e implementación de un sistema rotatorio de flujo constante para secado de cacao utilizando transferencia de calor por convección y control predictivo basado en modelo”. Universidad Politécnica Salesiana, facultad de ingeniería, Guayaquil, Ecuador. Tiene como objetivos específicos implementar una cámara de secado garantizando el secado óptimo y uniforme en cada etapa del proceso obteniendo la humedad mínima aceptable, y diseñar un sistema que permita realizar el proceso sin interferencia de cambios climáticos externos asegurando la calidad del producto.

En dicha tesis se señala que: “La velocidad de respuesta, eficiencia y robustez del controlador PID contra los de MPBC son superiores para la realización de sistema de secado” (Vega y Martinez, 2015, p.97).

Según Vasquez Tantas, Gustavo, en su tesis para obtener el título de Ingeniero Mecánico Eléctrico, titulada “Modelación matemática, simulación, análisis paramétrico y financiero de una cámara de secado solar para cacao”. Universidad de Piura, facultad de ingeniería, Piura, Perú. Basa su investigación en un secador solar indirecto y se estudia los fenómenos físicos que se producen, modelando los balances de masa y energía del aire desecante y del cacao. Esta tesis concluye que:

La velocidad de secado depende directamente de la temperatura que tenga el cacao, por lo cual es necesario controlar la temperatura del cacao, esto será posible mediante el control de flujo másico del aire desecante. También se determina que la humedad específica del aire en la cámara de secado es a partir de la cantidad de vapor evaporado en el cacao. (Vasquez, 2017, pp. 115-116)

Según Rosa Marin German y Ortega Torres Diego, en su tesis para obtener el título de Ingeniero Electromecánico, titulada “Diseño y construcción de un secador solar por convección de aire caliente automatizado de pequeña escala para el secado de café para la universidad nacional de Loja”. Universidad Nacional de Loja, facultad de ingeniería, Loja, Ecuador. Tiene como objetivo principal sistematizar la información que permita seleccionar el secador solar más adecuado para la deshidratación de café. En dicha tesis se concluye que:

Es posible la realización del secador solar sin perder la calidad y garantía del café, y lo más importante poder restar el tiempo del proceso. También para una mayor eficiencia del colector se podría adaptar láminas reflectoras planas a los lados. (Rosa y Ortega, 2011, p.128)

2.2 Óptica de la Investigación

El presente trabajo de tesis, en función al déficit encontrado en el proceso de secado de café en el Perú y en orden de cumplir con los objetivos generales y específicos, plantea las siguientes hipótesis.

2.2.1 Hipótesis General

Es posible diseñar e implementar un prototipo de secador de café automatizado reduciendo el tiempo de secado, con costos asequibles y lo más importante que no afecte las características organolépticas del grano de café.

2.2.2 Hipótesis Específicas

- a. Es posible diseñar e implementar un sistema mecánico eficiente y adecuado para el proceso de secado de granos de café, reduciendo el tiempo de secado y sin afectar las características organolépticas del grano del café.
- b. Es posible diseñar e implementar un sistema eléctrico adecuado y eficiente para el proceso de secado de granos de café, reduciendo el tiempo de sacado y sin afectar las características organolépticas del grano de café.
- c. Es posible diseñar e implementar un sistema electrónico adecuado y eficiente para el proceso de secado de granos de café, reduciendo el tiempo de sacado y sin afectar las características organolépticas del grano de café.
- d. Es posible diseñar e implementar un sistema de control eficiente mediante un software para la conexión y automatización de las partes antes mencionadas: Mecánica, eléctrica y electrónica. Para el proceso de secado de granos de café, reduciendo el tiempo de secado y sin afectar las características organolépticas del grano de café.

2.3 Selección de Variables

Para esta tesis, con el fin de verificar las hipótesis, se definen las variables las cuales serán analizadas y manipuladas para alcanzar los objetivos propuestos.

Se presenta a continuación las variables:

❖ Indicadores:

- Programación del control PID para la estabilidad térmica X1
- Características de los sensores y actuadores elegidos X2
- Capacidad del procesamiento del programa X3
- Temperatura ambiente X4

2.4 Bases Teóricas

En esta sección se presentan los sustentos teóricos los cuales ayudan a comprender mejor a la investigación.

Iniciando por la teoría sobre los granos de café, el cual comprende la historia, tipos, características e importancia en la sociedad, los cuales serán fundamentales para este estudio.

Se realiza la explicación sobre secadores de café, su historia, tipos, entre otras características los cuales nos permite conocer más sobre este proceso de secado y el impacto que ha tenido en su momento.

Finalmente se trata el tema de sistemas de control, ya que es el pilar de la automatización y la tendencia de la nueva era tecnológica y, de igual manera relevante en el desarrollo de este sistema, ya que la máquina se enfoca en ello, en la posibilidad de realizar procesos automáticos.

2.4.1 El café

Con respecto al significado del café, Cafetera de Cápsulas (s.f) explica:

El café es una bebida muy popular que se obtiene de la semilla de un arbusto denominado Cafeto. Esta semilla es molida y tostada para obtener el polvo que se utiliza para la elaboración de la bebida. (ver figura N° 2)

Es consumido generalmente caliente pero también en bebidas frías. Para su crecimiento es necesario un tipo específico de clima que sea estable y donde exista mucha humedad y calidez.

El café posee una sustancia llamada cafeína, el cual es su activo principal. La cafeína funciona como un estimulante que disminuye la fatiga y la somnolencia, mientras que dota de bienestar y euforia al organismo permitiendo que el cuerpo pueda permanecer más alerta física y mentalmente.

El café también posee varias características que se evalúan al momento de comprobar o juzgar su calidad ya sea la acidez, el aroma, el cuerpo, el sabor y la impresión global.



Figura N° 2: Cafeto

Fuente: “Cafeto”, por Cafetera de Cápsulas, (s.f.)

2.4.1.1 Historia del Café en Perú

Café Perú (2013) describe la historia del café peruano:

El café llegó a América con los inmigrantes europeos en el siglo XVIII y ellos introdujeron su cultivo en Centro América y Sudamérica. Para mediados del siglo XVIII el café ya era producido en Chanchamayo, Moyobamba, Jaén, Huánuco y Cusco, para el consumo local y para la exportación a Alemania, Chile y Gran Bretaña. El primer café de Lima se abrió en 1791.

Desde 1850 los inmigrantes europeos introdujeron el café al valle de Chanchamayo, junto a la coca, tabaco, cacao y caña de azúcar. En 1930, capitales ingleses consolidan como zona cafetera el valle de Chanchamayo.

Desde fines del siglo XX, la producción de café peruano ha mejorado no solo en cantidad, sino en calidad. El café orgánico del Perú tiene una buena fama internacional.

Por otra parte, se conoce como café también a la bebida que se elabora mediante la infusión de esta semilla tostada y molida. Se trata de una bebida socializadora, ya que las personas suelen reunirse en torno a la práctica de beber café. En este sentido, el café es una excusa para las reuniones sociales y la conversación.

2.4.1.2 Tipos de granos de café

2.4.1.2.1 Arábica

COFFEEIQ (s.f) nos detalla la historia del café Arábica:

La especie arábica (*coffea Arábica*) es nativa de la parte central de Etiopía. El nombre Arábica fue dado a esta especie por el botánico Carolus Linnaeus quien incorrectamente creyó que se había originado en la península Arábica, en lo que actualmente es Yemen.

Aún se debate en cuál de los dos lugares se descubrió en realidad, pero la mayoría de teorías apuntan a Etiopía como lugar de origen, y al pastor Kaldi como la persona que lo descubrió.

Cafés Orús (2012) describe en su web:

El café Arábica se cultiva a gran altitud y tiene menos cafeína, mientras que el Robusta se cultiva en zonas más bajas y tiene mayor cantidad de cafeína.

El grano de Arábica se caracteriza por ser más plano y alargado que la variedad Robusta, además, cuenta con un surco ondulado. La variedad Arábica es la única especie de *Coffea* que cuenta con 44 cromosomas y su contenido en cafeína oscila entre el 0,9% al 1,7%. (ver figura N° 3)

“Considerados el champán del café, los granos de Arábica tienen una asombrosa riqueza aromática que produce un sabor suave y profundo al mismo tiempo” (Philips, 2019, p.10).



Figura N° 3: Grano de Café Arábica
Fuente: “Coffea Arabica”, por Verema (2014)

2.4.1.2.2 Robusta

El café Robusta proviene del África Central. Su crecimiento se da en regiones secas, y este es uno de los motivos por el cual su sabor es más amargo que el café arábica y menos digestivo también. Por otro lado, en contraste con el arábico, el café robusta posee una mayor concentración de cafeína. (Nestlé, 2017)

Mundo del Café (s.f) por su parte, comenta lo siguiente:

Sin embargo, no consigue superar a la arábica en el consumo mundial. Y es que tanto su aroma como su sabor son inferiores. Otra diferencia importante, es que su concentración de cafeína es entre 2 y 3 veces superior a la arábica, en un grano considerablemente más pequeño.

Debido a su bajo coste, de entre todos los tipos de granos de café, éste es el ideal para la fabricación de solubles, mezclas y cafés de baja calidad. Aunque en la actualidad, se ha conseguido mejorar bastante sus propiedades organolépticas, por lo que comienza a filtrarse en mercados más exigentes. (ver figura N° 4)



Figura N° 4: Grano de Café Robusta
Fuente: “Coffea Robusta”, por Verema (2014)

2.4.1.2.3 Kopi Luwak

El Universo (2012) relata el origen y proceso de este grano de café:

UBUD, Indonesia.- Una original receta que contiene las heces de la civeta (animal carnívoro similar a un gato) alimentada con bayas de cafeto, es empleada en Indonesia para elaborar el "kopi luwak", considerado el café más caro del mundo.

El origen de la producción del "kopi luwak" (café de civeta, en indonesio) es todavía un misterio, pero el proceso, llevado a cabo, principalmente, en las islas de Sumatra, Java y Bali, se basa en alimentar a estos mamíferos con los frutos de las plantas del cafeto y recogerlos después de entre las heces del animal (ver figura N° 5).

El resto de la faena, incluida la limpieza concienzuda del grano de café del tipo arábica o robusta y a continuación tostarlo y molerlo, la realizan los operarios de las empresas productoras.

"La civeta no llega a digerir del todo el grano de café maduro, mientras que las enzimas de su estómago lo modifican y le aportan las características que lo hacen único", explica a Efe Dwija Wati, trabajadora de una productora de "kopi luwak" del norte de Bali.

“Para obtener una experiencia gourmet poco común, pruebe los premiados granos extraídos del estiércol de civeta indonesia. Esta criatura similar a una mangosta, se da festines con los frutos del café antes de defecar la semilla” (Philips, 2019, p.15).



Figura N° 5: Granos de Café Kopi Luwak

Fuente: “Closeup de kopi luwak café”, por depositphotos (2016)

2.4.1.3 Composición del café

A continuación, se muestra de forma resumida la composición de cada parte de la planta del café (ver tabla N°1).

Tabla N° 1: Composición en función de la parte de la planta

Composición	Semilla	Hojas	Fruto	Planta
Ácidos	Aspártico	Alantoico	Oxálico	P-coumarico
	Cafetánico	Cafeico		Agua
	Caprínico			
	Cítrico			
	Datúrico			
	Esteárico			
	Glutamínico			
	Isoclorogénico			
	Linoleico			
	Mirístico			
	Oleico			
	Palmítico			
	Cafeico			
	Aminoácidos	Metionina		
Asparagina				
Alcaloides	Cafeína	Teobromina		
	Teobromina			
Aceites Volátiles	Caffeol			
	Guaiacol			
	Octanol			
Fitosteroles	Estigmaterol			
	Beta-sisorterol			
	Campestarol			
Terpenos	Cafestol	Beta-caroteno		
Fibra	Pectina	Pectina		
	Celulosa	Celulosa		
	Hemicelulosa	Hemicelulosa		
Minerales	Hierro	Calcio		
	Fósforo	Hierro		
		Fósforo		
Vitaminas	Niacina	Niacina		
	Riboflabina	Riboflabina		
	Tiamina	Tiamina		
	Colina			
Otros	Hidratos de carbono	Hidratos de carbono		
	Rafinosa			
	Ramnosa	Grasas		
	Sacarosa			
	Estaquiosa			
	Grasas			
	Taninos			

Fuente: “Composición en función de la parte de la planta”, por Besora (s.f)

2.4.1.4 Proceso de transformación del café

Todas las transformaciones que sufre el café desde su recolección son importantes o más que su propio cultivo, así que debemos tener mucho cuidado en todas las siguientes fases:

2.4.1.4.1 Recolección de la semilla

Besora (s.f) define esta primera fase como:

Este proceso debe hacerse sólo cuando los frutos sean maduros, identificándose su punto de maduración con el color rojo. Si el punto de maduración no es el correcto, su procesado es dificultoso y el producto obtenido es de baja calidad. Se puede notar en el sabor del café en taza, aumentando el sabor amargo si el grano está verde, y sabor fuerte y áspero, cuando el fruto es demasiado maduro.

Existen dos tipos de recolección, aquella que permite elegir y coger solo los granos maduros, denominada grano a grano o picking; y aquella que se cogen tanto granos maduros como verdes del exterior al interior de la planta, denominada stripping. (p.6) (ver figura N° 6)



Figura N° 6: Recolección de la semilla de café

Fuente: “Exportación de café”, por Ministerio de Agricultura y Riego (s.f.)

2.4.1.4.2 Recibo del café

Besora (s.f) indica lo siguiente con respecto a esta fase:

La importancia de tener un control estricto en esta fase para obtener una calidad uniforme. Por tanto, es importante que el fruto esté maduro y no mezclarlo con el verde, ni con el seco, ni con impurezas. El café verde se puede procesar en una línea distinta. Después, no dejarlo expuesto al sol. (p.6)

2.4.1.4.3 Beneficiado

Besora (s.f) indica lo siguiente:

Con este proceso se separa del fruto, las semillas, y se consiguen grados de humedad alrededor del 12%. Normalmente se considera que con este tipo de beneficiado la calidad del café es más baja, pero su precio inferior. Esto es debido a que la semilla es impregnada por los azúcares y otros compuestos presentes en mucílago del café. Existen dos métodos para este mismo proceso:

A. Beneficiado seco: O llama natural. Es el más sencillo y requiere poca maquinaria. Sus fases son:

- Lavado.
- Secado.
- Descascarillado.

B. Beneficiado húmedo: Se basa en varias etapas que hay que realizar para garantizar la calidad (ver figura N° 7).

- Clasificación del fruto.
- Despulpado.
- Desmucilaginado.
- Lavado del café fermentado.

- Clasificación
- Secado
- Almacenamiento. (pp.6-7)

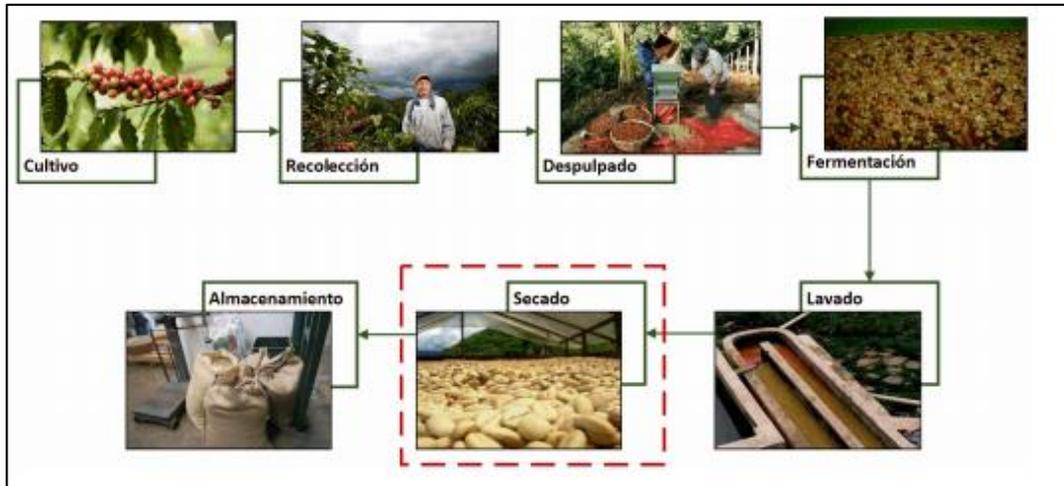


Figura N° 7: Proceso de transformación del café

Fuente: “Transformación del café”, por Oliveros María (2016)

2.4.1.5 Humedad del grano seco

Perfect D. (s.f) Indica lo siguiente con respecto al porcentaje de humedad aceptable:

La Organización Internacional del Café dice que los granos de café verde secos deben tener un contenido de humedad de 8% a 12,5%, con la excepción de los “café de especialidad que tradicionalmente tienen un alto contenido de humedad, ej. café de la India Monsooned “(Resoluciones 407, 420). Sin embargo, eso no significa que un contenido de humedad del 9% sea un buen porcentaje para el café de especialidad.

Los buenos niveles de contenido de humedad permiten altas puntuaciones en catación, acidez equilibrada y un gran aroma. Hay un debate sobre cuál es el mejor nivel de humedad, pero 10%-12% es aceptado generalmente. Yo (junto con muchos otros) prefiero el 12%, mientras que el Centro de Comercio Internacional recomienda que los productores apunten al 11%.

Independientemente del porcentaje final, si la humedad es estable, los granos de café retendrán esa humedad hasta el tueste. Ciertos cambios climáticos podrían causar una pérdida adicional de humedad. Sin embargo, no hay una amenaza real a menos que algunas gotas de agua empiecen a caer sobre el café ya en bolsas. Infortunadamente, esto está fuera del control de alguien, aunque se está invirtiendo más tecnología y fondos en esta etapa vital del comercio del café.

2.4.1.6 Influencia económica en el Perú

Ministerio de Agricultura y Riego (s.f) Detalla lo siguiente:

El café representa el principal producto de exportación en el país, el valor exportado en el 2000 fue de 223.3 millones de dólares. El mayor valor de exportación en el periodo 2000-2006 fue en el año 2006 con cerca de 514 millones de dólares; el valor de las exportaciones fue aumentando en los últimos años debido a los mayores precios; respecto al volumen de exportación se registró un crecimiento de 69.1% entre 2000 y 2006.

Las ventas en el mercado internacional son realizadas mayormente por exportadores privados que adquieren el café en pergamino y lo procesan para lograr cafés verdes u oro para su exportación. Los principales países de destino de las exportaciones de café fueron en 2001 Alemania 37.1%, EE.UU. con el 24.6% Canadá 6.0% Países Bajos 6.0% Francia 3.5% y Japón 3.3% que en conjunto explicaron el 80.5% del total de destinos.

El 50% del total exportado en 2006 fue realizado por 5 empresas comerciales, y más del 73% es exportado por 10 exportadores entre los que se encuentran representantes de traders, como la Compañía Internacional del Café S.A.C. que representa a Neumann Kaffee Gruppe y el Grupo Romero Trading S.A.

A continuación, se mencionan a las principales empresas exportadoras de café (ver figura N° 8).

PRINCIPALES EMPRESAS EXPORTADORAS DE CAFÉ			
AÑO : 2006			
Nro.	NOMBRE	VALOR FOB (US\$)	PESO NETO (QQ.)
1	PERALES HUANCARUNA S.A.C.	119.827.950	1.214.721
2	CIA.INTERNACIONAL DEL CAFE S.A.C.	58.076.392	607.309
3	COMERCIO & CIA S.A	39.917.535	415.349
4	C. COOP. AGRARIAS CAFETAL ERAS COCLA LTDA. 281	29.305.388	254.821
5	PROCESADORA DEL SUR S.A.	26.685.773	273.201
6	ROMERO TRADING S A	25.513.332	255.287
7	LOUIS DREYFUS PERU S.A.	23.302.926	233.919
8	MACHU PICCHU COFFEE TRADING S.A.C.	21.794.151	230.708
9	VALDIVIA CANAL HUGO	18.213.573	194.599
10	CAFETALERA AMAZONICA S.A.C.	17.044.310	170.896
11	AICASA EXPORT S.A.	12.765.249	130.815
12	CENT.DE COOP.AGR. CAF.VALLES SANDIA LTDA	10.596.287	81.933
13	COOPERATIVA AGRARIA CAFETALERA LA FLORID	10.360.994	80.098
14	OUTSPAN PERU S.A.C.	8.875.809	93.680
15	COEX (PERU) S.A.	7.831.502	80.296
16	LAUMAYER PERU S.A.C.	7.257.633	70.913
17	H.V.C.EXPORTACIONES SAC	6.464.190	66.153
18	PRONATUR E.I.R.L.	6.444.563	56.295
19	SANCHEZ ROSSITER ROSEMERY LIZBETH	6.338.670	101.964
20	CIA MINERA SANTA LUISA S A	5.858.566	108.955

Fuente: Aduanas

Figura N° 8: Principales empresas peruanas exportadoras de café

Fuente: “Principales empresas peruanas exportadoras de café”, por Ministerio de Agricultura y Riego (s.f.)

2.4.2 Secado del café

Federacion Nacional De Cafeteros De Colombia (2012) nos indica que:

El secado de café es una fase muy importante en el beneficio del café. Este proceso permite conservar la calidad al reducir el contenido de humedad del grano (50-55) % a niveles que permitan la conservación del grano (10-12) % y así evitar su deterioro (ver figura N° 9).

El café se debe secar por tres razones importantes:

1. Para evitar pérdidas de peso por respiración el grano.
2. Para conservar la calidad de la bebida.
3. Para ganar incentivo en el precio del café.

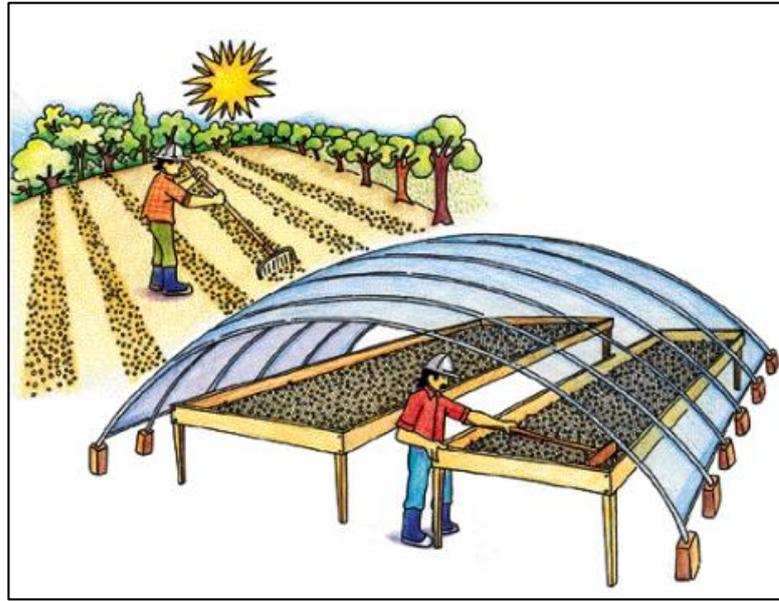


Figura N° 9: Proceso de transformación del café

Fuente: “transformación del café”, por Fundesyram (s.f)

2.4.2.1 El punto de secado del café

Si el café escurrido se seca deficientemente, se obtiene un café dañado que se vende a un precio más bajo en el mercado. Si el café se seca mucho, pierde peso, lo que genera zonas cristalizadas en los granos, que no permitirán un tostado uniforme. Si al café le falta secado, aparecen manchas por exceso de humedad en la superficie de los granos y se generan mohos en los cafés almacenados. (CEDICAFE, 2010, p.14)

Junta Nacional del Café (s.f) determina lo siguiente:

Reconocerás que un café está bien seco cuando:

1. A la vista:

Tomar una muestra con las manos, frotar y quitar el pergamino, el color del café sin pergamino debe ser verde uniforme.

2. Con el diente:

Muerde el grano de café con los dientes, si queda marca está a punto, si el grano se hunde está muy húmedo aún, si no queda ninguna seña está muy seco ya (ver figura N° 10).

3. Con una navaja:

Al momento de partir el grano a lo largo de la ranura con una navaja, las dos mitades saltan inmediatamente.

4. Con un medidor de humedad:

El instrumento marcara el porcentaje de humedad. (p.15) (ver figura N° 11)

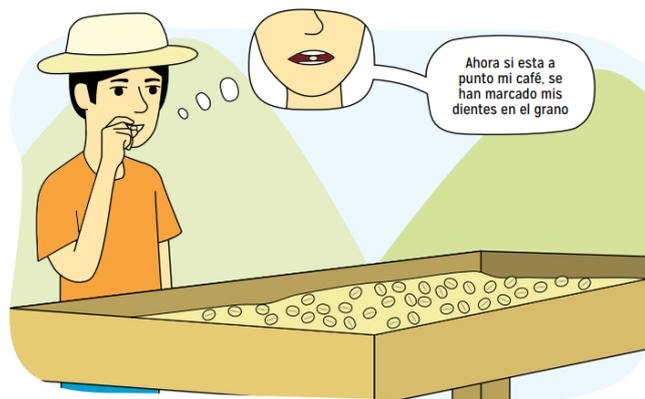


Figura N° 10: Reconocimiento de secado del café mediante el diente

Fuente: "Secado del café mediante el diente", por Junta Nacional del Café (s.f)



Figura N° 11: Medidor de humedad para granos de café WILE COFFE

Fuente: “Medidor de humedad de café WILE COFFE”, por Humidímetros (s.f)

2.4.2.2 Factores que influyen en la velocidad del secado

2.4.2.2.1 Temperatura de secado

Es una propiedad de la materia. Es una medida del nivel de presión térmica de un cuerpo. Se ha demostrado que la temperatura es una función de la energía cinética interna y como tal es un índice de la velocidad molecular promedio. (Henaó, 2015)

2.4.2.2.2 Humedad relativa

“Se define como la relación entre el peso del vapor de agua contenido de 1Kg de aire y el peso del vapor de agua contenido en un 1Kg de aire saturado, a una temperatura determinada” (Henaó, 2015).

2.4.2.2.3 Eficiencia térmica del secado

Se define como la “relación entre la cantidad de energía destinada al secado y la cantidad de agua evaporada durante el proceso” $\text{Eficiencia} = (\text{kilos de agua evaporada} / (\text{área de secado}) (\text{días de secado}))$. Para los efectos de calcular este término no se incluye la energía para remover el producto. (Henaó, 2015)

2.4.2.3 Clasificación de café según el grado de humedad

2.4.2.3.1 Oreado

CATIE (s.f) nos indica lo siguiente:

El café presenta un color crema uniforme, el grano comienza a separarse del pergamino y se facilita el desprendimiento con la uña, al agitarse entre las manos emite un sonido seco claro y al morder tiene consistencia dura y se corta no se aplasta. (p.26) (ver figura N° 12)



Figura N° 12: Café oreado

Fuente: “Café oreado”, por CATIE (s.f)

2.4.2.3.2 Húmedo

Engormix (2013) detalla lo siguiente:

El pergamino presenta un color opaco y oscuro, al sacudirlo entre las manos emite un sonido ronco y al morder el grano se plasta por consistencia suave. Este café se le deduce hasta un 8% del peso para su conversión a oreado. (p.10) (ver figura N° 13)



Figura N° 13: Café húmedo

Fuente: “Café húmedo”, por Engormix (2013)

2.4.2.3.3 Mojado:

Es muy difícil de confundirse ya que el pergamino tiene agua en la superficie y cuando se introduce la mano en una masa de café los granos se quedan adheridos a la piel. En casos extremos cuando se coloca en una báscula el saco dreña agua mojando la plataforma. Este café recibe una reducción hasta de 14% del peso para su conversión a oreado. (Cenicafe, 2008) (ver figura N° 14)

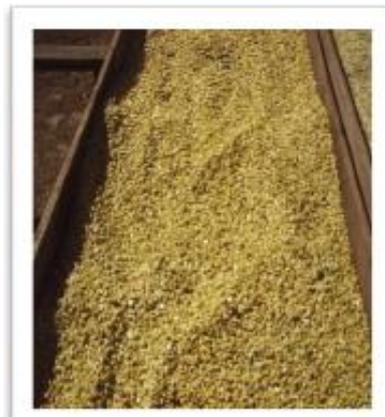


Figura N° 14: Café mojado

Fuente: “Café mojado”, por Cenicafe (2008)

2.4.3 Tipos de secadores de café

Junta Nacional del Café (s.f) nos indica lo siguiente:

Existen 3 formas de secar el café:

- Secado natural o solar: Con el calor del sol y debes usar: tendales de cemento, parihuelas, tarimas, secadores solares.
- Secado mecánico: Si utilizas máquinas secadoras.
- Secado mixto: Cuando realizas primero un secado natural y luego un secado mecánico.

2.4.3.1 Secado natural o solar

“En las formas de secado al sol, el café toma aproximadamente 40 horas para llegar al porcentaje de humedad deseado. Esto son aproximadamente 5 días, pero puede tomar un poco más dependiendo de las condiciones climatológicas” (CoffeeIQ, s.f).

Existen varias formas de secado solar, entre las más usadas tenemos:

2.4.3.1.1 Secado en Patio

Este tipo de secado es el método más antiguo de secado y como lo dice el nombre, se seca en patios de gran longitud, en ello el espesor de la capa de grano debe ser de 3.5cm aproximadamente (ver figura N° 15).

Los patios deben tener una leve inclinación, y sobretodo ser completamente planos para evitar el encharcamiento. (CoffeeIQ, s.f.)



Figura N° 15: Secado de café en Patio
Fuente: “Secado en Patio”, por CoffeeIQ (s.f.)

2.4.3.1.2 Secado en carros de madera

Cenicafé (s.f) afirma lo siguiente: “El secado puede hacerse también en carros, que son cajones montados en una estructura de madera o hierro, con pisos de anjeo, madera o esterilla, y techo de zinc” (p.176). (ver figura N° 16)



Figura N° 16: Secado de café en Carros
Fuente: “Secado de café en Carros”, por Cenicafé (p.176)

2.4.3.1.3 Secado en Elbas

CoffeeIQ (s.f) indica: “Las elbas con cajones con piso de madera o cemento y techo de horas de zinc con bisagras. El techo se puede construir de una o dos alas dependiendo el tamaño de cada elba” (p.2). (ver figura N° 17)



Figura N° 17: Secado del café en Elbas

Fuente: “Café Pergamino seco”, por CoffeeIQ (s.f.)

2.4.3.1.4 Marquesina

CoffeeIQ (s.f) explica este tipo de secado:

El secador solar parabólico se constituye de una plancha de cemento cubiertas de una estructura de guadua y plástico tipo domo, que permite la circulación de aire para que no haya retención de humedad dentro de la estructura.

Es común que las planchas tengas 25m^2 y se recomienda una altura de 2.10m en el punto más alto de la estructura, y una altura de 60cm en ambos lados. (ver figura N° 18)



Figura N° 18: Secado del café en Marquesina

Fuente: “Secado del café en Marquesina”, por CoffeeIQ (s.f.)

2.4.3.2 Secadores mecánicos

“El secado mecánico se realiza con la ayuda de máquinas, es mucho más rápido, pero se corre el riesgo de afectar la calidad del café, las máquinas utilizadas para el secado mecánico envían aire caliente a unos 50 °C al fruto” (CENICAFE, s.f).

Entre las más maquinas más usadas a nivel mundial tenemos:

2.4.3.2.1 Secado por Bomba de calor

Instituto Tecnológico Metropolitano (2009) explica el funcionamiento de este tipo de secado:

Para ello, se cumple el mismo principio de calentar el aire, el cual debe vencer la resistencia al paso de aire o presión estática que producen la masa de café a secar depositada en una cámara o silo y los equipos que conforman el sistema. El tiempo de secado está comprendido entre 18 a 20 horas, sin que las condiciones climatológicas lo afecten enormemente, comparado con el secado solar. (p. 115) (ver figura N° 19)

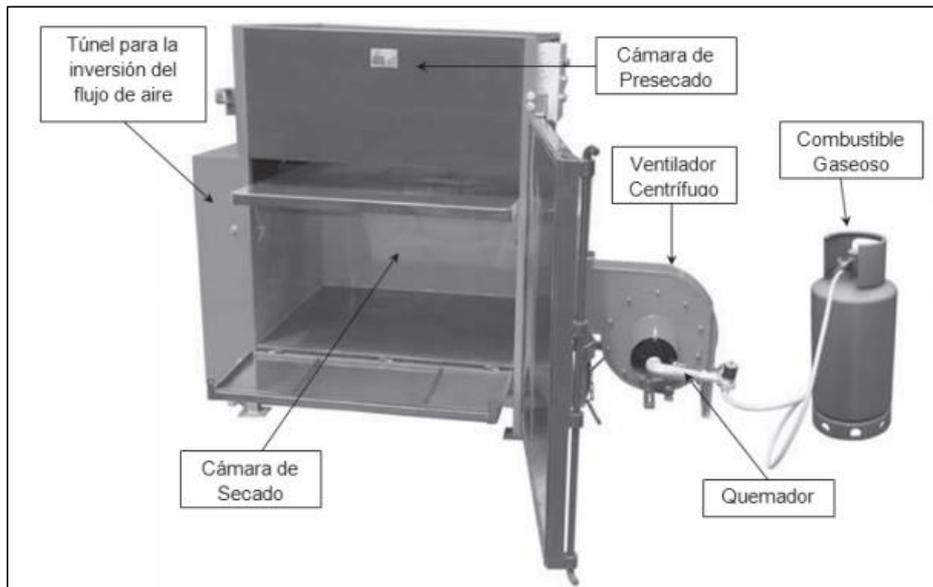


Figura N° 19: Secado del café por Bomba de calor

Fuente: “Componentes de un secador mecánico”, por Instituto Tecnológico Metropolitano (2009)

2.4.3.2.2 Secadores de flujo cruzado

GRANTEC tecnología en equipamentos (s.f) define lo siguiente:

Es una secadora de granos continua, tipo columna con flujo cruzado (flujo de aire perpendicular al flujo de granos). Esta línea de secadoras fue desarrollada considerando la preocupación por la calidad del grano, las cuestiones ambientales y la seguridad. Granos secos con más calidad agregan mayor valor a su producción. (ver figura N° 20)

Sus características principales son:

- Reducida emisión de partículas.
- Bajo nivel de ruido.
- Menor consumo de energía por tonelada.

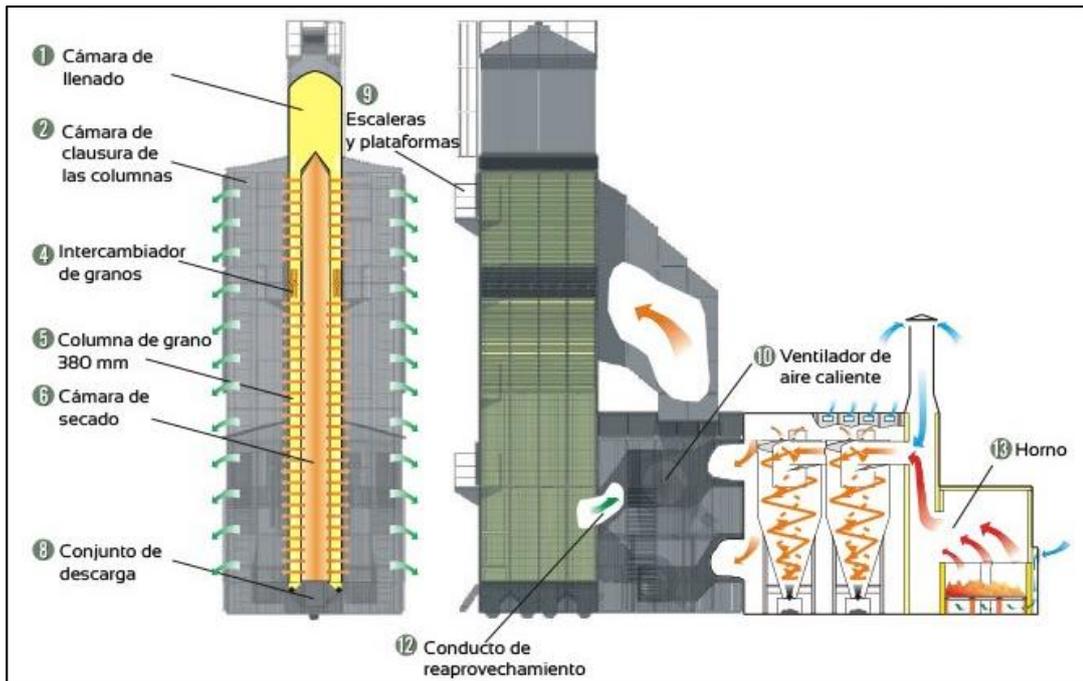


Figura N° 20: Secado por flujo cruzado

Fuente: “Secadora para arroz”, por GRANTEC tecnología en equipamentos (s.f)

2.4.3.2.3 Secadores de tambor rotativo

Echeverry (2010) define un secador de tambor rotativo:

La secadora rotativa emplea la rotación constante para una mejor homogenización de los granos en el proceso de secado (ver figura N° 21). Su estructura es conformada por un cilindro, allí va alojado el café, el cual es mezclado constantemente en la etapa de secado. Para un óptimo empleo de esta secadora es necesario llenar el dispositivo con el 70% de su capacidad con el objetivo de que el aire pase por los granos, forzando la extracción de humedad. En caso contrario cuando su porcentaje es bajo, el aire no atraviesa la capa de café y se genera pérdida en el ambiente. De los modelos constructivos convencionales, la secadora rotativa presenta el equilibrio más cercano en la fase de estabilización del grano. (p. 21)

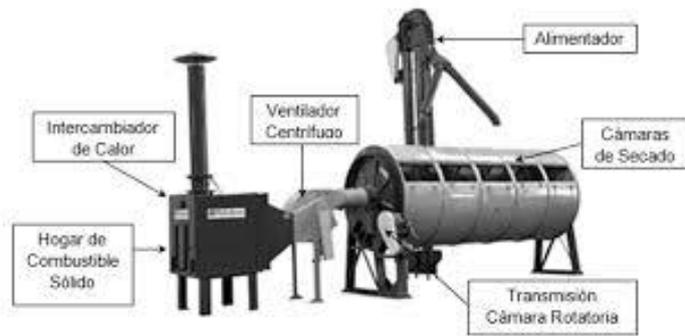


Figura N° 21: Secado del café por Tambor Rotativo

Fuente: “Secador para soja”, por GRANTEC tecnología en equipamentos (s.f)

2.4.3.2.4 Secadores de lecho fijo

Echeverry (2010), define un secador de lecho fijo:

El secado de lotes de granos y semillas en un secador de lecho fijo es una operación simple. El costo inicial para la instalación de este sistema de secado puede estar al alcance de la gran mayoría de los agricultores, ya que es más bajo que el de un secador comercial. Otro aspecto interesante de este tipo de secador es su versatilidad, puesto que se pueden secar diferentes granos y semillas: café en “cereza”, frijol en vaina, maíz en mazorca, yuca en trozos y cacahuate en rama o desgranado. Las partes que componen el secador de lecho fijo son: la cámara de secado, lámina o chapa metálica perforada, cámara de distribución del aire con expansión gradual, un ventilador para mover el aire y un horno de calentamiento. (p. 22) (ver figura N° 22)

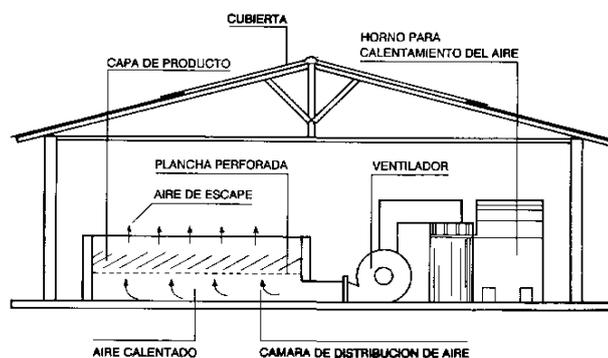


Figura N° 22: Secado del café por lecho fijo

Fuente: “Secador por lecho fijo”, por GRANTEC tecnología en equipamentos (s.f)

2.4.4 Sistemas de control

GEA (s.f) define sistema como:

Un sistema dinámico puede definirse conceptualmente como un ente que recibe unas acciones externas o variables de entrada, y cuya respuesta a estas acciones externas son las denominadas variables de salida.

Las acciones externas al sistema se dividen en dos grupos, variables de control, que se pueden manipular, y perturbaciones sobre las que no es posible ningún tipo de control. (ver figura N° 23)

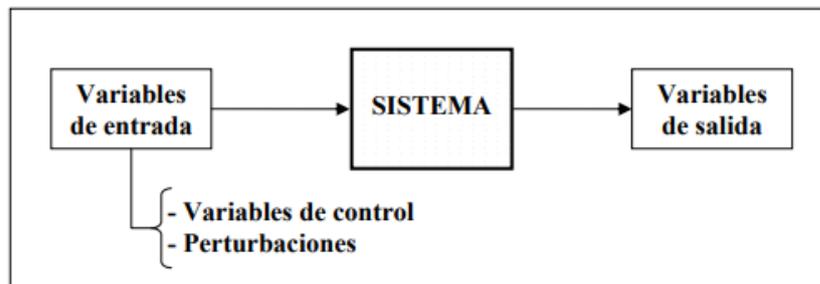


Figura N° 23: Esquema general de un sistema

Fuente: "Esquema general de un sistema", por GEA (s.f)

Diaz (s.f) define sistema de control como:

Un sistema de control es un tipo de sistema que se caracteriza por la presencia de una serie de elementos que permiten influir en el funcionamiento del sistema. La finalidad de un sistema de control es conseguir, mediante la manipulación de las variables de control, un dominio sobre las variables de salida, de modo que estas alcancen unos valores prefijados.

Los elementos básicos que forman parte de un sistema de control y permiten su manipulación son los siguientes:

- Sensores: Permiten conocer los valores de las variables medidas del sistema.
- Controlador: Utilizando los valores determinados por los sensores y la consigna impuesta, calcula la acción que debe aplicarse para modificar las variables de control en base a cierta estrategia.
- Actuador: Es el mecanismo que ejecuta la acción calculada por el controlador y que modifica las variables de control. (p.6) (ver figura N° 24)

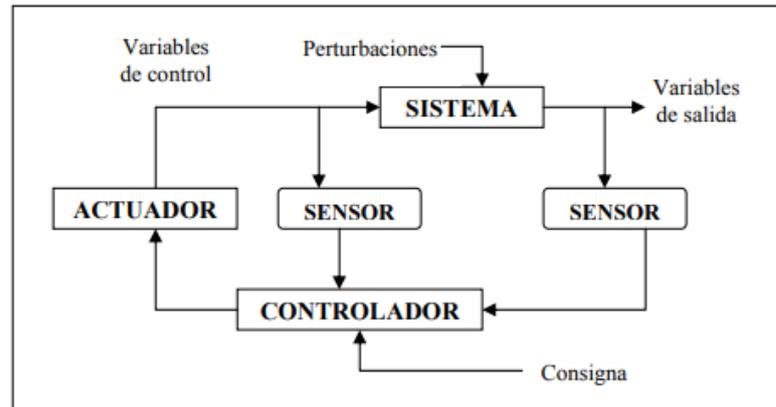


Figura N° 24: Esquema general de un sistema de control

Fuente: “Sistema de control” por Diaz Wilfredo (s.f)

2.4.4.1 Características de los sistemas de control

Diaz (s.f) detalla las siguientes características:

- Señal de corriente de entrada: considerado como estímulo aplicado a un sistema desde una fuente de energía externa con el propósito de que el sistema produzca una respuesta específica.
- Señal de corriente de salida: Respuesta obtenida por el sistema que puede o no relacionarse con la respuesta que implicaba la entrada.
- Variable manipulada: Elemento al cual se le modifica su magnitud, para lograr la respuesta deseada.
- Variable controlada: lo que se desea controlar.
- Conversión: Por los receptores se generan los cambios que se producen en la variable.
- Variaciones externas: Factores que influyen en la acción de producir un cambio de orden correctivo.

- Fuente de energía: entrega de energía para generar un tipo de actividad dentro del sistema.
- Retroalimentación: Relación secuencial de causas y efectos entre las variables del sistema. (pp. 13-21)

2.4.4.2 Clasificación de los sistemas de control según su comportamiento

2.4.4.2.1 Sistemas de control de lazo abierto

Los sistemas de control de lazo abierto son sistemas de control que se caracterizan por carecer de sensores que informen al sistema del estado en el que se encuentra. El proceso automatizado se hace siempre igual sin poder comprobar si se hace correctamente. Ejemplos: la luz de una escalera, un semáforo, etc. (Control y robotica 4° E.S.O, s.f) (ver figura N° 25)

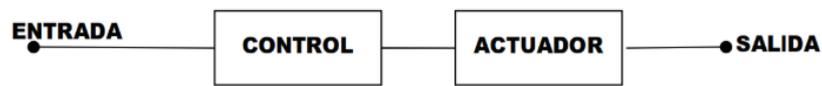


Figura N° 25: Sistema de control de lazo abierto

Fuente: “Sistema de control de lazo abierto”, por Control y robotica 4° E.S.O (s.f)

2.4.4.2.2 Sistemas de control de lazo cerrado

Este sistema de control de lazo cerrado es más completo ya que recibe información sobre los estados que va tomando la variable. Esta retroalimentación se logra colocando sensores que envían información de puntos clave del proceso para que así pueda actuar de manera autónoma. (Control y robotica 4° E.S.O, s.f) (ver figura N° 26)

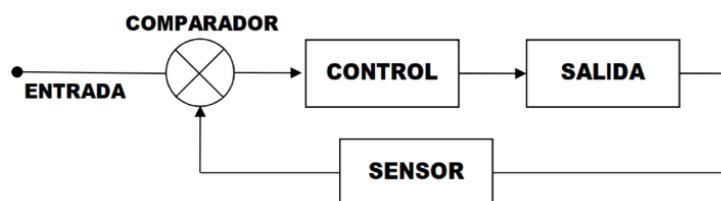


Figura N° 26: Sistema de control de lazo cerrado

Fuente: “Sistema de control de lazo cerrado”, por Control y robotica 4° E.S.O (s.f)

CAPÍTULO III: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO DE SECADOR DE CAFÉ AUTOMATIZADO

En este capítulo se va a realizar el prototipo de secador de café automatizado con la ayuda del software Catia, en sus 4 etapas de ingeniería: Mecánica, eléctrica, electrónica y de control, se van a tomar en cuenta parámetros como temperatura del aire de secado, velocidad del ventilador, capacidad estructural entre otros. El diseño e implementación implican 3 aspectos fundamentales del sistema, ellos son el módulo de secado, el uso de las resistencias eléctricas y la cámara de control.

También, se va a analizar el tema de elección de materiales tanto para el diseño mecánico como eléctrico, donde se desarrollan los conceptos matemáticos correspondientes.

El objetivo de este capítulo también es el realizado del prototipo de secador de café a bajo costo, y del sistema eléctrico y electrónico entendible, donde en caso suceda una falla en el sistema, se deba solucionar de manera sencilla.

3.1 Condiciones Iniciales

3.1.1 Condiciones iniciales para el diseño mecánico

Se presentan las siguientes condiciones:

- Debe ser liviano y fácil de transportar
- Resistente a los golpes
- Resistente al polvo y tierra
- Soportar temperatura y humedad
- Soportar la intensidad de calor de la resistencia eléctrica.
- Capacidad estructural adecuada para la cámara de control.
- Capacidad estructural adecuada para los ventiladores.
- Capacidad estructural adecuada para la bandeja.

3.1.2 Condiciones iniciales para el diseño eléctrico

Se presentan las siguientes condiciones:

- Proteger a los equipos en caso una sobrecarga.
- Proteger a los equipos en caso un cortocircuito.
- Alimentar a los actuadores eléctricos mediante un circuito de potencia.
- Permitir visualización del sistema mediante luces piloto.

3.1.3 Condiciones Iniciales para el diseño Electrónico

Se presentan las siguientes condiciones:

- Debe mostrar datos de temperatura
- Debe mostrar datos de humedad
- Debe sensar la humedad con exactitud
- Debe sensar la temperatura con exactitud
- Debe emitir aire caliente a la cámara de secado

3.1.4 Condiciones Iniciales para el diseño de Control por Software

Se presentan las siguientes condiciones:

- Debe procesar toda la programación
- Debe procesar los datos según se accionen los botones
- Debe setear la temperatura del aire caliente en el valor requerido
- Las librerías deben estar bien codificadas

3.1.5 Requisitos del prototipo de secador de café automatizado

La implementación de un prototipo de secador de café automatizado tiene como requerimientos primordiales lo siguiente (ver tabla N° 2):

- Reducir el tiempo de secado del café, en relación al secado natural que se realiza mayormente.
- No debe afectar la calidad de los granos de café.
- La estructura debe soportar altas temperaturas sin dañar el sistema de control.
- Minimizar la inversión del prototipo con la cual se pretende realizar el proceso de secado.

Tabla N° 2: Requerimientos del prototipo de secador de café

Tabulación de los requisitos del secador de café	Prioridad (1: Poco relevante 5: Muy relevante)
Reducir el tiempo de secado	4
Preservar la calidad de café	5
Soportar humedad	4
Soportar temperatura	4
Optimizar costos de implementación	5
Optimizar costos de funcionamiento	4
Liviano y fácil de transportar	3

Fuente: Elaboración propia.

3.1.6 Especificaciones técnicas

Se dan valores recomendados para el proceso de secado de los granos de café, ayudándonos de procesos experimentales de secado investigados (ver tabla N° 3).

- Temperatura de secado de café: El estándar de temperatura para la realización de un óptimo secado de café varía de los 30 °C a 60 °C.
- Humedad de secado del café: La humedad con que se recupera el grano al final del proceso es de 7% con más o menos 2% de tolerancia.
- Humedad relativa del aire: Son las condiciones ambientales donde se realiza el proceso de secado de café, en este caso Lima donde su humedad es de 83%.

- Presión: La presión ambiental donde trabaja el prototipo de secador de café automatizado, en este caso en la ciudad de Lima, el cual es de 1015hPa.
- Estructura: Para el dimensionado se toma en cuenta la capacidad del producto que ingresa a la cámara de secado, en esto caso va de los 0.5 a 1 Kg, ya que es un prototipo.
- Ventilador: Se va a tomar en cuenta el caudal y la presión de trabajo. Para este proyecto se parte de la velocidad de fluido que es de 0.3 a 3 m/s.

Tabla N° 3: Especificaciones técnicas del secado

#	Criterio	Valor
1	Temperatura de secado de café	30 a 60°C
2	Humedad de secado de café	7%
3*	Humedad relativa del aire	83%
4*	Presión	1015hPa
5	Capacidad de la estructura	0.5 a 1kg
6	Velocidad ventilador	0.3 a 3m/s
7	Uso de materiales anticorrosivos	Mayor a 40%
8	Conocimiento norma MINAGRI	100%

*: Condiciones ambientales donde se realiza el proceso de secado

Fuente: Elaboración propia

3.2 Diseño mecánico:

El proceso de diseño consiste en el uso del software Catia V5 para poder visualizar en 3 dimensiones cada pieza, y así verificar y constatar si las medidas a usar son exactas para poder realizar el sistema de acoplamiento con las otras piezas, y puedan cumplir un funcionamiento óptimo. Para el diseño se tomó en cuenta que el chasis sea liviano pero resistente a altas temperaturas.

Para la elección del material del chasis estudiamos 2 opciones: El aluminio y acero inoxidable 304 ya que estas dos aseguran una serie de propiedades que nos brindan

garantía, eficiencia y salubridad a la hora de relacionarlo con la cocina. En la tabla N° 4 se muestra la diferencia de valores entre estas dos opciones.

Tabla N° 4: Especificaciones técnicas entre el aluminio y acero

Propiedad		Aluminio	Acero
1	Esfuerzo (N/mm ²)	250	400
2	Elasticidad E, Módulo de Young (MPa)	70.000	210.000
3	Densidad (g/cm ³)	2,7	7,8
4	Punto de fusión (°C)	660	1500
5	Rango de temperatura de trabajo (°C)	-250 a 150	-50 a 500
6	Conductibilidad eléctrica (m/Ohm mm) ²	29	7
7	Conductividad térmica (W/m °C)	200	76
8	Coefficiente de expansión lineal x 10 ⁻⁶ /°C	24	12
9	No-magnético	Sí	No
10	Tóxico	No	No
11	Resistente a la corrosión	Sí	Sí
12	Mecanizado	Fácil	Fácil
13	Maleable	Sí	Sí
14	Costo	Barato	Caro

Fuente: "Diferencia entre aluminio y acero", por Automaticon Aluminio y Acero 371 (s.f)

De acuerdo a la tabla N° 4 nos dimos cuenta que los dos metales tendrían excelentes condiciones para ser usadas, sin embargo, el aluminio no es tan resistente como el acero ya que el acero inoxidable se puede usar a temperaturas mucho mayores sin sufrir deformaciones en cambio el aluminio tiende a deformarse. Por estas razones decidimos implementar nuestro diseño mecánico con acero inoxidable 304.

El diseño del secador consta de 3 partes: La primera es la cámara de control, en el cual está la parte eléctrica, electrónica y control, la segunda es la cámara de secado, en el que esta la bandeja de granos de café y el desfogue del aire, la tercera es la cámara en donde está el ventilador, la resistencia eléctrica y el ducto por el cual ingresa el aire caliente a la cámara de secado tal y como se muestra en la figura N° 27.



Figura N° 27: Parte frontal del secador de café elaborada en Catia

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N° 28 se observa la parte posterior del prototipo de secador de café elaborado en el software Catia V5 en el cual se puede observar el desfogue por el cual saldrá el aire que circula dentro de la cámara de secado de café, también podemos observar un conector macho por donde recibe la energía que requiere para el funcionamiento del secador y el ventilador que es para la ventilación de la cámara de control en donde está el sistema eléctrico y electrónico y la canaleta en el cual pasa el cable para la alimentación a la cámara de resistencia eléctrica.

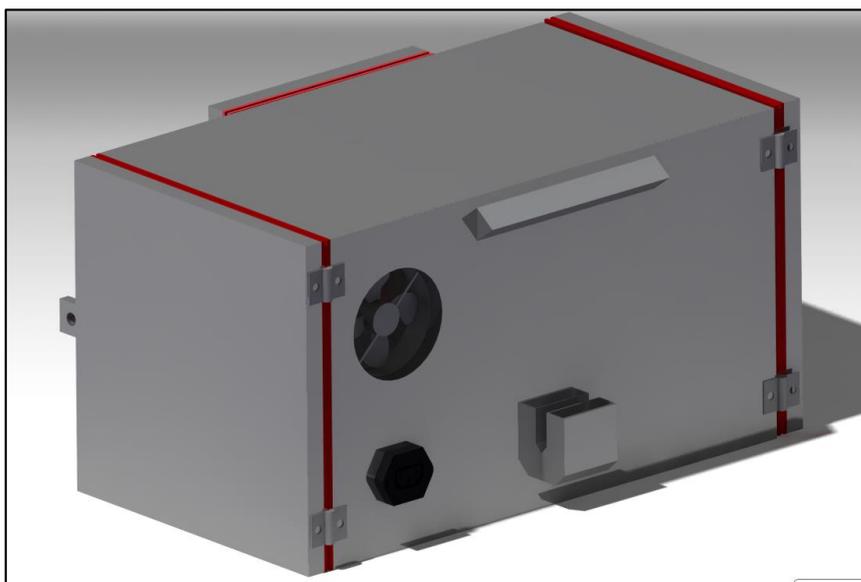


Figura N° 28: Parte posterior del secador de café elaborada en Catia

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N° 29 se muestra el chasis completo del prototipo de secado de café elaborado en el software Catia V5 el cual tiene las siguientes medidas: 570mm de largo, 300mm de altura y 335mm de ancho. Estas medidas fueron diseñadas para la carga de hasta 1.85 kg de granos café húmedo, ya que es un prototipo.

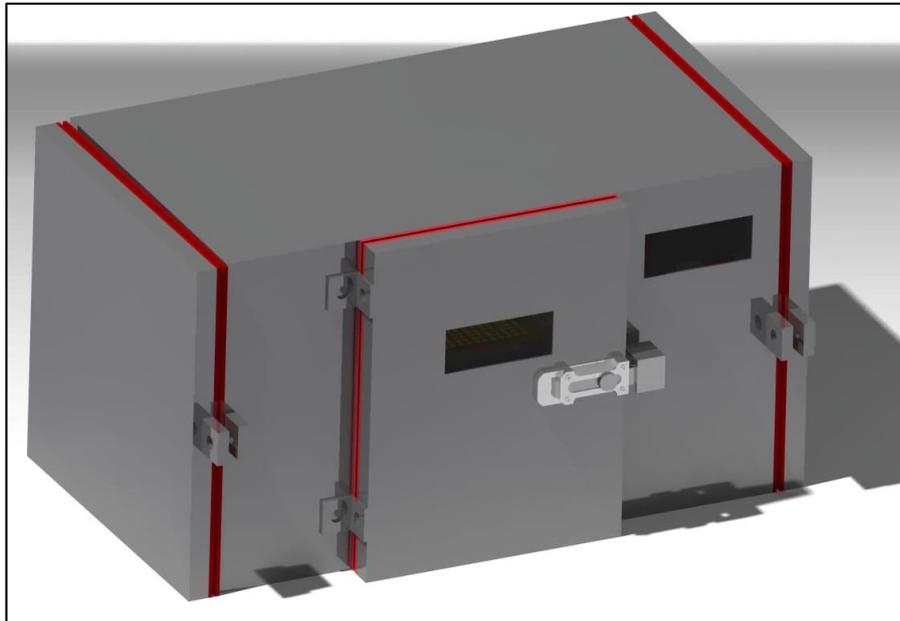


Figura N° 29: Chasis completo del secador de café elaborada en Catia

Fuente: Elaboración propia.

Para la división de las tres cámaras se utilizó dos láminas de acero inoxidable 304 elaboradas en el software Catia V5 de 2mm de ancho que se puede mostrar en la figura N° 30.

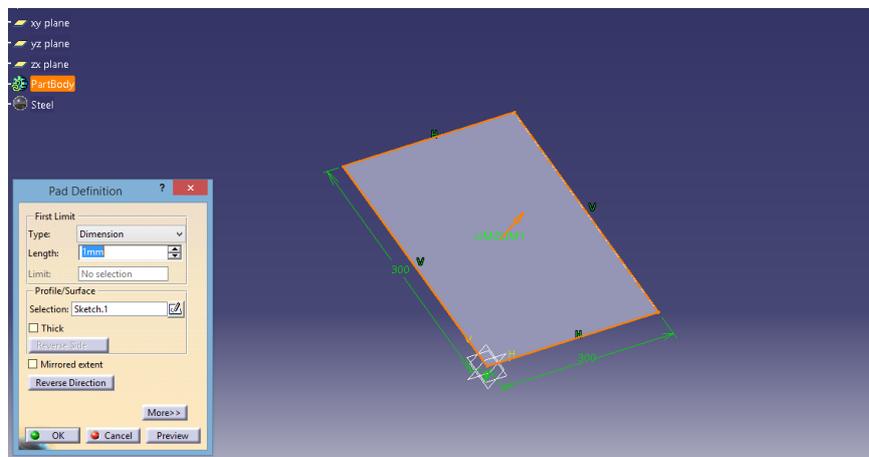


Figura N° 30: Lámina de acero elaborada en Catia

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N° 31 se puede observar la resistencia que tiene la lámina de acero a una temperatura de 45 °C elaborada en el software Catia V5, en la gráfica se puede observar que la lámina no presenta ninguna deformidad en relación a la temperatura. Esto confirma que la elección del material de acero es adecuada para el prototipo de secado de café.

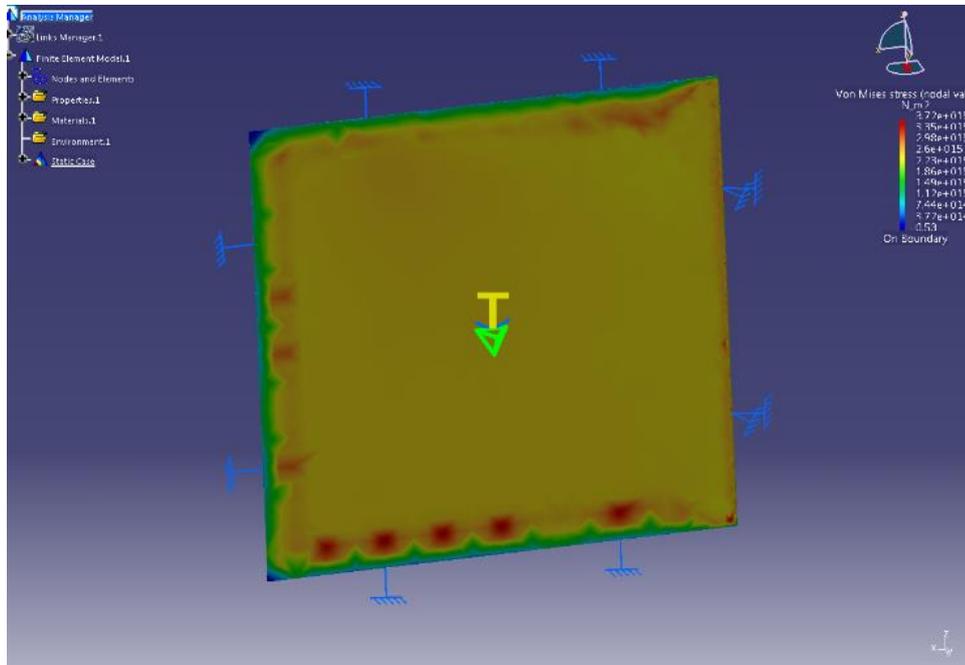


Figura N° 31: Lámina de acero a 45 °C elaborada en Catia

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N° 32 se puede observar el armado del chasis del secador de café elaborado en el software Catia V5 con las dos láminas de acero inoxidable implementadas, esto nos dio la división para poder definir e implementar nuestras tres cámaras con la que cuenta el secador de café, sus planos se muestran en el Anexo N° 1.

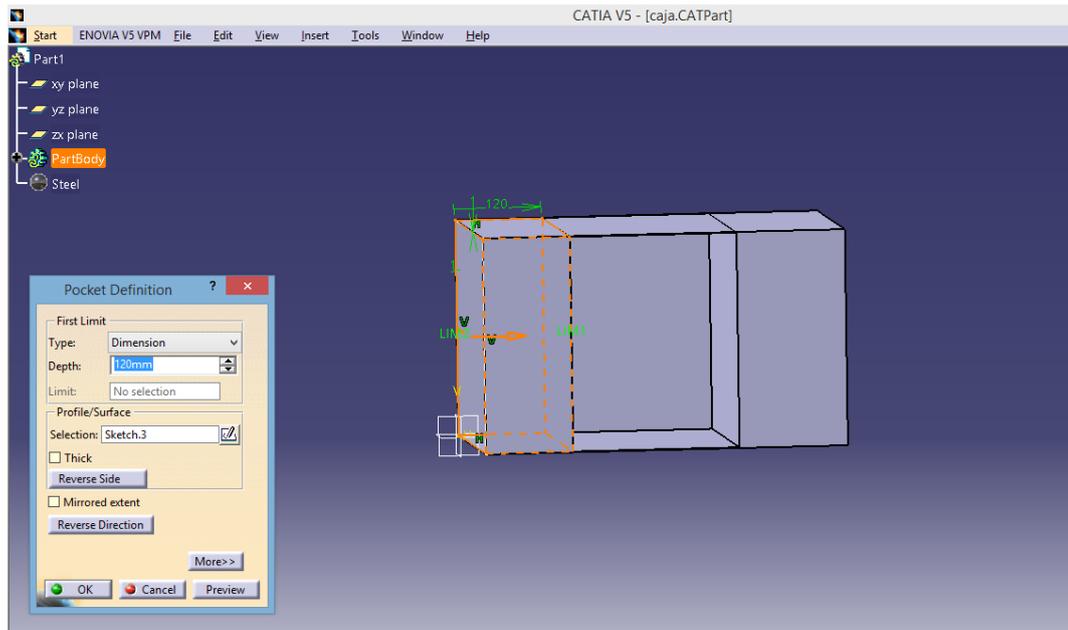


Figura N° 32: Separación de las 3 cámaras elaborada en Catia

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1 Diseño de la cámara de las resistencias eléctricas

En la figura N° 33 se observa la primera cámara elaborada en el software Catia V5, que viene a hacer la cámara que da inicio al proceso de secado de café, este empieza con el encendido de las resistencias eléctricas, el cual nos da el calor que se necesita para el secado, esta es llevada con la ayuda del ventilador que, mediante el ducto de acero, es llevada a la cámara de secado por la transferencia de calor. La cámara de resistencias eléctricas está compuesta por tres partes: el ventilador, el ducto de aire y la resistencia a utilizar.

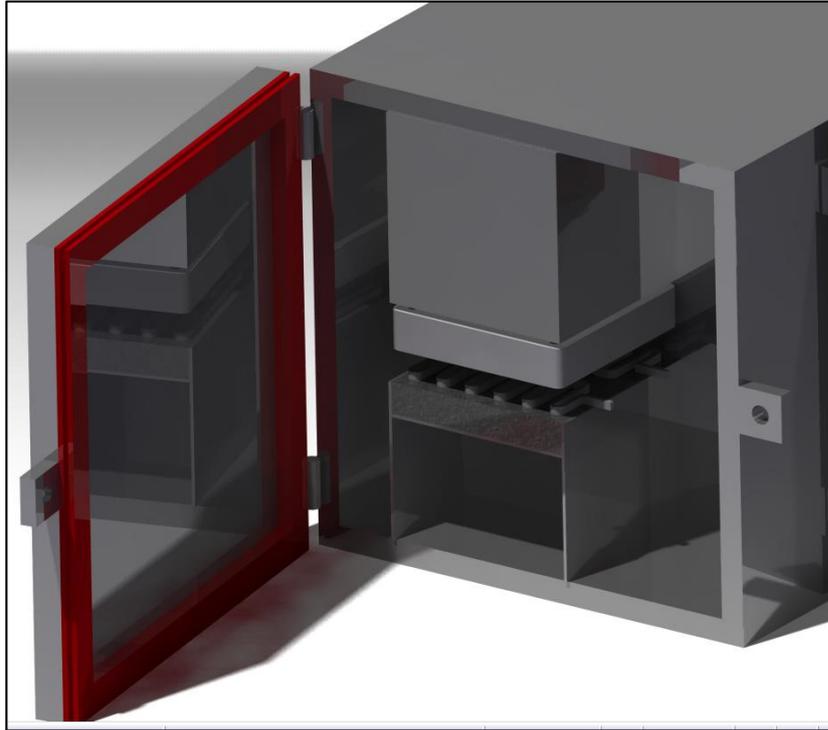


Figura N° 33: Cámara de la resistencia eléctrica elaborada en Catia V5

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N° 34 se puede observar la cámara de resistencia eléctrica a una temperatura de 55 °C elaborada en el software Catia V5, en esta cámara es donde se presentó mayor temperatura por la ubicación de la resistencia eléctrica, en la gráfica se puede ver que la cámara no presenta ninguna deformidad en relación a la temperatura. Esto confirma que la elección del material de acero es adecuada para el prototipo de secado de café.

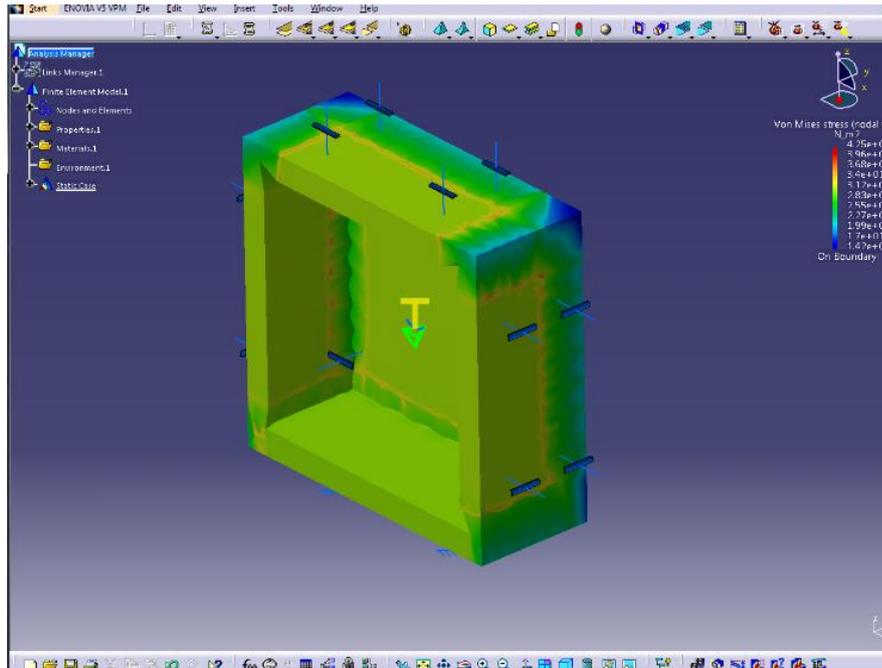


Figura N° 34: Cámara de la resistencia eléctrica a 55 °C elaborada en Catia

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N° 35 se muestra el dimensionado del ducto de aire elaborado en el software Catia V5, que sirve como transferencia de calor que va ser producida por la resistencia y conducida por el ventilador.

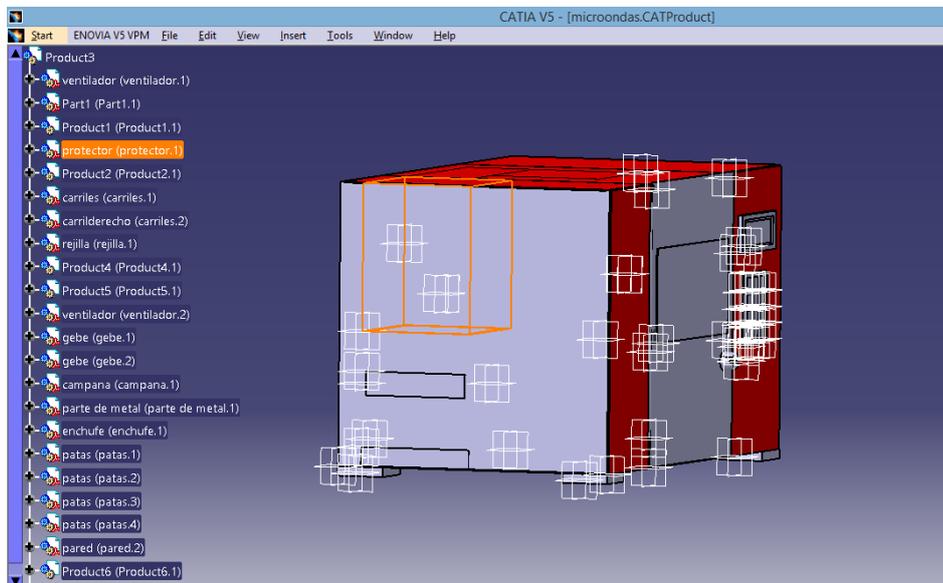


Figura N° 35: Dimensionado ducto de aire elaborada en Catia

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N° 36 se puede observar el ducto de aire de acero inoxidable en las 3 dimensiones elaborada en el software Catia V5, sus planos se muestran en el Anexo N° 2.

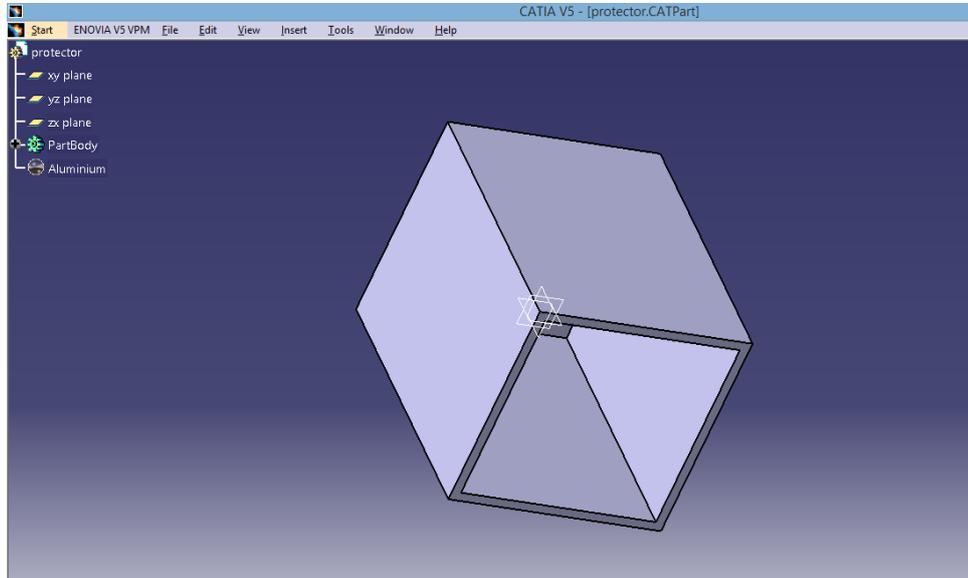


Figura N° 36: Ducto de aire en 3D elaborada en Catia

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N° 37 se muestra el dimensionado del ventilador elaborado en el software Catia V5, que sirve como transferencia de calor que va ser producida por la resistencia y conducida mediante el ducto de aire. Las especificaciones técnicas del ventilador se van a ver en el diseño electrónico.

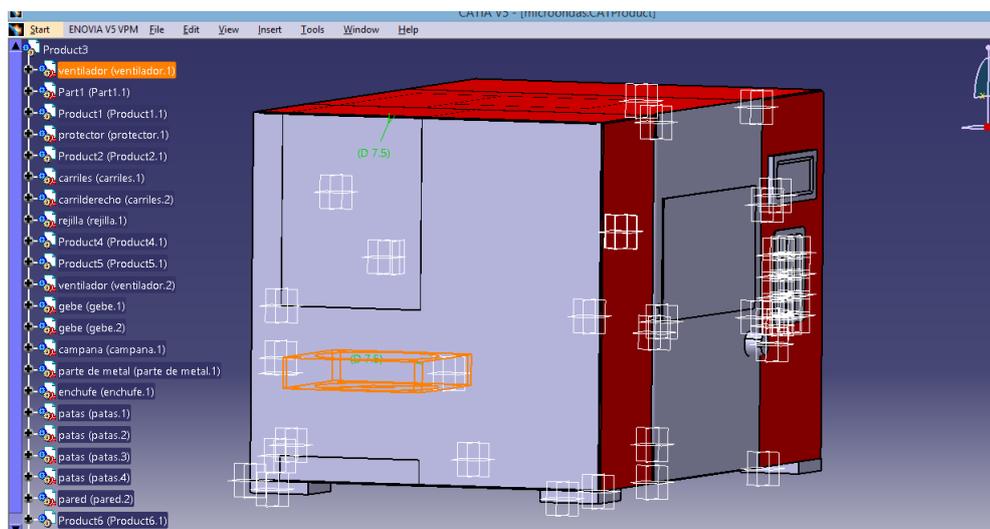


Figura N° 37: Diseño del ventilador elaborada en Catia

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N° 38 se muestra el dimensionado del recipiente para la resistencia eléctrica elaborado en el software Catia V5, que sirve como punto de apoyo para brindar estabilidad a la resistencia eléctrica. El recipiente también fue hecho con acero inoxidable.

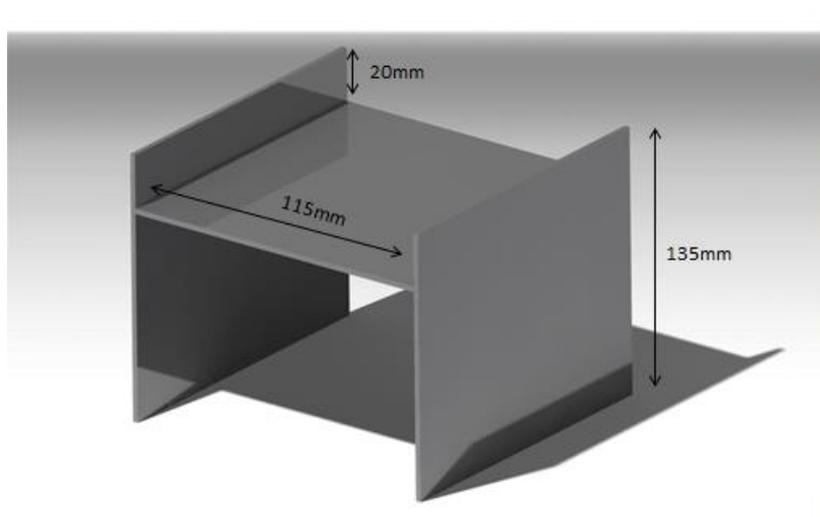


Figura N° 38: Diseño del recipiente de resistencia eléctrica elaborada en Catia
Fuente: Elaboración propia.

En la figura N° 39 se puede observar la puerta lateral hacia el ingreso de la cámara de resistencia eléctrica en sus 3 dimensiones elaborada en el software Catia V5, la puerta está hecha del mismo material del chasis, el acero inoxidable 304, está conformada por una perilla el cual da seguridad a la puerta y una empaquetadura de silicona rojizo que bordea la puerta. Sus planos se muestran en el Anexo N° 3.

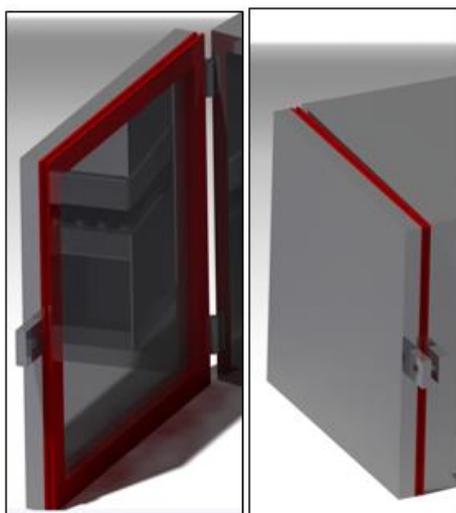


Figura N° 39: Puerta de cámara de resistencia eléctrica elaborada en Catia
Fuente: Elaboración propia.

3.2.2 Diseño de la cámara de secado

En la figura N° 40 se observa la segunda cámara elaborada en el software Catia V5, que viene a hacer la cámara que recibe la transferencia de calor, este empieza con el ingreso de los granos de café en una bandeja metálica, éstas ayudadas con dos carriles colocas en cada lado, el ingreso del aire caliente por el ducto que está colocado en la parte superior de la cámara, también el ducto de desfogue que está en la parte posterior de la cámara y la puerta de ingreso.

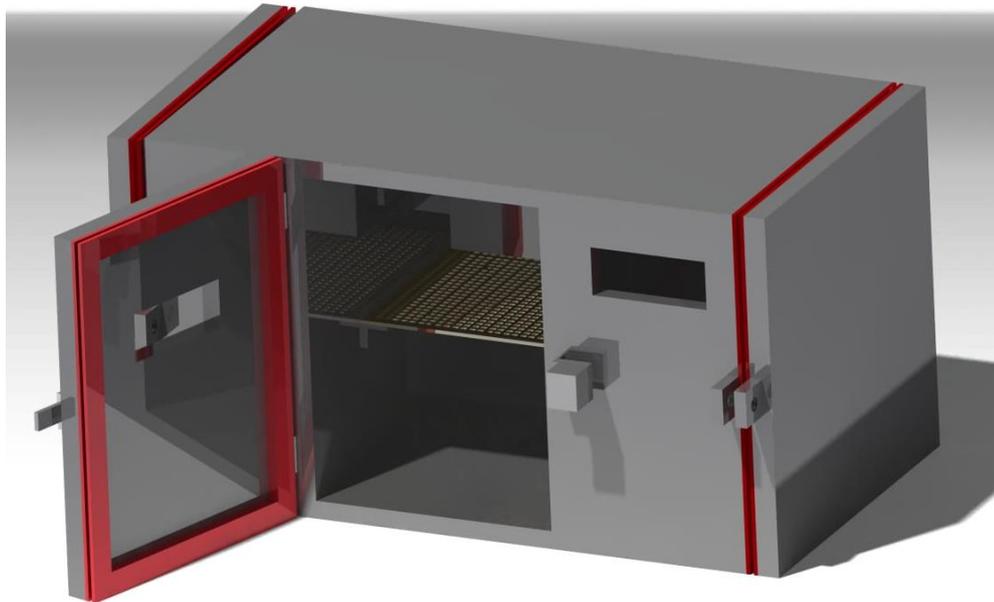


Figura N° 40: Cámara de secado de café en 3D elaborada en Catia

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N° 41 se muestra el dimensionado de la cámara de secado elaborado en el software Catia V5, ahí se muestra el espacio que ocupa en todo el secador de café: tiene 300mm de altura, 300mm de ancho y 260mm de largo. Sus planos se muestran en el Anexo N° 4.

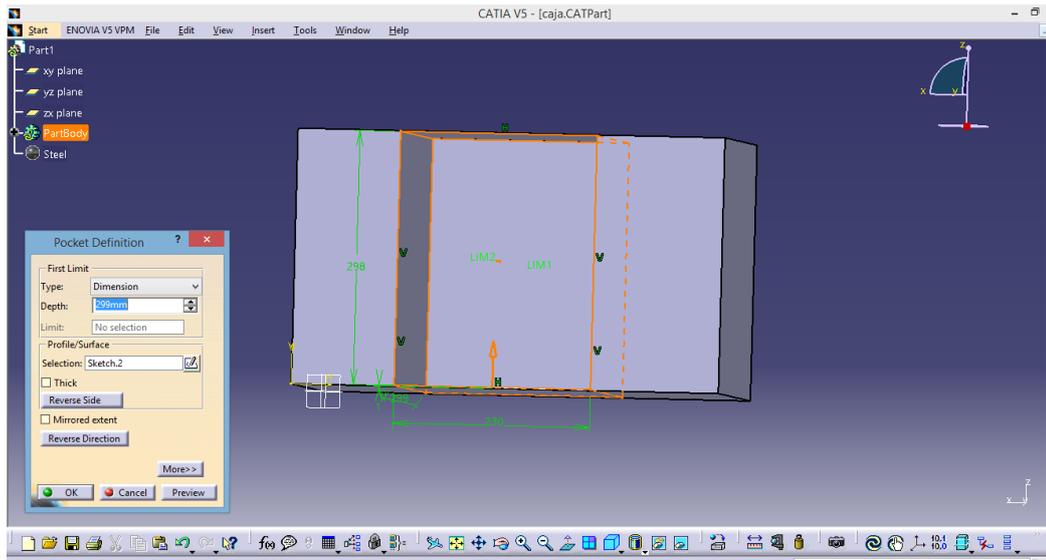


Figura N° 41: Dimensionado de la cámara de secado elaborada en Catia

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N° 42 se puede observar la cámara de secado a una temperatura de 45 °C elaborada en el software Catia V5, en la gráfica se puede ver que la cámara no presenta ninguna deformidad en relación a la temperatura. Esto confirma que la elección del material de acero es adecuada para el prototipo de secado de café.

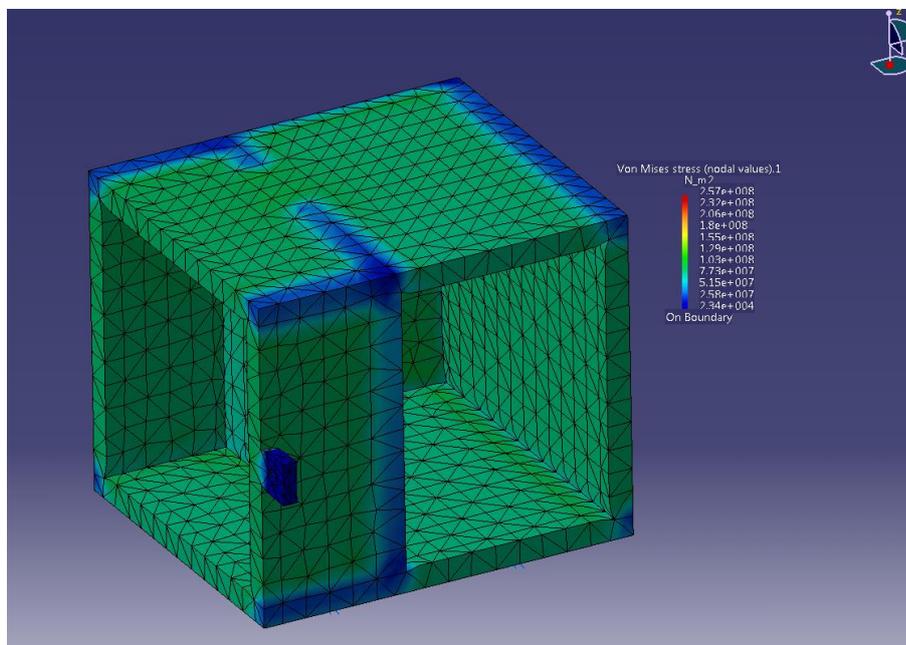


Figura N° 42: Cámara de secado a 45 °C elaborada en Catia

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N° 43 se puede observar el dosificador de aire de acero inoxidable en las 3 dimensiones elaborada en el software Catia V5 que ingresa a la cámara de secado. Sus planos se muestran en el Anexo N° 5.

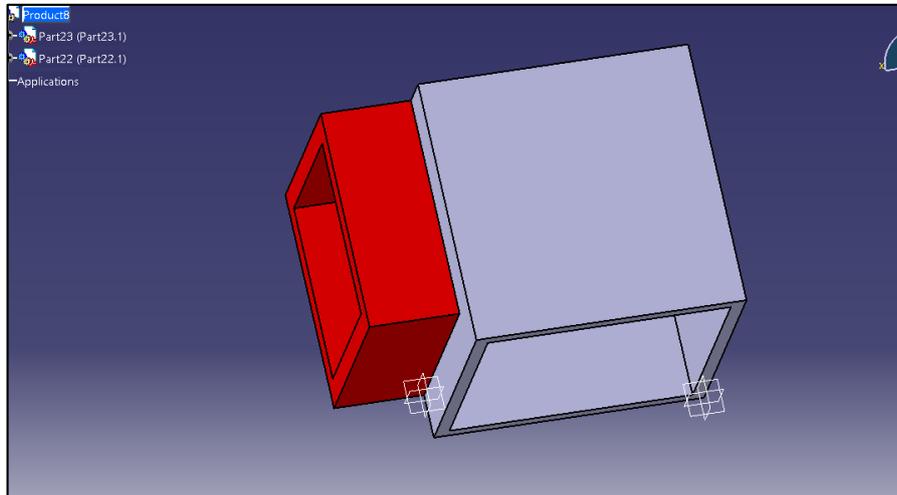


Figura N° 43: Ducto de ingreso de aire a cámara de secado elaborada en Catia

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N° 44 se observa el ducto de desfogue de aire que está en la parte posterior de la cámara de secado, el material con el que se implementó también es de acero inoxidable 304. Sus planos también se muestran en el Anexo N° 1.

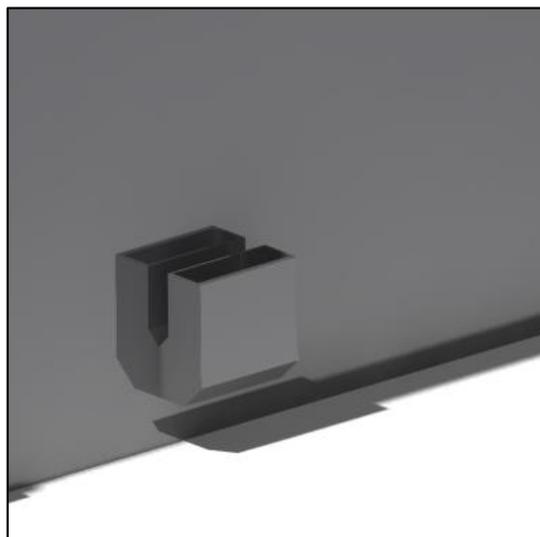


Figura N° 44: Ducto de desfogue de aire de cámara de secado elaborada en Catia

Fuente: Elaboración propia.

Para la construcción de la rejilla de granos de café, es necesario saber el cálculo de balance térmico y pérdidas de calor en el secado de café, para eso hemos necesitado las propiedades del grano de café que vamos a usar (ver tabla N° 5).

Tabla N° 5: Propiedades del café

	Porosidad	Densidad aparente (kg/m ³)	Calor específico (J/Kg °K)	Conductividad Térmica W/m °K	Difusividad Térmica m ² /h
Café	0.56	687,17	1728	0.18	0.000721

Fuente: "Propiedades del café", por Cofederation (s.f)

Se realizó el siguiente cálculo, que con una carga de 1.850 Kg de café húmedo como entrada y con un de 1mm de espesor de bandeja. Se obtuvo la altura del recipiente por medio de un cálculo de volumen de granos necesario para el recipiente.

$$m_{cb} = \frac{m_p}{Ct} \quad \dots \text{Ec. (1)}$$

$$m_{cb} = \frac{1.850kg}{1}$$

$$m_{cb} = 1.850Kg$$

$$V_b = \frac{m_{cb}}{\rho_{cafe}} \quad \dots \text{Ec. (2)}$$

$$V_b = 0.00269064 m^3$$

Donde:

m_{cb} : Masa de café por bandeja (kg)

m_p : Masa total de café a ser secada, 1.85kg.

V_b : Volumen del café por bandeja (m^3)

ρ_{cafe} : Densidad de café, 687.17 (kg/m^3)

Altura del producto de la bandeja:

$$h_b = \frac{v_b}{l_b * a_b} \quad \dots \text{Ec. (3)}$$

$$h_b = 0.0413m$$

Dónde:

l_b : Largo de la bandeja, 0.26 (m)

a_b : Ancho de la bandeja, 0.25 (m)

h_b : Altura de la bandeja (m)

En consecuencia, mediante los cálculos realizados de la ecuación 1 y 2, se concluyó que la altura del recipiente es de 40mm, mientras q el largo y ancho son de 260 y 250mm respectivamente. En la figura N° 45 se puede observar la rejilla metálica para granos de café de acero inoxidable en las 3 dimensiones elaborada en el software Catia V5 que ingresa a la cámara de secado. Sus planos se muestran en el Anexo N° 6.

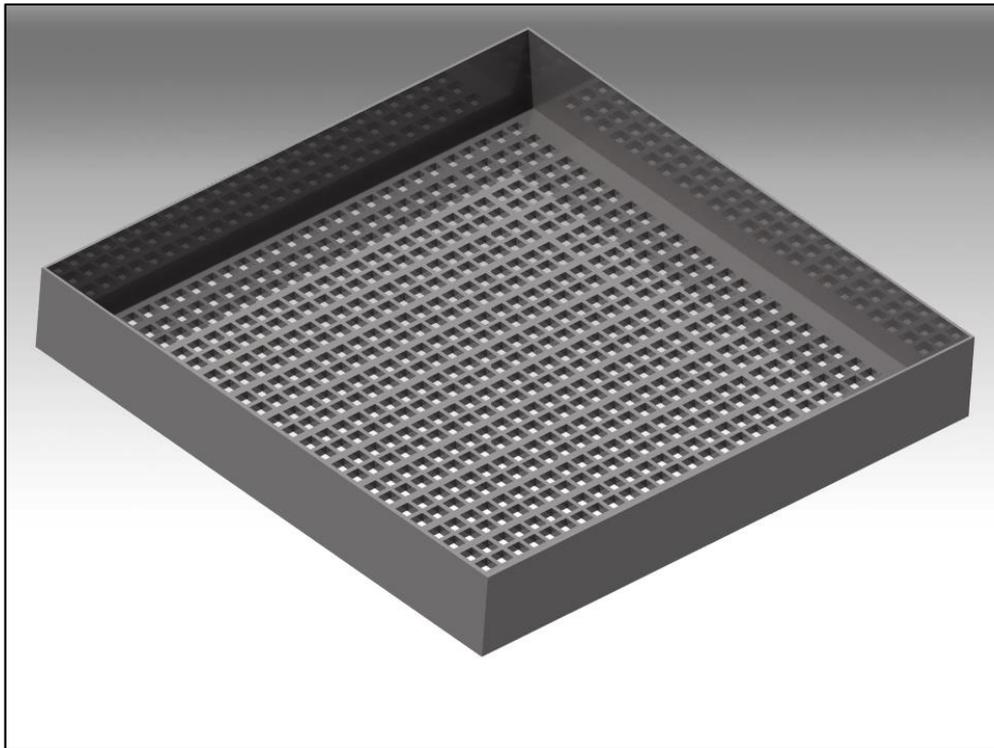


Figura N° 45: Rejilla metálica en 3D elaborada en Catia

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N° 46 se puede observar la rejilla metálica sometida a una temperatura de 50 °C elaborada en el software Catia V5, en la gráfica se puede ver que la rejilla no presenta ninguna deformidad en relación a la temperatura. Esto confirma que la elección del material de acero inoxidable 304 es adecuada para la rejilla del secado de café.

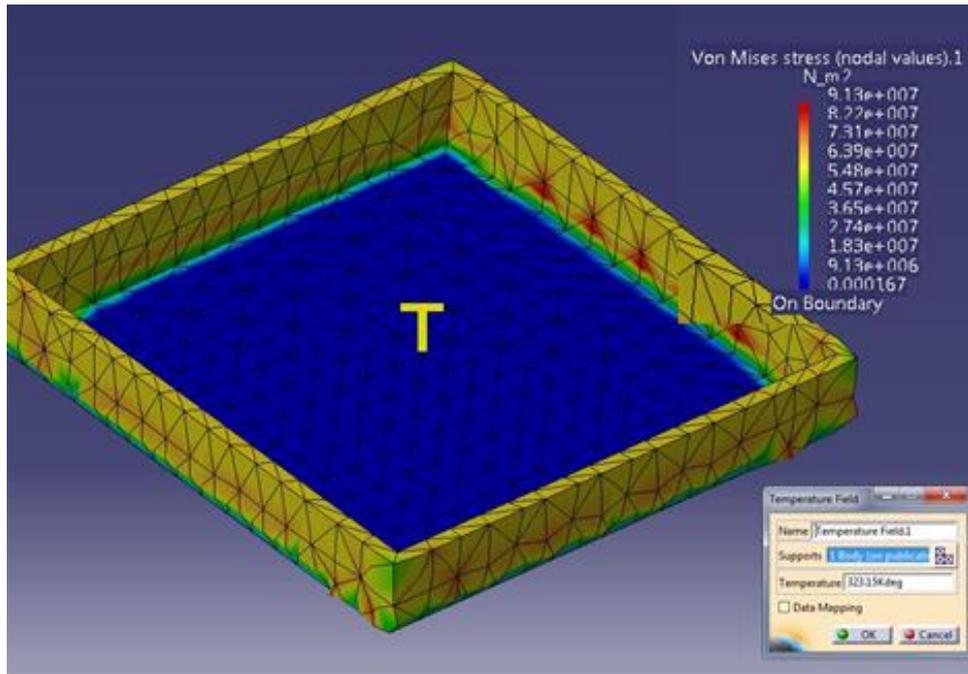


Figura N° 46: Resistencia térmica de la rejilla a 50 °C

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N° 47 se puede observar el carril derecho en sus 3 dimensiones elaborada en el software Catia V5, este permite el ingreso de la bandeja metálica de granos de café que ingresa a la cámara de secado. El carril izquierdo tiene la misma dimensión. Sus planos se muestran en el Anexo N° 7.

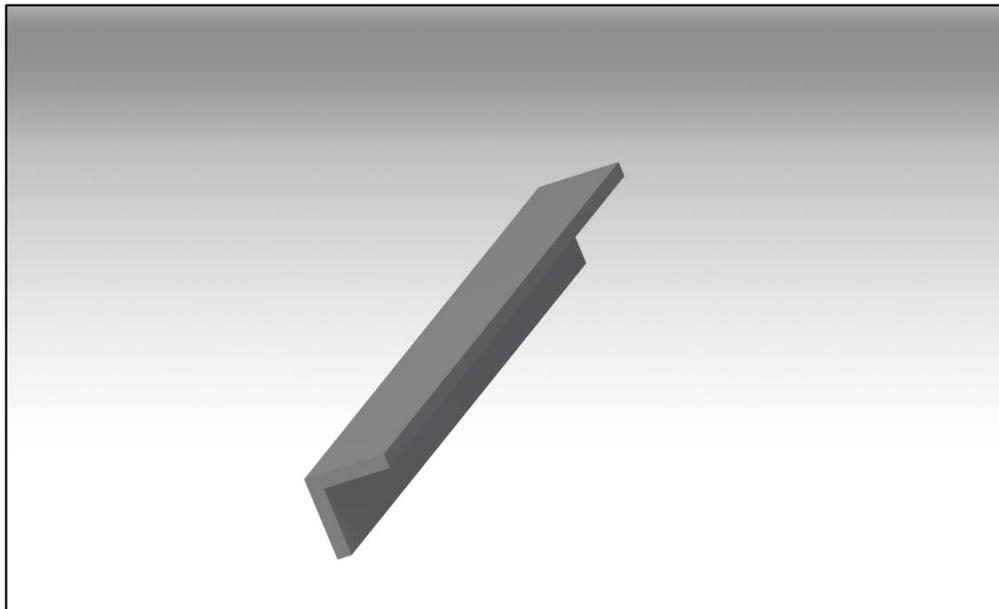


Figura N° 47: Carril derecho elaborado en 3D elaborada en Catia

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N° 48 se puede observar la puerta principal hacia el ingreso de la cámara de secado en sus 3 dimensiones elaborada en el software Catia V5, la puerta está hecha del mismo material del chasis, el acero inoxidable 304, está conformada por una perilla el cual da seguridad a la puerta, una ventana de vidrio templado en el que se pueda ver el proceso de secado y una empaquetadura de silicona rojizo que bordea la puerta. Sus planos se muestran en el Anexo N° 8.

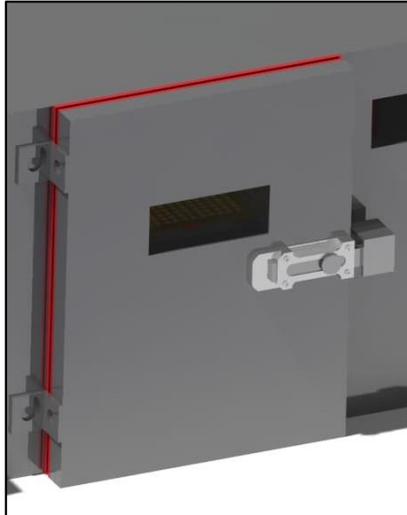


Figura N° 48: Puerta para el ingreso a cámara de secado elaborada en Catia

Fuente: Elaboración propia.

Para la elección del vidrio que permite ver el proceso de secado, se realizó estudios en el cual el vidrio posea un sellado total sin filtros por el cual el aire pueda escapar y también sea resistente a temperaturas elevadas.

Según los fabricantes de vidrios VIDRESIF (s.f) los vidrios tienen las siguientes características:

- Cámara: Espacio libre entre las hojas de vidrio, su espesor debe ser mayor a 6mm.
- Relleno de cámara: Puede ser aire y/o gas deshidratado como argón o xenón. En este caso es aire.
- Espaciador: Elemento usado para separar las hojas de vidrio y mantener el ancho de la cámara en todo el perímetro exterior del vidrio aislante.

- Desecante: Producto concebido para disminuir la presión de vapor húmedo en el interior de la cámara del vidrio aislante.
- Sellante Interior (Primera Barrera/Butilo): Producto elastómero no vulcanizado, blando; su adherencia es buena. Ofrece propiedades mecánicas de cohesión y adherencia entre el vidrio y el intercalario.
- Sellado de Borde (Segunda Barrera/ Poliuretano). Producto elastómero de dos componentes. Buena adherencia, resiste a la oxidación.

En la siguiente figura N° 49 se puede observar las características de tres tipos de vidrio: Templado, laminado y flotado.

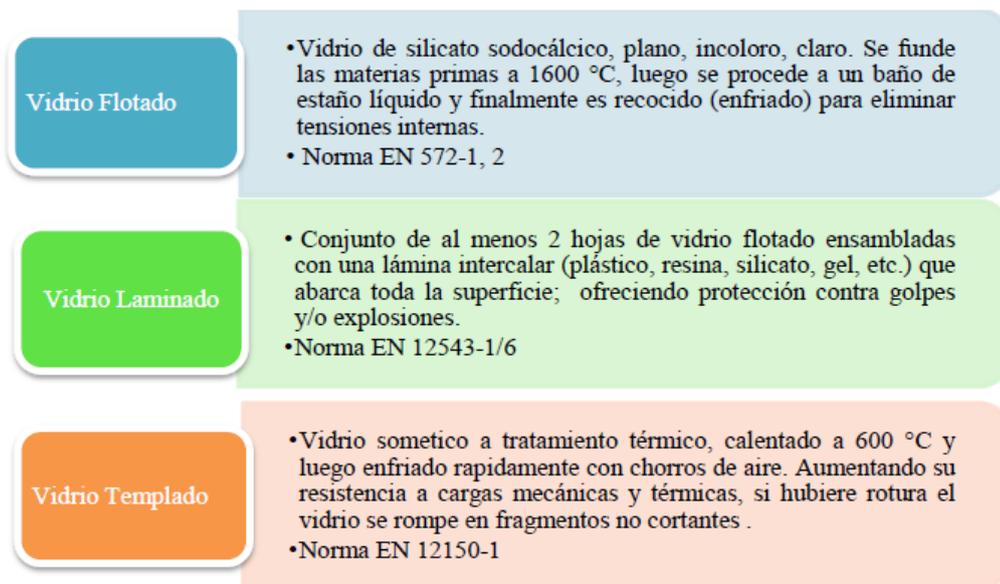


Figura N° 49: Descripción de los vidrios
Fuente: “Tipos de vidrios”, por VIDRESIF (s.f)

De acuerdo a las características vistas, se llegó a la conclusión de que la mejor opción es el vidrio templado, ya que la resistencia de un vidrio templado es 5 veces más a la de un vidrio normal. En la figura N° 50 se puede observar la resistencia térmica del vidrio templado de 6mm de espesor sometida a 45 °C el cual fue elaborado en el software Catia V5. Sus planos también se muestran en el anexo N° 8.

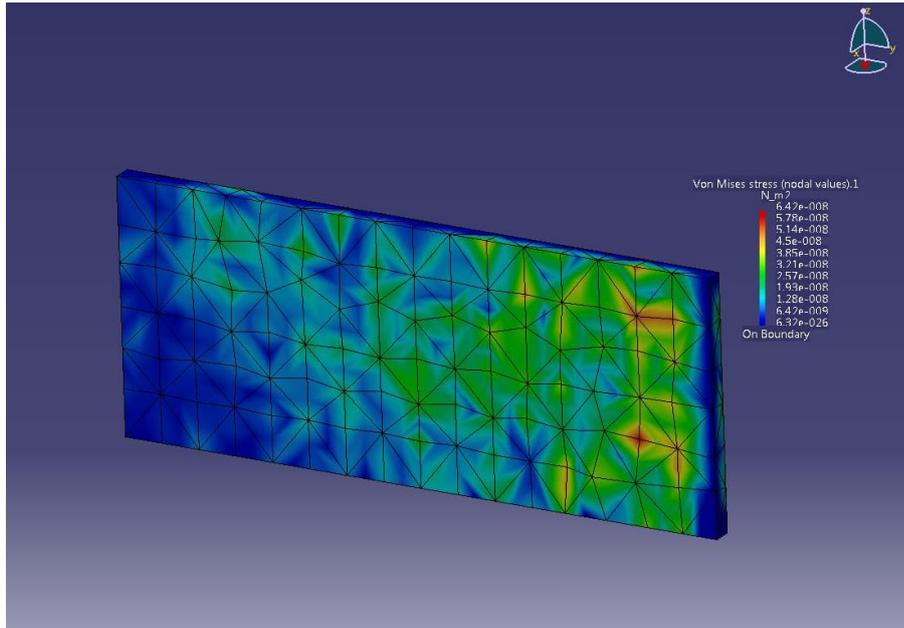


Figura N° 50: Resistencia térmica del vidrio templado elaborado en Catia

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N° 51 se puede observar la perilla en sus 3 dimensiones elaborada en el software Catia V5. Esta brinda seguridad en la puerta de secado. El material de la perilla es de aluminio fundido y su diseño fue de libre elección.

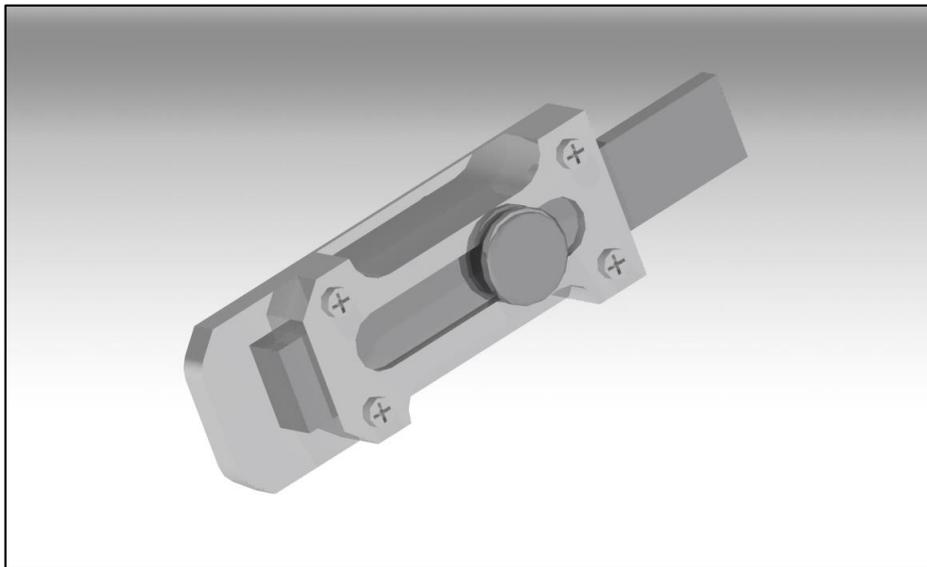


Figura N° 51: Dimensionado de la perilla en 3D en Catia

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N° 52 se puede observar la empaquetadura de silicona que se implementó en el borde de las puertas, está diseñada para evitar las fugas de aire caliente que se pueda

generar entre el chasis y la puerta del secador de café, así como también asegurar la hermeticidad de la cámara de secado y cámara de resistencias eléctricas, en la gráfica también se puede observar la resistencia térmica de la empaquetadura sometida a 45° C, se puede ver que la empaquetadura no presenta ninguna deformidad en relación a la temperatura. Esto confirma que la elección del material de silicona es la correcta.

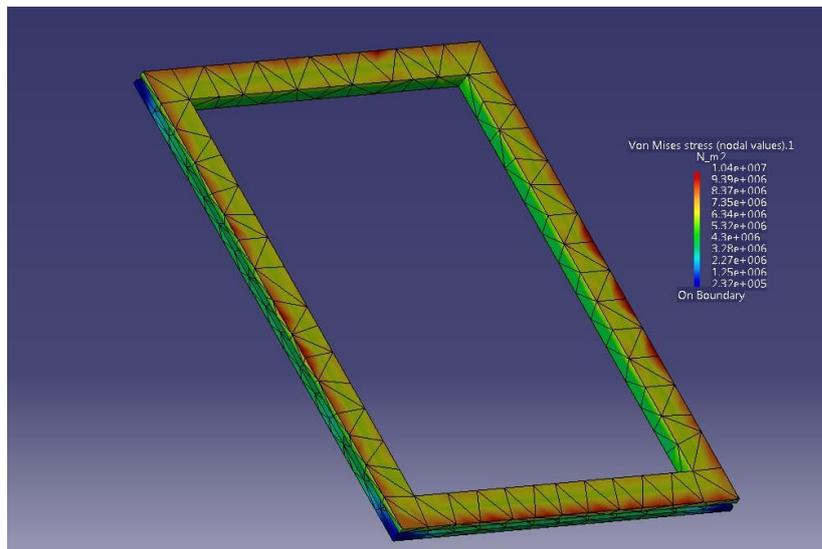


Figura N° 52: Resistencia térmica de la empaquetadura de silicona en Catia.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3 Diseño de la cámara de control

En la figura N° 53 se puede observar la cámara de control a una temperatura de 25 °C elaborada en el software Catia V5, en la gráfica se puede ver que la cámara no presenta ninguna deformidad en relación a la temperatura. Es importante que no suceda ningún desperfecto ya que ahí están el circuito eléctrico y electrónico. Sus planos se muestran en el anexo N° 9.

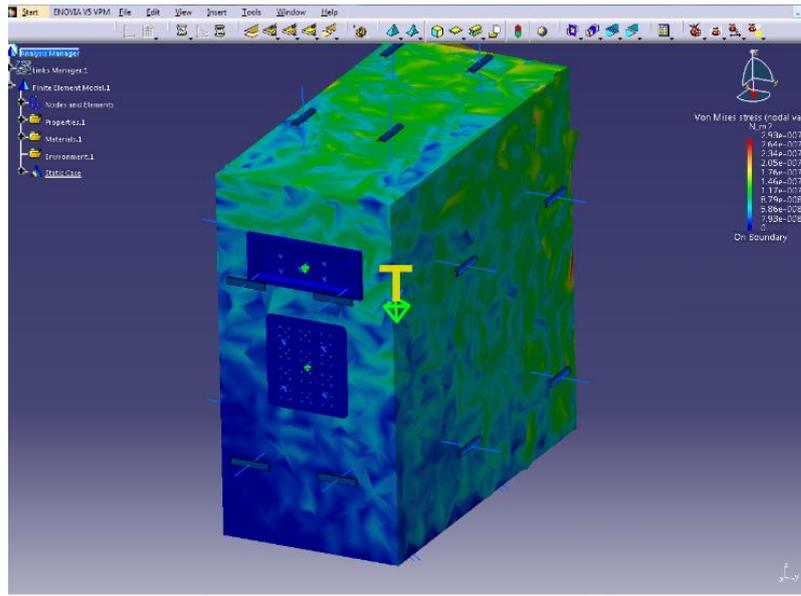


Figura N° 53: Cámara de control a 25 °C elaborada en Catia V5

Fuente: Elaboración propia.

3.3 Diseño Electrónico

Para esta etapa de Tesis se hizo uso de 7 actuadores los cuales son 1 ventilador de 12V DC a 0.2A para introducir aire frío a la cámara de control y así mantener una temperatura de operación adecuada, 1 MOC 3021 el cual es alimentado con 5V DC para activar la puerta del Triac BT137, 1 Triac BT137 el cual se acciona con 5V DC en puerta, y así logre transmitir 220V AC hacia la Resistencia Eléctrica, 1 ventilador de 12V DC a 0.6A el cual envía el aire caliente proveniente de la Resistencia Eléctrica hacia la rejilla que contiene los granos de café, 1 Diodo Led el cual es alimentado con 5V DC e ilumina la cámara de secado de café, 1 Pantalla LCD de 20 x 4, el cual es alimentado con 5V DC mostrando los datos de temperatura y humedad en tiempo real, 1 tablero de control el cual actúa como switch para el Arduino Nano V3 teniendo la función de seleccionar qué tipo de grano de café está en la cámara de secado para calcular el tiempo y temperatura, 1 sensor de temperatura y humedad ya que se necesita conocer estos valores para suministrar el aire a la temperatura seteada por el controlador. Finalmente 1 módulo Bluetooth HC-06 el cual transmite la información en tiempo real al dispositivo móvil.

3.3.1 Selección del controlador

Se optó por elegir al Arduino Nano V3 y no al Arduino Uno ya que el Arduino Nano contiene los pines necesarios para el sistema y son muy similares, sólo que el nano tiene un precio más cómodo (ver tabla N° 6).

Tabla N° 6: Diferencias entre Arduino Nano V3 y Arduino Uno

Modelo	Arduino Nano V3	Arduino Uno
Microcontrolador	ATmega328	ATmega328P
Voltaje de operación	5V	5V
Voltaje de entrada (Recomendado)	7-12V	7-12V
Pines digitales E/S	20	20
Pines digitales E/S con PWM	6	6
Pines de entrada analógica	8	6
Corriente continua por pin E/S	40mA	20mA
Velocidad del reloj	16 MHz	16 MHz
Memoria Flash	32 KB (ATmega328) El bootloader usa 2 KB	32 KB (ATmega328P) El bootloader usa 0.5 KB
SRAM	2 KB	2 KB
EPR0M	1 KB	1 KB
Led incluido	13	13
Convertidor de USB a serie	FTDI 232	ATmega
Precio	S/ 20.00	S/ 30.00

Fuente: “Arduino Nano y Uno”, por Robots Didácticos (s.f.)

3.3.2 Selección de componentes para Etapa de Potencia

La elección del MOC 3021 ha sido definida para activar la puerta del TRIAC 137 y el cual es activado con un pulso del Arduino Nano V3.

El Triac BT137 ha sido definido para permitir el pase de 220V AC hacia la resistencia y es activado en puerta por el MOC 3021.

Se eligió el Triac BT137 y no el Módulo Relé de Arduino ya que el Triac BT137 ofrece mayor tiempo de vida útil, no emite ruido y el precio es menor (ver tabla N° 7).

Tabla N° 7: Diferencias entre Triac BT137 y Módulo Relé Arduino

Modelo	Triac BT137	Módulo Relé Arduino
Voltaje de operación	2.5V	5V DC
Capacidad Máxima (voltios)	600V	250VAC
Capacidad Máxima (Amperaje)	8A	10A
Tiempo de Reacción	20ms	10ms
Tiempo de vida aprox.	4'000 000 horas	100 000 ciclos
Precio	S/ 2.00	S/ 10.00

Fuente: “Triac vs Módulo Relé”, por ElectronicosCaldas (2014)

3.3.3 Selección de Componentes Electrónicos de Baja Potencia

La elección del Ventilador el cual se aprecia en el Anexo N° 10 ha sido definida ya que realiza la acción de transmisión de aire caliente hacia la rejilla de granos de café.

Se utilizó el “DC Brushless Fan FP-108/DC” ya que es el más apropiado resaltando por los CFM (pies cúbicos por minuto) y vida útil, así como en precio (ver tabla N° 8).

Tabla N° 8: Diferencias entre ventilador Cooler Master y DC Brushless Fan Motor

Marca	Cooler Master SickleFlow	DC Brushless Fan FP-108/DC
Dimensiones	120x120x25mm	120x120x38mm
Velocidad	2000 R.P.M.	3000 R.P.M.
Tiempo de vida útil	50 000 Horas	55 000 Horas
Voltaje	12V DC	12V DC
Amperaje	0.35A	0.6A
Entrada	4.2W	7W
CFM	70	105
Precio	S/ 27.00	S/ 30.00

Fuente: “Cooler Master SickleFlow”, por Sercoplus (s.f.)

Según se observa en la figura N° 54 el ventilador no presentó deformación al aplicarle 55 °C de temperatura

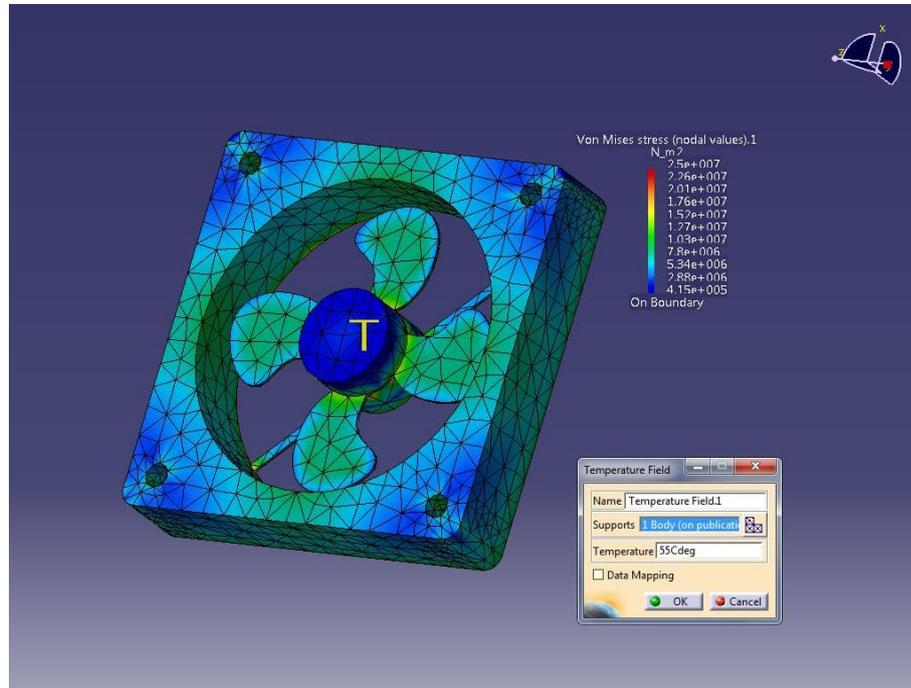


Figura N° 54: Deformación térmica del ventilador en cámara de resistencia

Fuente: Elaboración Propia

Para realizar el control de ambos ventiladores con el Arduino Nano V3 se necesitaron Transistores 2N2222 del tipo NPN para conmutación, ya que son transistores de baja potencia y bajo costo de adquisición.

La elección del Diodo Led el cual se aprecia en el Anexo N° 11 ha sido definida ya que permite la visualización del estado del grano de café.

A continuación, se muestra la tabla N° 9 En el cual el Diodo Led de 1.5W es el que se ha elegido ya que posee bajo consumo y el precio es más cómodo.

Tabla N° 9: Diferencias entre Foco Led de 20W y 50W

Tipo	Led 10W	Diodo Led
Voltaje de trabajo	5V DC	5V DC
Precio	S/ 3.00	S/ 0.20

Fuente: Elaboración propia

La elección de la pantalla LCD de 20 x 4 el cual se aprecia en el Anexo N° 12 ha sido definida ya que puede mostrar en tiempo real los datos de humedad y temperatura del sistema.

A continuación, se muestra la tabla N° 10 la cual por característica de dimensiones se ha utilizado el LCD 20 x 4, ya que para el muestreo de la información necesitamos una pantalla con mayores dimensiones.

Tabla N° 10: Diferencias entre Pantalla LCD 20 x 4 y LCD 16 x 2

Modelo	LCD 20 x 4	LCD 16 x 2
Formato de presentación	20 caracteres x 4 líneas	16 caracteres x 2 líneas
Tensión de alimentación	5V	5V
Precio	S/ 40.00	S/ 25.00

Fuente: “LCD 20x4”, por I + D Electrónica (s.f.)

La elección del tablero de mando el cual se aprecia en el Anexo N° 13 ha sido definida según a las funciones que va a ejercer cada botón sobre el sistema.

Los pines de señal de los actuadores han sido conectados a los pines de la plataforma Arduino de la siguiente manera:

Tablero de control: Pin Digital D2 – D8 (Arduino)
MOC 3021: Pin Digital D9 (Arduino)
MOC Diodo Led: Pin Digital D10 (Arduino)
Ventilador de 0.6A: Pin Digital D12 (Arduino)
Ventilador de 0.2A: Pin Digital D13 (Arduino)
Buzzer: Pin Análogo A0 (Arduino)
Pantalla LCD: Pin Análogo A4 - A5 (Arduino)

Se utilizó una fuente de 12V DC a 1A para alimentar al ventilador de la cámara de generación de calor y al ventilador de la cámara de control.

Se utilizó una fuente de 5V DC a 0.8A para alimentar al circuito de control el cual a su vez alimenta al Diodo Led, MOC 3021, Triac BT137, Pantalla LCD, Sensor DHT22 y Módulo Bluetooth HC-06.

El pin de señal del sensor DHT22 va conectado con la plataforma Arduino Nano V3 como se muestra a continuación:

Sensor DHT22: Pin Digital D11 (Arduino)

El pin Positivo (+) va conectado al Pin 5V y el Pin de tierra (-) van conectados al Pin GND del Arduino Nano V3

La elección del sensor DHT22 ha sido definida ya que se encarga de sensar temperatura y humedad.

Como se muestra en la tabla N° 11 se ha elegido el Sensor DHT22 en vez del DHT11 ya que el DHT22 trabaja con mucho más rango de temperatura y humedad y, es mucho más preciso.

Tabla N° 11: Diferencias entre Sensor de Humedad DHT11 y DHT22

Modelo	DHT11	DHT22
Power and I/O	3 a 5V DC	3 a 5V DC
Máximo Amperaje usado	2.5mA	2.5mA
Lectura de Humedad	Alcanza lecturas de entre 20-80% con 5% de precisión	Alcanza lecturas de entre 0-100% con 2-5% de precisión
Lectura de temperatura	Alcanza lecturas de entre 0-50°C con $\pm 2\%$ de precisión	Alcanza lecturas de entre -40 a 80°C con $\pm 0.5\%$ de precisión
Hertz	No más de 1 Hz de ratio	No más de 0.5 Hz de ratio
Precio	S/ 11.00	S/ 22.00

Fuente: "DHT22", por ElectronicosCaldas (2014)

El Módulo Bluetooth HC-06 tiene la finalidad de observar en tiempo real el tiempo actual y el estado de funcionamiento del prototipo sin necesidad de estar presente donde se encuentra la máquina.

Los pines de transmisión y recepción de datos del módulo bluetooth HC-06 van conectado con la plataforma Arduino Nano V3 como se muestra a continuación:

Módulo Bluetooth: Pin TXD al pin RX0 (Arduino)

Pin RXD al pin TX1 (Arduino)

Las especificaciones técnicas y precio del Módulo Bluetooth HC-06 se muestran en la tabla N° 12.

Tabla N° 12: Especificaciones técnicas del Módulo Bluetooth HC-06

Modelo	HC-06
Voltaje de operación	3.3V – 5V DC
Corriente de operación	< 40mA
Corriente modo sleep	< 1mA
Frecuencia	Banda ISM de 2,4 GHz
Sensibilidad	-84dBm a 0.1% VER
Alcance	10 metros
Velocidad de transmisión	1200bps hasta 1.3Mbps
Seguridad	Autenticación y encriptación
Compatibilidad	Compatible con Android
Dimensiones	37x16 mm
Peso	3.2 gramos
Precio	S/ 23.00

Fuente: “Módulo Bluetooth HC06”, por Naylamp mechatronics (s.f)

A continuación, en la figura N° 55 se muestran las conexiones realizadas en el Software Fritzing y en el anexo N° 14 el diagrama esquemático, el cual también fue realizado por el software Fritzing.

3.3.4 Simulación de conexiones

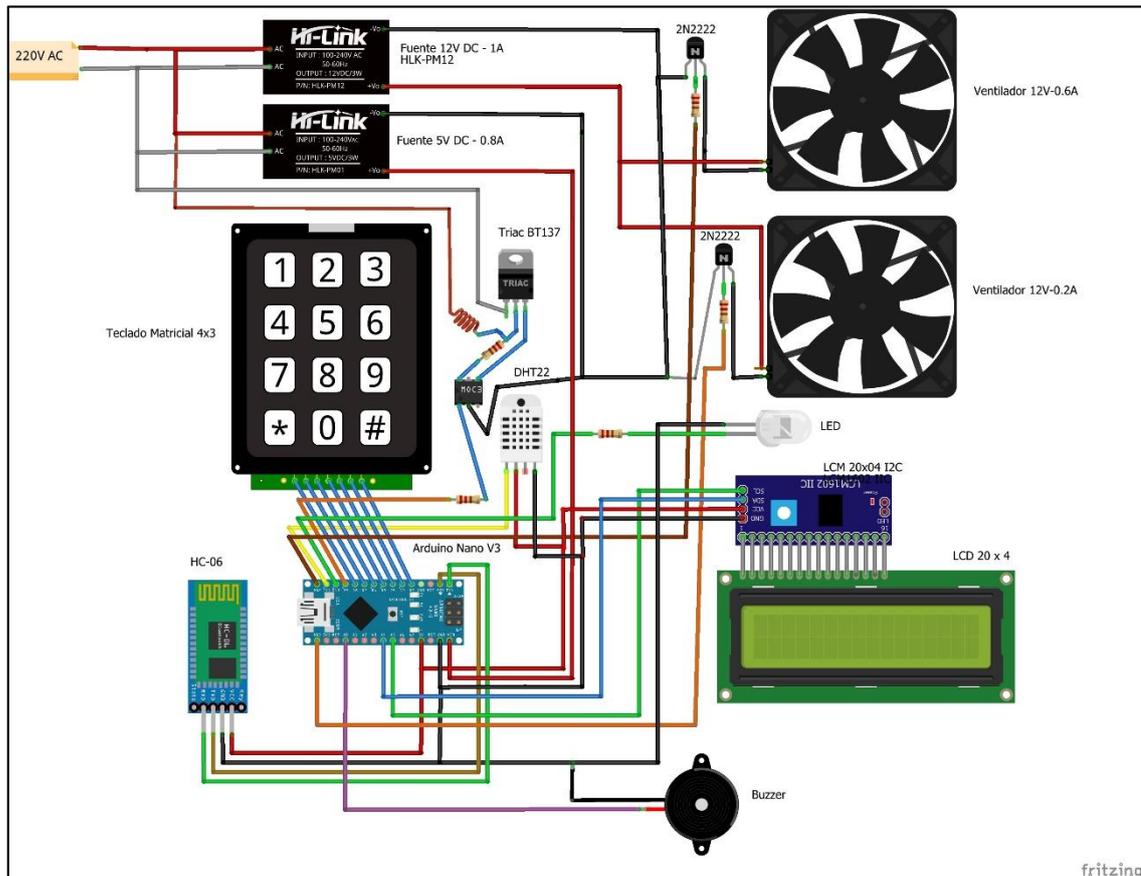


Figura N° 55: Diseño Electrónico acoplado al Arduino Nano V3

Fuente: Elaboración Propia

3.4 Diseño eléctrico:

3.4.1 Resistencia eléctrica

En la figura N° 56 observa la resistencia eléctrica la cual se encarga de generar el calor (mediante la elevación de la temperatura del aire) para el secado de café. La resistencia eléctrica designada fue de 90Ω (ver tabla N° 12) la cual es alimentada con un voltaje de 220V AC. Sus planos se muestran en el Anexo N° 15.



Figura N° 56: Resistencia de 90 Ω

Fuente: Elaboración propia.

Según se observa en la tabla N° 13, se ha elegido la resistencia de 90 Ω y no la de 60 Ω por la potencia de consumo, ya que el M - 1000 tiene un consumo máximo de 550W según especificaciones técnicas en comparación con el M - 2000, alcanzando la temperatura deseada de 55 °C; adicional a ello se observa que ambos son recubiertos con cerámica por lo que, la cerámica al no permitir la disipación abrupta de la temperatura genera menor consumo de potencia.

Tabla N° 13: Diferencia entre Resistencia eléctrica de 90ohm y 60ohm

Modelo	M – 1000	Modelo - 2000
Resistencia	90 Ω	60 Ω
Potencia de consumo	550W	950W
Recubrimiento	Recubierto con cerámica	Recubierto con cerámica
Costo	S/ 4.50	S/ 4.50

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2 Interruptor termomagnético

Ciclo combinado (s.f) nos indica lo siguiente:

Es un dispositivo que como su nombre indica combina dos efectos, el magnetismo y el calor, para interrumpir la corriente eléctrica de un circuito cuando se detectan valores mayores a ciertos límites.

El interruptor termomagnético interrumpe el paso de la corriente cuando detecta que esta sobrepasa ciertos límites. Es por esto que un interruptor termomagnético sirve para proteger un circuito eléctrico de sobrecargas y cortocircuitos.

En la figura N° 57 podemos ver que existen diferentes tipos y marcas de interruptores termomagnéticos, así como también de diferentes polos; tenemos el de una sola fase, el de dos polos y el de tres polos o llamado también trifásico.



Figura N° 57: Tipos de interruptores termomagnéticos

Fuente: “Interruptores termomagnéticos”, por Maestro (s.f)

Para poder saber que interruptor termomagnético usar, se necesitó saber la intensidad que consume el prototipo de secador de café, para ello se tomó en cuenta la intensidad de la resistencia eléctrica, la intensidad de una fuente de 12V DC para la alimentación de los ventiladores y la intensidad de una fuente de 5V DC para la alimentación de la parte de control.

Para hallar la intensidad de la resistencia eléctrica se ha realizado la siguiente operación, teniendo en cuenta que el voltaje de entrada es de 220V AC y la resistencia eléctrica es de 90ohms, aplicando la siguiente formula deducimos:

$$I_r = \frac{V_i}{R_{re}} \quad \dots Ec.4$$

$$I_r = \frac{220v}{90 \text{ ohms}}$$

$$I_r = 2.4 \text{ A}$$

$$P_r = I_r * V_i \quad \dots \text{Ec. 5}$$

$$P_r = 537.7 \text{ w}$$

Dónde:

I_r : Intensidad de la resistencia eléctrica (A)

V_i : Voltaje de alimentación al secador de café (V)

R_e : Resistencia de la resistencia eléctrica (Ω)

P_r : Potencia que consume proceso de secado (W)

Para definir la intensidad de la fuente de 12Vdc, se necesitó saber la corriente de los ventilares: el primer ventilador trabaja con una intensidad de 0.2A y el segundo trabaja con una intensidad de 0.6A. Aplicando la siguiente formula deducimos:

$$I_{12v} = I_{v1} + I_{v2} \quad \dots \text{Ec. 6}$$

$$I_{12v} = 0.2A + 0.6A$$

$$I_{12v} = 0.2A + 0.6A$$

$$I_{12v} = 0.8A$$

Dónde:

I_{12v} : Intensidad de la fuente de 12V DC (A)

I_{v1} : Intensidad del ventilador 1 (A)

I_{v2} : Intensidad del ventilador 2 (A)

Por lo tanto, se eligió una fuente de 12V DC de 1A.

Para definir la intensidad de la fuente de 5V DC, se necesitó saber la corriente de una parte del sistema de control (Arduino Nano V3 y MOC 3021), puesto que la segunda parte restante ya se calculó (su consumo marcó 0.5A). Para ello utilizamos un multímetro USB digital como se muestra en la figura N° 58.

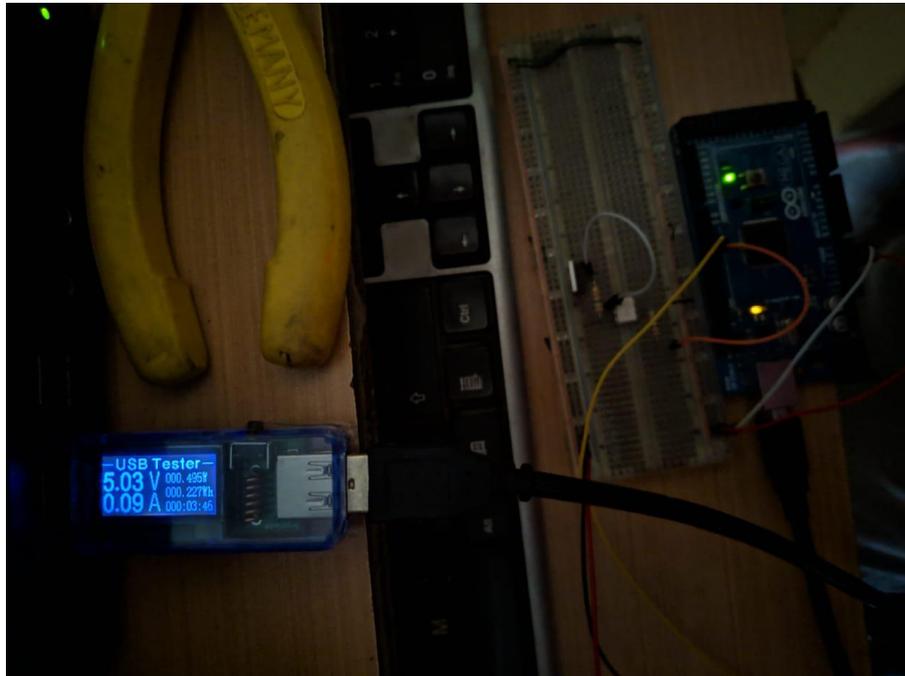


Figura N° 58: Medición amperaje del sistema de control

Fuente: Elaboración propia

Al sumar el consumo de ambas partes de control marcó 0.6A, por lo que se eligió una fuente de 5V DC a 0.8A.

Para definir la intensidad del sistema del prototipo de secador automatizado de café se utilizó la siguiente ecuación:

$$I_{\text{sist}} = I_{\text{re}} + I_{12\text{v}} + I_{5\text{v}} \quad \dots\text{Ec. 7}$$

$$I_{\text{sist}} = 2.4\text{A} + 1\text{A} + 0.8\text{A}$$

$$I_{\text{sist}} = 4.2\text{A}$$

Dónde:

I_{sist} : Intensidad del secador automatizado de café (A)

I_{re} : Intensidad de la resistencia eléctrica (A)

$I_{12\text{V}}$: Intensidad de la fuente de 12V DC (A)

$I_{5\text{V}}$: Intensidad de la fuente de 5V DC (A)

De acuerdo a los resultados obtenidos se necesitó un interruptor termomagnético mayor a una intensidad de 4.1A. Existen diferentes marcas de interruptores, para su elección necesitamos saber su confiabilidad, duración y costo. En la figura N° 59 observamos el interruptor termomagnético que elegimos por las características necesitadas.



Figura N° 59: Interruptor termomagnético de dos polos

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N° 14 se muestra la ficha técnica del interruptor termomagnético seleccionado.

Tabla N° 14: Ficha técnica del interruptor Siemens AC de 6A

Atributos	Detalles
Características	Curva de intervención tipo C. Interruptor tipo riel bifásico 2”
Marca	Siemens
Material	Conductor de cobre aislamiento de PVC
Corriente nominal	2 x 6A
Capacidad de cortocircuito (I máx.)	6000A
Clase de limitación	3
Tensión nominal	400v
Procedencia	Alemania

Fuente: “Interruptor diferencial”, por Siemens (2019)

3.4.3 Interruptor Diferencial

Ciclo combinado (s.f) nos indica lo siguiente:

Éste dispositivo electromagnético nos protege de las consecuencias que se pueden derivar de una fuga de corriente en nuestra instalación. Se llama diferencial porque es capaz de medir la posible diferencia entre la corriente de entrada y la de retorno en un sistema eléctrico.

Para la elección del interruptor diferencial usar se necesitó saber la corriente nominal de la llave termomagnética utilizada, ya que esta siempre tiene que ser mayor a la corriente nominal de dicho interruptor. El interruptor termomagnético es de 6A. Por lo tanto, se utilizó un interruptor diferencial monofásico de 25A. Ya que es la de menor amperaje que se puede encontrar en el mercado. En la figura N° 60 observamos el interruptor que elegimos por las características necesitadas.



Figura N° 60: Interruptor diferencial
 Fuente: “Interruptor diferencial”, por Siemens (2009).

En la tabla N° 15 se muestra la ficha técnica del interruptor diferencial seleccionado.

Tabla N° 15: Ficha técnica del Interruptor diferencial

Atributos	Detalles
Intensidad corriente nominal	25A
Marca	Siemens
Intensidad diferencial nominal de disparo: $I_{\Delta n}$	30mA
Capacidad nominal de cierre y de interruptor diferencial: I_m	500A
Corriente nominal de cortocircuito nominal	10kA
Tipo de interruptor diferencial	Tipo AC
Procedencia	Alemania

Fuente: “Características de interruptor diferencial”, por Siemens (2009).

El tiempo de respuesta o disparo oscila desde los 20ms y 40 ms (ver figura N° 61).

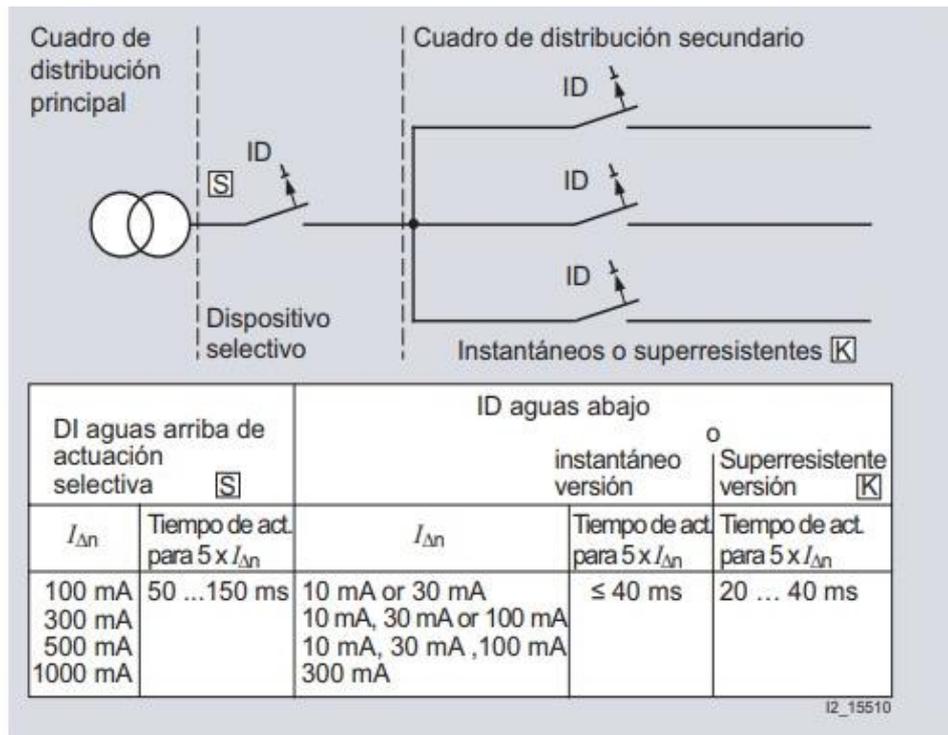


Figura N° 61: Tiempo de respuesta según intensidad diferencial nominal
 Fuente: “Tiempo de respuesta de Interruptor diferencial”, por Siemens, (2009)

3.4.4 Otros materiales

En la figura N° 62 se puede observar el cable que se utilizó para la conexión del interruptor termomagnético con el interruptor diferencial y las resistencias eléctricas. El cable a utilizar fue un cable INDECO calibre NLT: 18 AWG, tipo vulcanizado (ver tabla N° 16) ya que como se pudo observar en la Ec.4 la intensidad de la resistencia eléctrica es de 2.4 A, la selección de la marca y el tipo vulcanizado es porque este tipo de cable es utilizado en máquinas industriales por su aislamiento ya que este tipo de material ayuda a proteger los cables de temperaturas elevadas. Por lo tanto, son las más óptimas y seguras para el funcionamiento del secador de café.



Figura N° 62: Cable INDECO calibre NLT: 18 AWG
 Fuente: “Cable vulcanizado”, por INDECO (s.f).

Tabla N° 16: Datos técnicos del cable vulcanizado NLT

CALIBRE	SECCION NOMINAL	N° HILOS	DIAMETRO HILO	ESPEORES		DIAMETRO EXTERIOR	PESO	AMPERAJE*
				AISLAMIENTO	CUBIERTA			
N°xAWG	mm ²		mm	mm	mm	mm	Kg/Km	A
2 x 18	2x0.82	24	0.204	0.6	0.8	6.8	61	10
2 x 16	2x1.31	24	0.255	0.7	0.8	7.8	83	15
2 x 14	2x2.08	39	0.255	0.8	0.9	9.2	120	20
3 x 18	3x0.82	24	0.204	0.6	0.8	7.2	73	7
3 x 16	3x1.31	24	0.255	0.7	0.9	8.5	104	10
3 x 14	3x2.08	39	0.255	0.8	1.1	10.2	155	15
4 x 16	4x1.31	24	0.255	0.7	1	9.4	128	10
4 x 14	4x2.08	39	0.255	0.8	1.1	11.1	186	15

Fuente: “Tipos cable vulcanizado”, por INDECO (s.f).

En la figura N° 63 se puede observar el dimensionado del conector hembra de 220V con tres entradas elaborado en el software Catia V5, para su elección no se necesitó ningún estudio, ya que cualquier modelo es óptimo para el funcionamiento del secado de café.

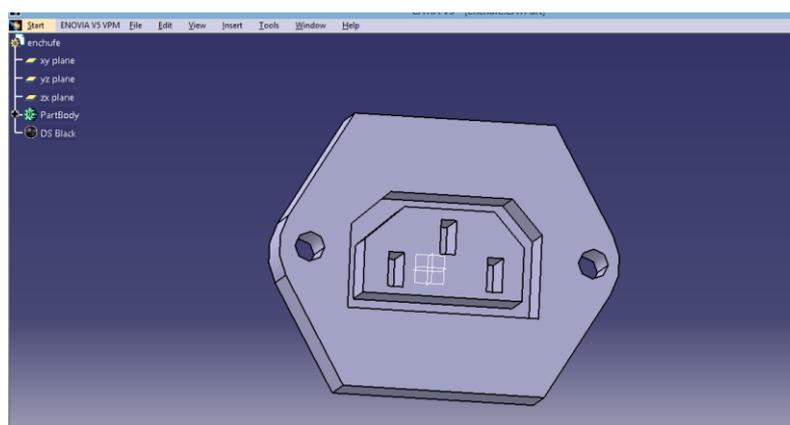


Figura N° 63: Dimensionado del conector hembra en 3D en Catia

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N° 64 se puede observar el interruptor bipolar de 220V que se utilizó para el encendido y apagado del sistema de secado de café. Para su elección no se necesitó ningún estudio, ya que cualquier modelo es óptimo para el funcionamiento.



Figura N° 64: Interruptor bipolar de 220V
Fuente: “Interruptor bipolar”, por Maestro (s.f).

En la figura N° 65 se puede observar el tomacorriente de 220V que se utilizó para la alimentación de las fuentes de 12V y 5V DC respectivamente. Para su elección se tomó en cuenta el amperaje del sistema (ver ec.7), por lo tanto, se eligió uno de 10A. Ya que es la de menor amperaje en el mercado.



Figura N° 65: Tomacorriente.
Fuente: “Interruptor bipolar”, por Maestro (s.f).

En la figura N° 66 se puede observar la regleta clema eléctrica que se utilizó para la distribución de la electricidad en diferentes puntos. Para su elección se tomó en cuenta el amperaje del sistema (ver ec.7), por lo tanto, se eligió uno de 15A.



Figura N° 66: Regleta clema eléctrica.
Fuente: Elaboración propia.

3.4.5 Esquema eléctrico

En la figura N° 67 se puede observar el esquema eléctrico del secador automatizado de café, esta fue elaborada en el software Cade_simu v3.

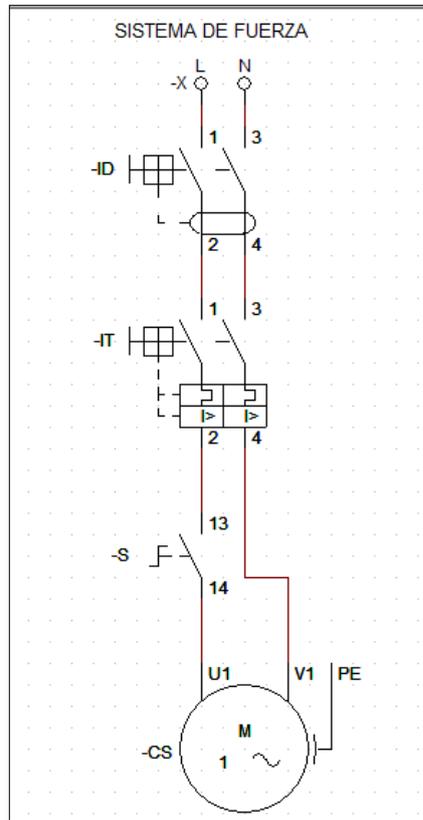


Figura N° 67: Esquema eléctrico en Cade_Simu v3

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

- ID: Interruptor diferencial.
- IT: Interruptor termomagnético.
- S: Interruptor On/Off.
- CS: Circuito del sistema.

En la figura N° 68 se puede observar la simulación del esquema eléctrico del secador automatizado de café elaborada en el software Cade_simu v3. En el que se aprecia que al encendido manual del interruptor diferencial y termomagnético, así como también del interruptor On/Off, el circuito del sistema es activado y listo para su funcionamiento.

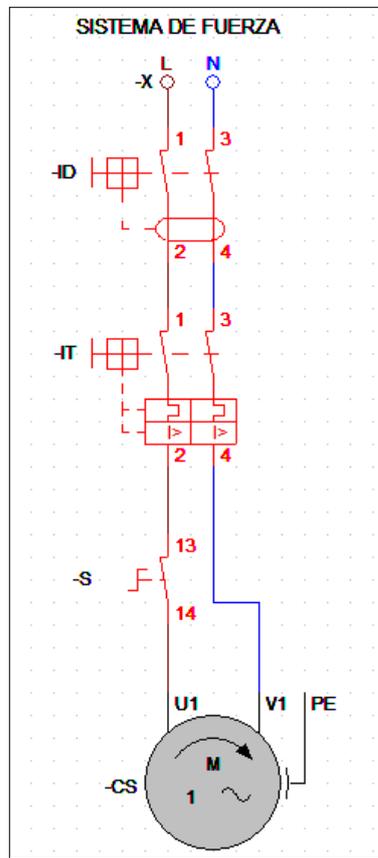


Figura N° 68: Simulación del esquema eléctrico en Cade_Simu v3

Fuente: Elaboración propia.

3.5 Diseño de Control por Software

3.5.1 Cálculos Físico – Matemáticos para el control PID

Se utilizó el tipo de control PID el cual ofrece un control realimentado calculando el error entre el valor que se mide y el que se desea (ver figura N° 69).

Franklin Electric (2013) describe cada uno de los parámetros del control PID:

El algoritmo de control incluye tres parámetros fundamentales: Ganancia proporcional (P), Integral (I) y Derivativo (D).

- a. El parámetro Proporcional (P) mide la diferencia entre el valor actual y el set-point (en porcentaje) y aplica el cambio. Para aplicaciones sumergibles, el valor recomendado es 50% y para aplicaciones centrífugas, el valor recomendado es 10%.
- b. El parámetro Integral (I) se refiere al tiempo que se toma para llevar a cabo acción correctiva. Mientras el valor sea más pequeño, el ajuste es más rápido, pero puede causar inestabilidad en el sistema, oscilaciones, vibración de motor y de la bomba. El valor recomendado para aplicaciones sumergibles es de 0.5 segundos y para aplicaciones centrífugas es de 1 segundo.
- c. El parámetro Derivativo (D) emite una acción predictiva, es decir, prevé el error e inicia una acción oportuna. Responde a la velocidad del cambio del error y produce una corrección significativa antes de que la magnitud del error se vuelva demasiado grande.

Para ello se utilizó la siguiente fórmula:

$$K_P e(t) + K_I \int_0^t e(T) dT + K_D \frac{de(t)}{dt}$$

El cuál es la suma de los 3 parámetros, siendo:

- a. El parámetro Proporcional $\rightarrow K_P e(t)$
- b. El parámetro Integral $\rightarrow K_I \int_0^t e(T) dT$
- c. El parámetro Derivativo $\rightarrow K_D \frac{de(t)}{dt}$

Ésta fórmula fue desarrollada en la codificación de la librería “dht.h” del entorno IDE de Arduino Nano para la estabilidad de aire a una temperatura de 45 °C en el dispensador de calor dentro de la cámara de secado.

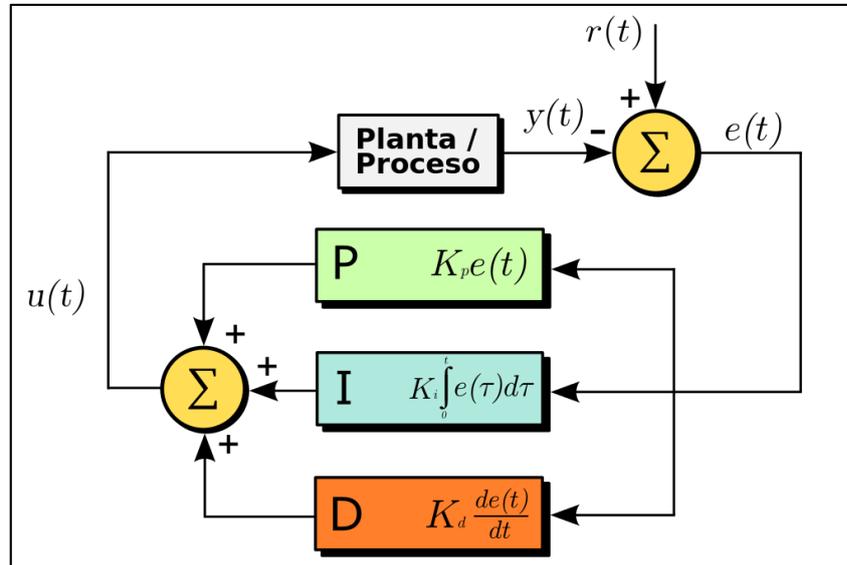


Figura N° 69: Diagrama de un control PID

Fuente: “Diagrama de bloques de un controlador PID en un lazo realimentado”, por (Wikipedia, 2017)

3.5.2 Codificación

Se programó en la plataforma de Desarrollo IDE Arduino 1.0.6 (ver anexo N° 16) ya que esta versión es la más estable permitiendo una programación sin lag u errores en compilación, el software se ha utilizado ya que es de código abierto, de fácil aprendizaje y con múltiples usos dependiendo de cómo se programe.

Para la programación de este sistema se ha utilizado la librería “dht.h” el cual se ha modificado para sensar la temperatura en grados Celsius (°C) y la humedad en porcentaje (%) con respecto a la emisión de aire caliente a la cámara de secado, así como la librería “PID_v1.h” la cual también se ha modificado para adaptarlo al sistema de secado y así se controle la temperatura del aire caliente que ingresa a la cámara de secado (ver figura N° 70).

```

#include <dht.h>
dht DHT;
#define DHT22_PIN 11

struct
{
  uint32_t total;
  uint32_t ok;
  uint32_t crc_error;
  uint32_t time_out;
  uint32_t connect;
  uint32_t ack_l;
  uint32_t ack_h;
  uint32_t unknown;
} stat = { 0,0,0,0,0,0,0,0};
////////// Fin DHT22 //////////

////////// Inicio LCD 20x4 //////////
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,20,4);
////////// Fin LCD 20x4 //////////

////////// Inicio Teclado //////////
#include <Keypad.h>
//double moverCm; //para decimales
int moverCm;
const byte ROWS = 4; //cuatro filas
const byte COLS = 3; //cuatro columnas
//definir simbolo de botones en el teclado
char hexaKeys[ROWS][COLS] = {
  {'1','2','3'},
  {'4','5','6'},

```

Figura N° 70: Entorno de desarrollo IDE Arduino 1.0.6

Fuente: Elaboración Propia

El código dentro de la función void setup () hace referencia al inicio de comunicación de datos y designación de pines digitales en la placa Arduino Nano V3.

El código dentro de la función void loop() hace referencia a la lectura del sensor y a la escritura de valores lógicos hacia el Relé y el LCD 20 x 4.

El funcionamiento del sistema se rige por el diagrama a continuación (ver figura N° 71).

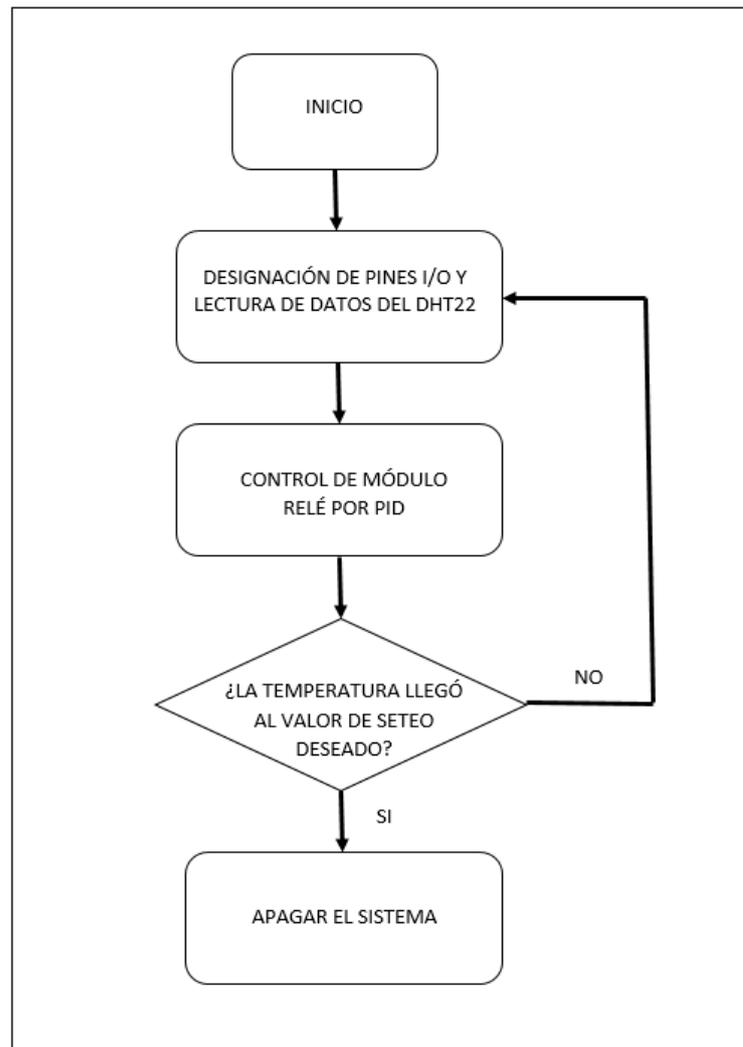


Figura N° 71: Diagrama de bloques del Sistema de Control Realimentado

Fuente: Elaboración Propia

3.6 Implementación del Sistema

Para que la reconstrucción del prototipo de secado de café automatizado sea un diseño mecatrónico se requirió 3 procesos que componen un sistema de dicha naturaleza (ver tabla N° 17).

Tabla N° 17: Construcción de un producto Mecatrónico

Construcción y montaje mecánico	Selección e implementación eléctrica y electrónica	Implementación del sistema de control
Diseño a detalle de las partes	Diseño de circuito de potencia	Diseño del circuito de control
Adquisición de materiales	Adquisición de elementos eléctricos y electrónicos	Adquisición de elementos de control
Medición y trazado de partes	Conexión de protecciones eléctricas	Conexiones de sensores y actuadores
Corte	Implementación del circuito de potencia	Programación del ciclo de secado
Dobleces de aristas		Implementación de elementos de control e indicadores

Fuente: Elaboración propia.

3.6.1 Implementación mecánica

Tras la realización del diseño mecánico, donde se definieron el dimensionado del material y la elección de éste mediante características como: resistencia a temperaturas de calor, resistencia a los esfuerzos, a la corrosión, etc. Se procedió a comprar el planchado de acero inoxidable 304 (ver figura N° 72).

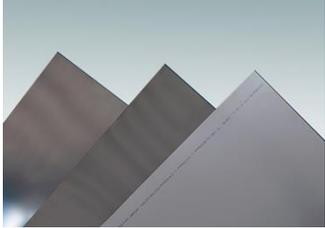


Figura N° 72: Planchado de Acero Inoxidable

Fuente: Elaboración propia.

Las dimensiones del planchado de acero inoxidable 304 en el mercado es de una única medición como se muestra en la tabla N° 18.

Tabla N° 18: Descripción de la Plancha de Acero

Fotografía	 Fuente: JN ACEROS (s.f.)
Material	Acero inoxidable 304
Espesor	1.2 mm
Medidas comerciales	1.22 x 2.44 mm

Fuente: Elaboración propia.

Para el corte de planchado de acero inoxidable 304 a las dimensiones requeridas, se procedió a usar una cortadora laser Salvagnini L3 (ver figura N° 73) el cual nos brindó la empresa Portalamparas S.A.C. Las indicaciones técnicas de la cortadora laser Salvagnini L3 se muestran en la tabla N°19.



Figura N° 73: Cortadora Laser Salvagnini L3

Fuente: “CNC Laser L0313”, por Salvagnini (s.f)

Tabla N° 19: Datos técnicos cortadora laser Salvagnini L3

Fuente de láser en fibra	2000 W	3000 W	4000 W	6000 W (L)	6000 W
Capacidad de corte (espesores) ²					
Acero (S185JR, S235JR, RAEX 250 C LASER)	0.5-15	0.5-20	0.5-20	0.5-20	0.5-25
Acero inoxidable (AISI 304, X5CrNi18-10 1.4301)	0.5-10	0.5-12	0.5-15	0.5-20	0.5-20
Aluminio (Al 99.5 EN AW 1050A)	0.5-8	0.5-10	0.5-15	0.5-20	0.5-20
Cobre (Cu-ETP CW004A H040 EN1652)	0.5-5	0.5-8	0.5-8	0.5-10	0.5-10
Latón (CuZn37 CW508L H055 EN1652)	0.5-5	0.5-6	0.5-8	0.5-8	0.5-8
Consumo ³					
Consumo eléctrico máximo (kW)	16 kW	18 kW	21 kW	28 kW	28 kW

Fuente: “CNC Laser L0313 – Ficha técnica”, por Salvagnini (s.f).

El proceso de cortado (ver figura N° 74) se hizo mediante el uso de nitrógeno y su tiempo de corte fue de aproximadamente 2 horas para todas las piezas requeridas.

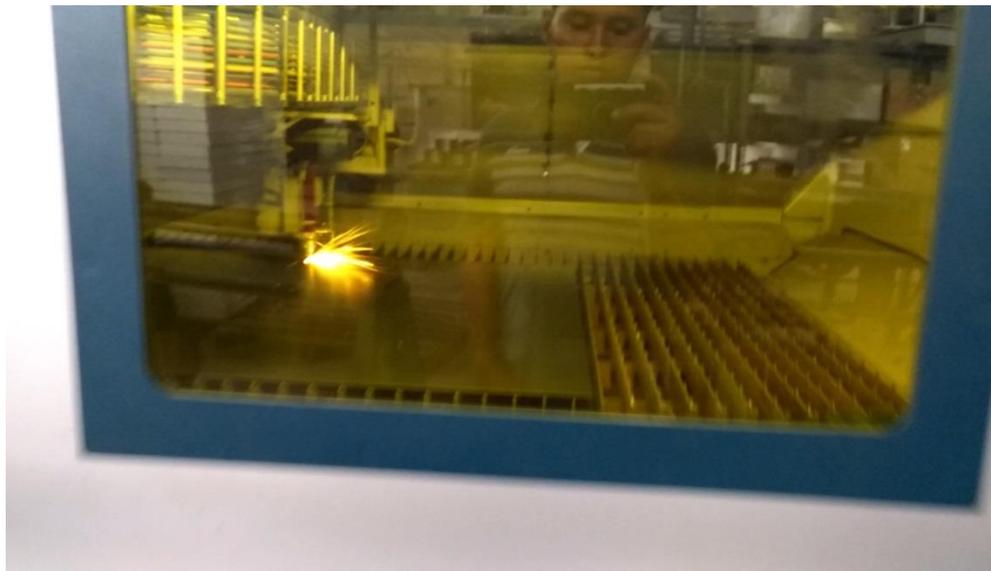


Figura N° 74: Proceso de corte en la cortadora Laser Salvagnini L3

Fuente: Elaboración propia.

Tras los cortes realizados se procedió a implementar el chasis, primero se armó la carcasa del secador de café como se ve en la figura N° 75.



Figura N° 75: Construcción del chasis del secador de café

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N° 76 se puede observar el chasis de la cámara de resistencias eléctricas, con una abertura para la colocación del ducto por el cual ingresa el aire caliente originado por la resistencia eléctrica y se dirige a la cámara de secado.



Figura N° 76: Construcción del chasis de la cámara de resistencia eléctrica

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N° 77 se puede observar el chasis de la cámara de secado de café, con dos aberturas, una para la implementación del ducto, que permite el ingreso del aire caliente a la cámara de secado que viene desde la cámara de resistencia eléctrica y el otro para el desfogue del aire.



Figura N° 77: Construcción del chasis de la cámara de secado de café
Fuente: Elaboración propia.

En la figura N° 78 se puede observar el chasis de la cámara de control del secado de café sin ninguna abertura hecha.



Figura N° 78: Construcción del chasis de la cámara de control del secado de café
Fuente: Elaboración propia.

Para el proceso de soldadura se utilizó una maquina soldadora TIG 250 como se muestra en la figura N° 79. Este proceso basa su funcionamiento por la transferencia de corto circuito, dando como resultado un corte estable usando poca energía y bajo calor. Utiliza CO2 como gas de protección (ver figura N° 80).



Figura N° 79: Maquina soldadora TIG 250

Fuente: Elaboración propia.



Figura N° 80: Proceso de soldadura con la maquina TIG 250

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N° 81 se puede observar la cámara de resistencia eléctrica implementada con el ducto por donde ingresa el aire caliente originado por la resistencia eléctrica y el recipiente donde está el ventilador de 12 volt y la resistencia eléctrica de 90 ohmios.



Figura N° 81: Cámara de resistencia eléctrica terminada

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N° 82 se puede observar la cámara de secado de café implementada con el ducto por donde ingresa el aire caliente originado en la cámara de resistencia eléctrica, el desfogue para la salida del aire y los rieles para la rejilla metálica.



Figura N° 82: Cámara de secado de café

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N° 83 se puede observar la elaboración de la rejilla para los granos de café, esta fue construida con el mismo material del chasis, el acero inoxidable 304.



Figura N° 83: Rejilla elaborada con acero inoxidable 304

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N° 84 se puede observar el desfogue de la cámara de secado de café y la canaleta por donde fueron llevados los cables.



Figura N° 84: Desfogue de la cámara de secado

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N° 85 se puede observar la puerta hecha de acero inoxidable 304, con un grosor de 2cm el cual en su interior se colocó fibra de vidrio para su aislamiento térmico de las cámaras de secado y resistencia eléctrica, así como también la implementación de una empaquetadura de silicona de color rojizo al contorno de la puerta para evitar las fugas de aire que esta pueda generar.



Figura N° 85: Puerta hecha de acero inoxidable 304

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N° 86 se puede observar el prototipo de secado de café con las tres puertas implementadas, estas fueras colocadas gracias a unas bisagras de acero inoxidable, también se puede observar la empaquetadura de silicona que como se explicó anteriormente sirven para evitar fugas de aire de la cámara de secado.



Figura N° 86: Puertas instaladas en el prototipo de secado de café

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N° 87 se puede observar las aberturas realizadas con un esmeril angular 9'' MAKITA a la cámara de control, para la colocación del LCD, teclado matricial y el switch en la parte frontal, y el ventilador y conector macho en la parte posterior.



Figura N° 87: Aberturas elaborada con esmeril MAKITA en la cámara de control
Fuente: Elaboración propia.

3.6.2 Implementación Eléctrica

Como ya se reconocen los elementos eléctricos elaborados en la parte de diseño eléctrico se procedió a su implementación. Antes de que la fuente de 220v ingrese al proceso de funcionamiento. Primero ha pasado por el conector macho, luego al interruptor diferencial de 2 polos de 25A marca Siemens y por ultimo al interruptor termomagnético de 6A marca Siemens, toda esta conexión es el sistema de protección del circuito eléctrico y está ubicado en la cámara de control. (ver figura N° 88).



Figura N° 88: Implementación del interruptor termomagnético y diferencial

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N° 89 se puede observar la ubicación del tomacorriente y la bornera eléctrica; en ella ingresa la alimentación desde el interruptor termomagnético y se distribuye a la resistencia eléctrica y tomacorriente; toda la conexión fue con el cable NLT 18 tipo vulcanizado.



Figura N° 89: Interruptor termomagnético C6 5SY62

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N° 90 se puede observar la ubicación del interruptor bipolar de 220V, su conexión viene desde el interruptor termomagnético (una línea) y va hacia el tomacorriente, toda la conexión fue con el cable NLT 18 tipo vulcanizado.

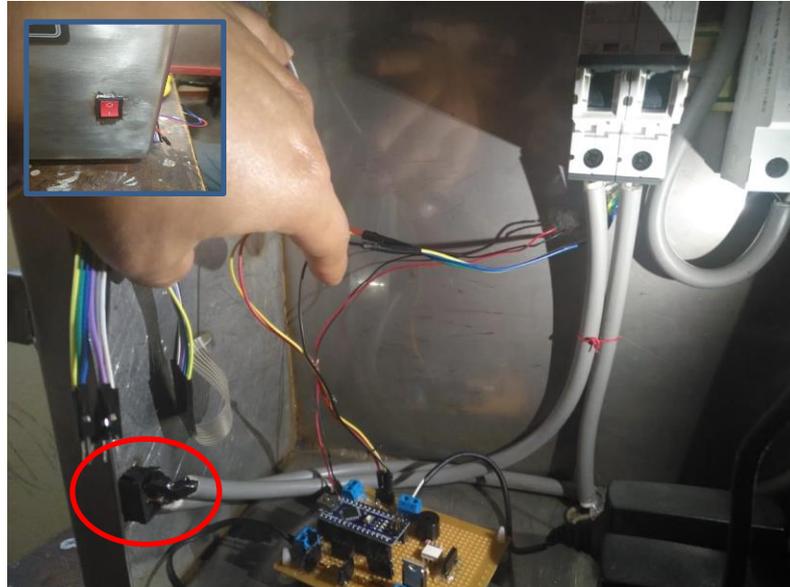


Figura N° 90: implementación del interruptor bipolar 220V

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N° 91 se puede observar la ubicación de la resistencia eléctrica de 90 ohmios, esta se ha colocado en el recipiente por debajo del ventilador de 12 volts.



Figura N° 91: Resistencia eléctrica de 90 ohmios

Fuente: Elaboración propia.

3.6.3 Implementación Electrónica

Se observa en la Figura N° 92 las 02 fuentes de poder, de los cuales la primera de 5V DC a 0.8A se utilizó para energizar una parte del sistema electrónico el cual comprende: Arduino Nano V3, Buzzer, DHT22, Diodo Led, Módulo Bluetooth, MOC 3021 y Transistores 2N2222 de los 02 ventiladores; la segunda fuente de 12V DC a 1A fue utilizada para energizar a ambos ventiladores de 12V-0.2A y 12V-0.6A.

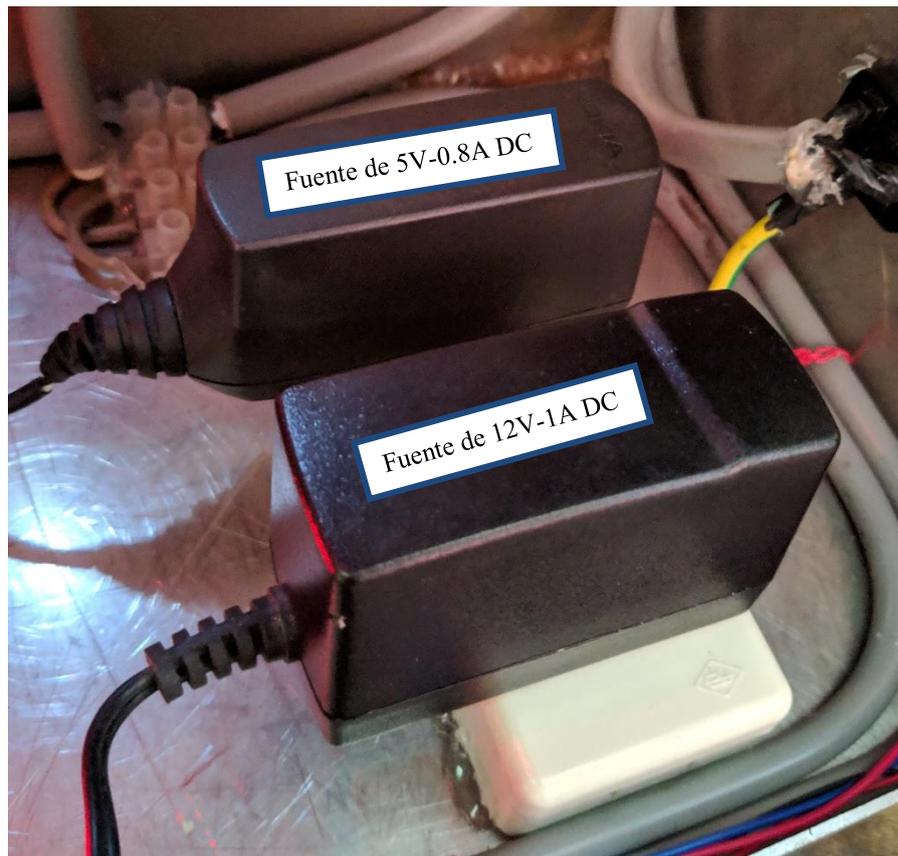


Figura N° 92: Fuentes de poder del sistema electrónico

Fuente: Elaboración Propia.

Se puede mostrar en la figura N° 93 la implementación del circuito Electrónico, en la cual se puede observar al Arduino Nano V3 quien es el controlador, y es en éste Arduino donde va conectado en el pin Analógico A4 y A5 el módulo I2C de la pantalla LCD 20 x 4, de igual manera el módulo del sensor DHT22 va conectado en el pin D11 del Arduino Nano V3. Para el caso del Teclado Matricial 4x3, los pines van conectados desde el pin D2 al

D8 del Arduino Nano V3, se observa también al Módulo Bluetooth HC-06 el cual envía al móvil en tiempo real el tiempo y estado del sistema.

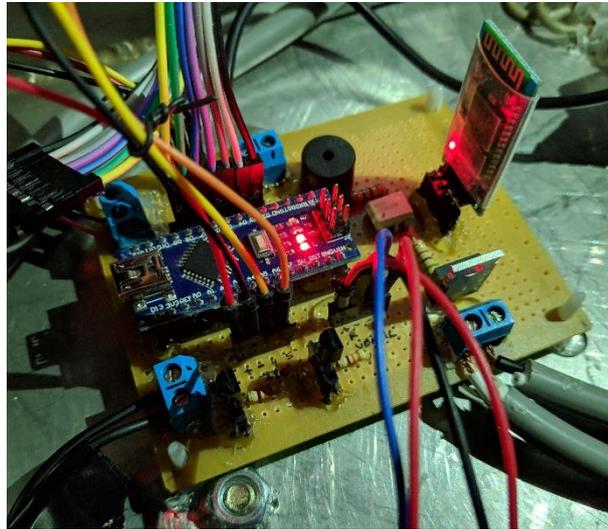


Figura N° 93: Implementación Electrónica

Fuente: Elaboración Propia.

Se observa en la figura N° 94 al Arduino V3 el cual envía una señal al MOC3021 y así éste envíe la señal de disparo al Triac BT137 para energizar la resistencia eléctrica.

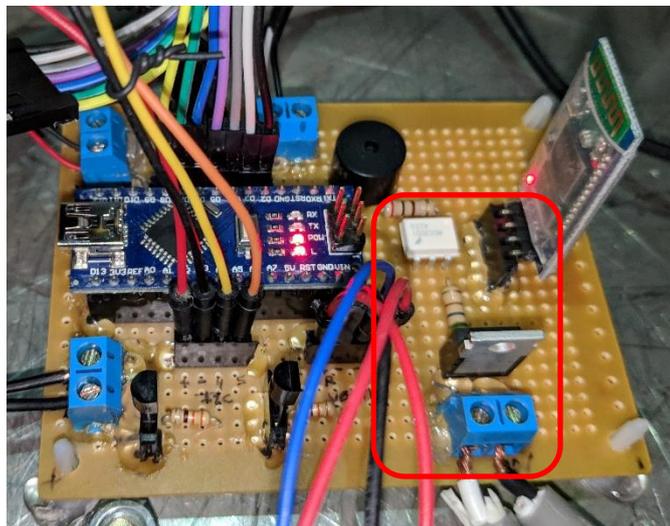


Figura N° 94: Implementación del MOC3021, Triac BT137 y Arduino Nano V3

Fuente: Elaboración Propia

Se muestra a continuación los ventiladores utilizados para la cabina de control y para la cámara de calefacción respectivamente (ver figura N° 95 y 96).



Figura N° 95: Ventilador de cabina de control en funcionamiento

Fuente: Elaboración Propia



Figura N° 96: Ventilador de cámara de calefacción en funcionamiento

Fuente: Elaboración Propia

3.6.4 Implementación de Control por Software

3.6.4.1 Microcontrolador

Para esta tesis se ha tomado en cuenta al controlador Arduino en su modelo Nano V3 (ver tabla N° 6) ya que es el controlador con mejores prestaciones en relación calidad-precio para el sistema que se ha implementado (ver figura N° 97).

Arduino (s.f.) Define al controlador Arduino:

Arduino es una plataforma de desarrollo basada en una placa electrónica de hardware libre que incorpora un microcontrolador re-programable y una serie de pines hembra, los que permiten establecer conexiones entre el microcontrolador y los diferentes sensores y actuadores de una manera muy sencilla (principalmente con cables dupont).

Arduino es libre y extensible: esto quiere decir que cualquiera que desee ampliar y mejorar el diseño hardware de las placas como el entorno de desarrollo, puede hacerlo sin problemas. Esto permite que exista un rico ecosistema de placas electrónicas no oficiales para distintos propósitos y de librerías de software de tercero, que pueden adaptarse mejor a nuestras necesidades.

Su entorno de programación es multiplataforma: Se puede instalar y ejecutar en sistemas operativos Windows, Mac OS y Linux.

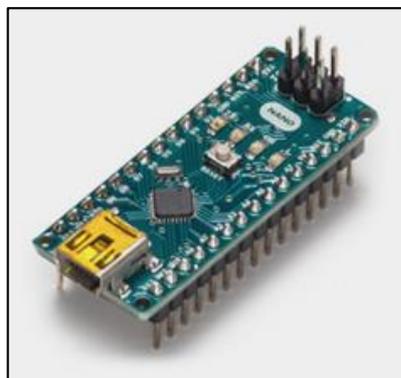


Figura N° 97: Arduino Nano V3

Fuente: “Arduino Nano V3”, por Arduino (s.f.)

3.7 Funcionamiento del Prototipo

En la presente tesis han sido implementado en 3 partes de la máquina de secado de café, las cuales son la cámara de secado, la cabina de control y la cámara de calefacción.

El prototipo funciona encendiendo el switch general On-Off, el cual energiza todo el sistema para luego visualizarse por la pantalla LCD (ver figura N° 98).



Figura N° 98: Switch On-Off, tablero de control y LCD Display

Fuente: Elaboración Propia

Para la visualización de la información que muestra el sensor se realizó utilizando el Display LCD 20x4 el cual permite observar los datos en tiempo real y con el espacio suficiente ya que su capacidad lo permite.

CAPÍTULO IV: PRUEBAS Y RESULTADOS

En el presente capítulo se muestran los resultados de las pruebas realizadas para cada grano de café, así como del funcionamiento de la máquina. En la primera parte se realizan las pruebas del funcionamiento del sistema de control PID, así como las pruebas para la tabulación de Tiempo-Humedad de secado de los granos de café en el que se realizan 3 pruebas diferentes para llegar al porcentaje de humedad establecido (11%) y es donde se establece el tiempo determinado para el funcionamiento de un tipo de grano. En la segunda parte se realiza el cálculo del costo total para la implementación del sistema. En la tercera parte se muestran los resultados del consumo energético del prototipo en mención.

4.1 Pruebas de funcionamiento y eficiencia

4.1.1 Pruebas de funcionamiento del Sistema

Esta prueba fue realizada encendiendo el sistema y seteándolo a 45 °C con la finalidad de analizar la estabilidad del sistema con respecto al tiempo.

Para la prueba se encendió la máquina a las 13.00hrs del día 05/05/2019 sin grano alguno de café y permaneciendo encendida hasta las 15:00hrs del día 07/05/2019, por lo que suman un total de 50hrs de prueba de funcionamiento, de tal manera que se puede comprobar el correcto funcionamiento del sistema (ver figura N° 99).

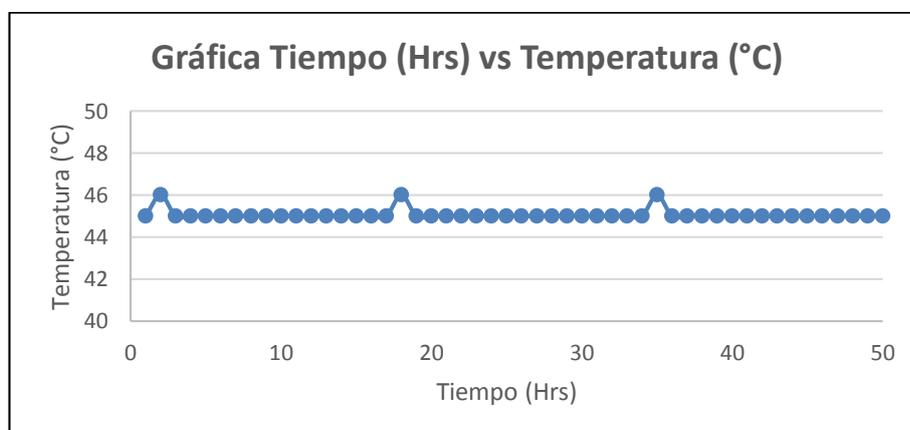


Figura N° 99: Gráfica Tiempo vs Temperatura de los granos de café

Fuente: Elaboración Propia

4.1.2 Pruebas de Secado en Granos de café

Para calcular el peso del café seco resultante de 1.85kg de grano de café húmedo (ambos Arábicos), se ha utilizado la información de la tabla N° 20 en el cual indica el peso del grano de café escurrido (0.39g) a comparación del grano de café seco (0.21g), por lo que el peso del grano seco equivale al 54% del peso total del café húmedo (escurrido). Por lo que, para 2kg de grano de café húmedo se obtiene aproximadamente 1kg de grano seco.

Tabla N° 20: Peso del café por grano

Producto	Peso (g)
Fruto	1.99
Un grano de café en baba	0.57
Un grano de café lavado	0.40
Un grano de café escurrido	0.39
Un grano de café pergamino seco	0.21

Fuente: “Propiedades físicas del café”, por Cenicafe (2008)

Para las siguientes pruebas realizadas se ha utilizado el medidor de humedad MD-4G el cual nos permite sensor el porcentaje de humedad de los granos de café (ver figura N° 100).



Figura N° 100: Medidor de humedad

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla N° 21 se observan las especificaciones técnicas del medidor de humedad utilizado.

Tabla N° 21: Especificaciones técnicas del medidor de humedad MD-4G

Modelo	MD-4G
Rango de medición	5% - 40%
Resolución	1%
Tamaño	123 x 65 x 23 mm
Peso	78gr
Precio	S/ 69

Fuente: “MD-4G 4 pines Medidor de humedad”, por DHgate.com (s.f)

Para estas pruebas se utilizaron 2 tipos de granos de café arábica los cuales son Mocca y Exportación. Para el secado de ambos granos la máquina ha sido seteada a 45 °C y soporta 2kg de grano lavado por proceso de secado.

4.1.2.1 Café Mocca

Para las siguientes pruebas se tomó la muestra de humedad en este tipo de grano lavado, por lo que dio un promedio de 55% de humedad.

4.1.2.1.1 Primera prueba

Para esta primera prueba la máquina estuvo en funcionamiento por 19hrs y media alcanzando el grano de café un porcentaje de humedad de 12% (ver figura N° 101 y 102).

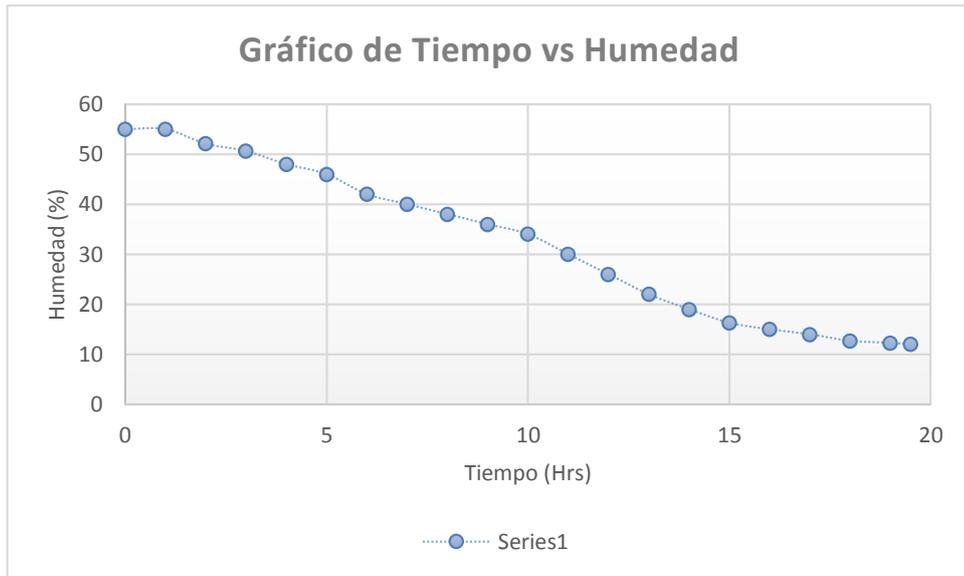


Figura N° 101: Gráfica Tiempo vs Humedad de granos de café Mocca – Prueba 1
 Fuente: Elaboración Propia

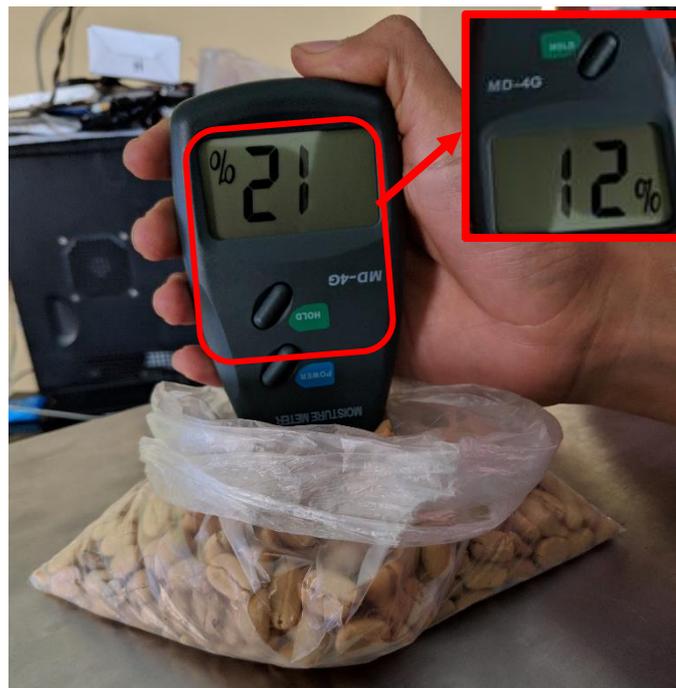


Figura N° 102: Grano de café Mocca con 12% de humedad – Prueba 1
 Fuente: Elaboración Propia

4.1.2.1.2 Segunda prueba

Para esta segunda prueba la máquina estuvo en funcionamiento por 20hrs alcanzando el grano de café el 11% de humedad (ver figura N° 103 y 104).

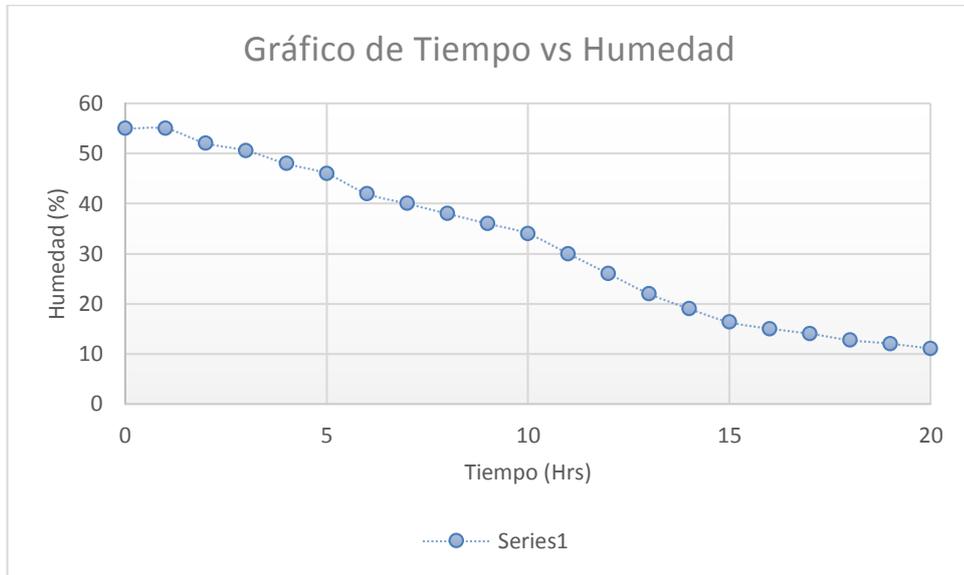


Figura N° 103: Gráfica Tiempo vs Humedad de granos de café Mokka – Prueba 2

Fuente: Elaboración Propia



Figura N° 104: Grano de café Mokka con 11% de humedad – Prueba 2

Fuente: Elaboración Propia

4.1.2.1.3 Tercera prueba

Para esta tercera prueba la máquina estuvo en funcionamiento por 20hrs y media alcanzando el grano de café el 10% de humedad (ver figura N° 105 y 106).

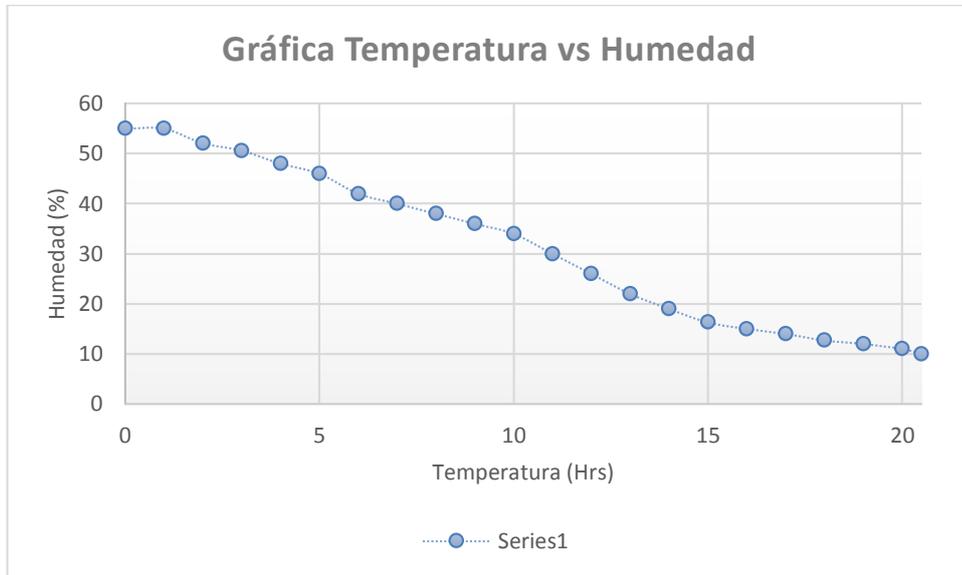


Figura N° 105: Gráfica Tiempo vs Humedad de granos de café Mocca – Prueba 3

Fuente: Elaboración Propia

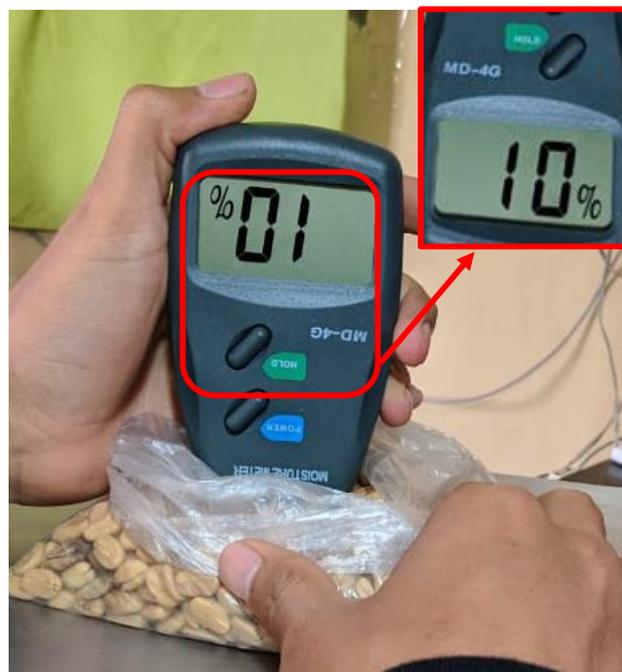


Figura N° 106: Grano de café Mocca con 10% de humedad – Prueba 3

Fuente: Elaboración Propia

4.1.2.2 Café Exportación

Para las siguientes pruebas se tomó la muestra de humedad en este tipo de grano lavado, por lo que marcó un promedio de 56% de humedad.

4.1.2.2.1 Primera prueba

Para esta primera prueba la máquina estuvo en funcionamiento por 20hrs alcanzando el grano de café el 12% de humedad (ver figura N° 107 y 108).

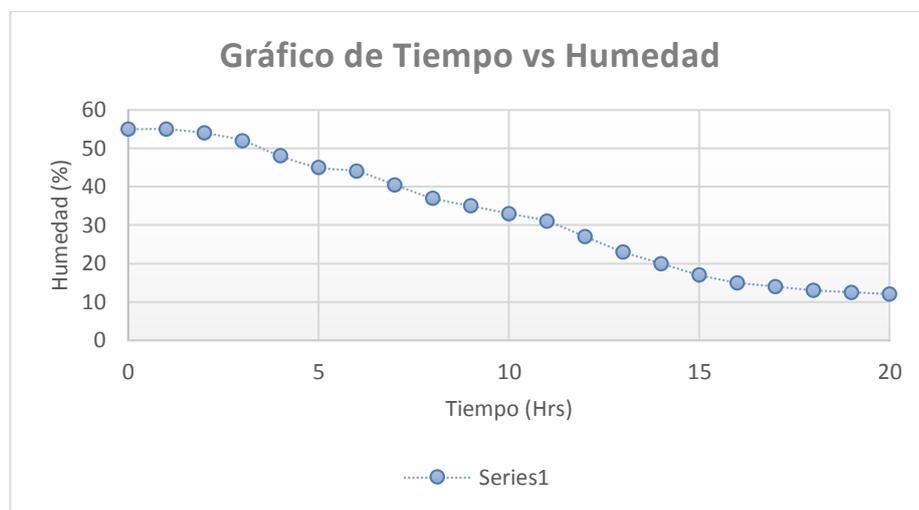


Figura N° 107: Gráfica Tiempo vs Humedad de café Exportación – Prueba 1

Fuente: Elaboración Propia



Figura N° 108: Grano de café Exportación con 12% de humedad – Prueba 1

Fuente: Elaboración Propia

4.1.2.2.2 Segunda prueba

Para esta segunda prueba la máquina estuvo en funcionamiento por 20hrs y media alcanzando el grano el 11% de humedad (ver figura N° 109 y 110).

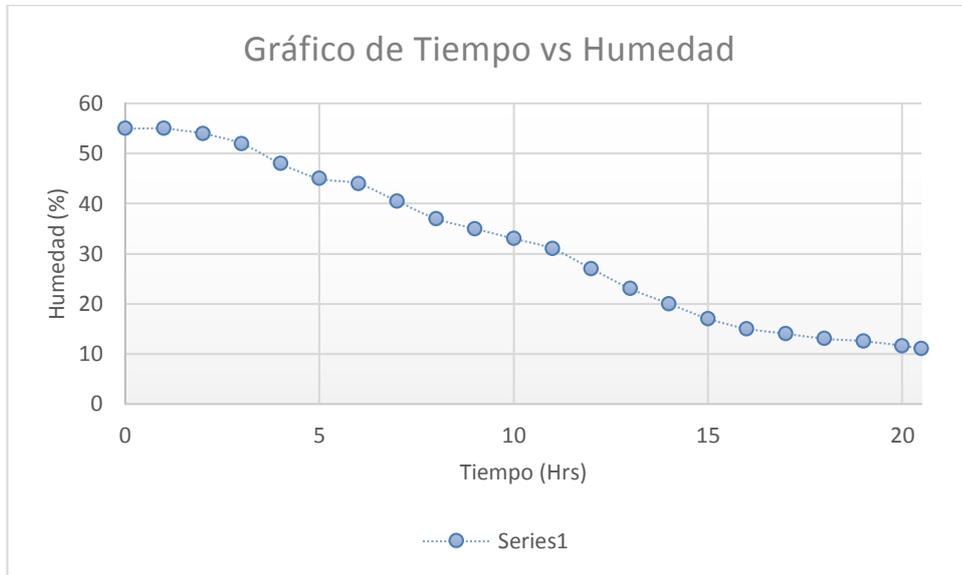


Figura N° 109: Gráfica Tiempo vs Humedad de café Exportación – Prueba 2

Fuente: Elaboración Propia



Figura N° 110: Grano de café Exportación con 11% de humedad – Prueba 2

Fuente: Elaboración Propia

4.1.2.2.3 Tercera prueba

Para esta tercera prueba la máquina estuvo en funcionamiento por 21hrs alcanzando el grano el 10% de humedad (ver figura N° 111 y 112).

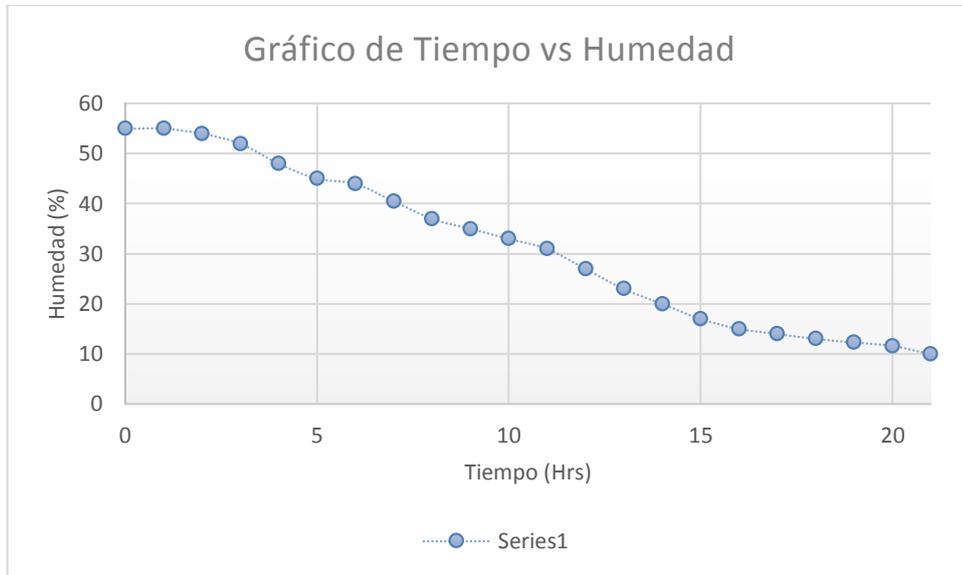


Figura N° 111: Gráfica Tiempo vs Humedad de café Exportación – Prueba 3

Fuente: Elaboración Propia



Figura N° 112: Grano de café Exportación con 10% de humedad – Prueba 3

Fuente: Elaboración Propia

4.2 Cálculo de costos en la implementación del Sistema

En esta parte del capítulo 4 se detalla los materiales y equipos que han sido usados para la implementación de un prototipo de secado de café automatizado agrupada en la parte mecánica, eléctrica, electrónica y control.

4.2.1 Presupuesto sistema mecánico:

En la tabla N° 22 se observa la lista de componentes mecánicos incluyendo el costo total, los cuales han sido utilizados para la fabricación del prototipo.

Tabla N° 22: Componentes mecánicos del prototipo de secado de café

#	Detalle	Cantidad	Costo unitario (S/)	Total (S/)
1	Fabricación de 1er chasis prototipo en Fierro de 2mm	1und	450.00	450.00
2	Fabricación de chasis de acero inoxidable	1und	1340.00	1340.00
3	Rejilla para granos de café en acero inoxidable	1und	110.00	110.00
4	Broca para acero inoxidable	2und	2.50	5.00
5	Vidrio de 6mm	1und	4.00	4.00
6	Tornillo y pernos	12und	0.20	2.40
7	Manija de seguro de puerta	1und	10.00	10.00
8	Patas de apoyo fijas para el secador de café	4und	1.20	4.80
	Total			1926.20

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2 Presupuesto sistema eléctrico:

En la tabla N° 23 se describe la lista de componentes eléctricos incluyendo el costo total, los cuales han sido utilizados para la fabricación del prototipo.

Tabla N° 23: Componentes eléctricos del prototipo de secado de café

#	Detalle	Cantidad	Costo unitario (S/)	Total (S/)
1	Interruptor termomagnético monofásico	1und	34.90	34.90
2	Interruptor diferencial monofásico	1und	69.90	69.90
3	Rack para 2 interruptores monofásico	1und	2.50	2.50
4	Cable negro de alimentación de 220V AC a 10A con enchufe	1und	2.50	2.50
5	Cable vulcanizado N° 18	4m	2.00	8.00
6	Conector de 220V AC a 10A hembra	1und	1.50	1.50
7	Interruptor on/off 220V AC a 10A	1und	2.50	2.50
8	Resistencias eléctricas (ohmiaje variado)	4und	4.50	18.00
9	Regleta clema eléctrica (bornera)	12und	0.32	3.90
	Total			143.70

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3 Presupuesto sistema electrónico:

En la tabla N° 24 se describe la lista de componentes electrónicos incluyendo el costo total, los cuales han sido utilizados para la fabricación del prototipo.

Tabla N° 24: Componentes electrónicos del prototipo de secado de café

#	Detalle	Cantidad	Costo unitario (S/)	Total (S/)
1	Triac BT137	2und	2.00	4.00
2	MOC3021	2und	1.50	3.00
3	Arduino Nano V3	1und	20.00	20.00
4	Teclado matricial de 4x3	1und	7.00	7.00
5	Módulo display LCD I2C de 20x4	1und	60.00	60.00
6	Diodo Led	12und	0.20	2.40
7	Ventiladores	2und	27.00	54.00
8	Pasta térmica	1und	9.00	9.00
9	Rollo de estaño	1und	5.00	5.00
10	Cable estañado 15m	1und	0.20	3.00
11	Protoboard	1und	13.00	13.00
12	Módulo DHT22 (sensor)	1und	22.00	22.00
13	Cautin	1und	15.00	15.00
14	Portacautin	1und	14.00	14.00
15	Fuente de poder de 5v a 0.8A	1und	10.00	10.00
16	Fuente de poder de 12v a 1A	1und	20.00	20.00
17	Pistola de silicon	1und	8.00	8.00
18	Paquete de silicona	1paq	15.00	15.00
19	Placa PCB de 10x10cm	1und	1.50	1.50
20	Lámina baquelita perforada de 8x8cm	2und	1.50	3.00
21	Ácido férrico de 250ml	1und	4.00	4.00
22	Módulo sim800L	1und	27.00	27.00
23	Módulo Relé de 5V	1und	10.00	10.00
24	Módulo Bluetooth HC-06	1und	23.00	23.00
	Total			352.90

Fuente: Elaboración propia.

4.2.4 Presupuesto total del prototipo de secador de café automatizado

En la tabla N° 25 se describe el presupuesto general.

Tabla N° 25: Presupuesto general

#	Detalle	Total (S/)
1	Presupuesto mecánico	1926.20
2	Presupuesto eléctrico	143.70
3	Presupuesto electrónico	352.90
	Total	2422.80

Fuente: Elaboración propia.

4.3 Cálculo de costo neto de fabricación del prototipo

En la tabla N° 26 se muestra el costo neto de fabricación del prototipo

Tabla N° 26: Costo neto de fabricación del prototipo

#	Detalle	Cantidad	Costo unitario (S/)	Total (S/)
1	Fabricación de chasis de acero inoxidable	1und	1340.00	1340.00
2	Rejilla para granos de café en acero inoxidable	1und	110.00	110.00
3	Vidrio de 6mm	1und	4.00	4.00
4	Tornillo y pernos	12und	0.20	2.40
5	Manija de seguro de puerta	1und	10.00	10.00
6	Patas de apoyo fijas para el secador de café	4und	1.20	4.80
7	Interruptor termomagnético monofásico	1und	34.90	34.90
8	Interruptor diferencial monofásico	1und	69.90	69.90
9	Rack para 2 interruptores monofásico	1und	2.50	2.50
10	Cable negro de alimentación de 220V AC a 10A con enchufe	1und	2.50	2.50
11	Cable vulcanizado N° 18	4m	2.00	8.00
12	Conector de 220V AC a 10A hembra	1und	1.50	1.50
13	Interruptor on/off 220V AC a 10A	1und	2.50	2.50
14	Resistencias eléctricas de 90ohm	1und	4.50	4.50
15	Regleta clema eléctrica (bornera)	4und	0.32	1.28
16	Triac BT137	1und	2.00	2.00
17	MOC3021	1und	1.50	1.50
18	Arduino Nano V3	1und	20.00	20.00
19	Teclado matricial de 4x3	1und	7.00	7.00
20	Módulo display LCD I2C de 20x4	1und	60.00	60.00
21	Diodo Led	1und	0.20	0.20
22	Ventiladores	2und	27.00	54.00
23	Módulo DHT22 (sensor)	1und	22.00	22.00
24	Fuente de poder de 5v a 0.8A	1und	10.00	10.00
25	Fuente de poder de 12v a 1A	1und	20.00	20.00
26	Lámina baquelita perforada de 8x8cm	1und	1.50	1.50
27	Módulo Bluetooth HC-06	1und	23.00	23.00
	Total			1819.98

Fuente: Elaboración propia

4.4 Cálculo del consumo energético del sistema

A. Cálculo del consumo de la Resistencia Eléctrica

Para hallar el consumo real de la resistencia eléctrica con control PID seteado en 45 °C se ha utilizado un medidor Siemens en el cual luego de 20hrs de funcionamiento del horno secador, se observó que la potencia real consumida por la resistencia eléctrica fue de 2.2kW.

B. Cálculo del consumo de los ventiladores de 12V

Se utilizó una fuente de 12V DC a 1A para ambos ventiladores, por lo que se realiza el cálculo del consumo en kW.

Calculando la Potencia en 1h para un consumo de 12V DC y 1A:

$$\text{Potencia(kW)} = \frac{V \cdot I}{1000} \quad \dots \text{Ec. (8)}$$

$$\text{Potencia(kW)} = \frac{12V \cdot 1A}{1000}$$

$$\text{Potencia(kW)} = 0.012$$

Cálculo del consumo en 20h de funcionamiento:

$$\text{Consumo} = \text{Potencia} \cdot \text{Tiempo de operación} \quad \dots \text{Ec. (9)}$$

$$\text{Consumo(20h)} = 0.012\text{kW} \cdot 20 = 0.24\text{kW}$$

C. Cálculo del sistema de control e iluminación

El sistema de control está conformado por el Arduino Nano V3, display LCD de 20x4, Módulo DHT 22, MOC 3021, Diodo Led y el Módulo Bluetooth HC06 los cuales en conjunto son energizados con 5V DC y con un amperaje total de 0.8A.

Calculando la Potencia en 1h para un consumo de 5V DC y 0.8A:

$$\text{Potencia} = \frac{V \cdot I}{1000} \text{ kW} \quad \dots \text{Ec. (8)}$$

$$\text{Potencia} = \frac{5V \cdot 0.8A}{1000} \text{ kW}$$

$$\text{Potencia} = 0.004 \text{ kW}$$

Cálculo del consumo en 20h de funcionamiento:

$$\text{Consumo} = \text{Potencia} \cdot \text{Tiempo de operación} \quad \dots \text{Ec. (9)}$$

$$\text{Consumo}(20\text{h}) = 0.004 \text{ kW} \cdot 20 = 0.08 \text{ kW}$$

D. Cálculo del consumo Total del sistema

Calculando Potencia Total:

$$\text{Consumo Total} = P. \text{ Res. Eléct.} + P. \text{ Ventiladores} + P. \text{ Control} \quad \dots \text{Ec. (10)}$$

$$\text{Consumo Total} = 2.2 \text{ kW} + 0.24 \text{ kW} + 0.08 \text{ kW}$$

$$\text{Consumo Total} = 2.52 \text{ kW}$$

Según Luz del Sur:

$$\text{Precio Unitario} = 0.5179 \frac{\text{Soles}}{\text{kW}} \quad \dots \text{Ec. (11)}$$

$$\text{Costo del Servicio} = \text{Precio Unitario} \cdot \text{Consumo total} \quad \dots \text{Ec. (12)}$$

Reemplazando Ec. (11) en Ec. (12):

$$\text{Costo del servicio} = 0.5179 \frac{\text{Soles}}{\text{kW}} \cdot 2.52 \text{ kW}$$

$$\text{Costo total del servicio} = 1.30 \text{ Soles}$$

Se tiene como resultado que, el sistema en 20h de funcionamiento, tiempo en el cual el café llega a obtener el 11% de humedad (por lo tanto, considerándose seco), tiene un consumo Total de 2.52kW, el cual genera un costo Total de 1.30 Soles.

CONCLUSIONES

De la siguiente investigación, podemos deducir las siguientes conclusiones:

1. Gracias a la simulación en el programa CATIA V5 se pudo descartar la selección del material a utilizar, así como el espesor del mismo, resultando como material adecuado el acero inoxidable 304.
2. El programa CATIA V5 nos permitió simular la resistencia mecánica y térmica las piezas del prototipo de secado como fase previa a la construcción e implementación.
3. Ha sido posible la identificación y selección de las fuentes de energía los cuales han ofrecido valores estables tanto en voltaje como en amperaje según lo requerido, así como la selección del sistema de protección como es la llave termomagnética y el interruptor diferencial.
4. Ha sido posible la identificación y selección de los componentes electrónicos que permitan el correcto funcionamiento de la etapa de control, analizando las características del sensor de temperatura por el cual el sistema es realimentado, así como la de los actuadores.
5. Se logró diseñar y elaborar un código de programación el cual procese los datos obtenidos del sensor y, mediante una secuencia de control PID, accione los actuadores de respuesta para el control automático del sistema, adicionalmente a ello, responda a la acción de mandato como es la iluminación.
6. Se ha diseñado e implementado un prototipo de secador de café automatizado que, tras las pruebas sometidas, se verificó disminución en el tiempo de secado del café sin perder la calidad ni las características organolépticas del grano de café.

7. La humedad que se obtuvo en las pruebas de funcionamiento realizadas en el capítulo 4 fue de 11%, en comparación a la humedad ideal que está entre 10 y 12%, es admitida, ya que el rango de tolerancia que es de $\pm 2\%$.
8. Se redujo el tiempo de secado en comparación al tiempo de secado de forma natural, el cual se demora aproximadamente 3 días en condiciones favorables; con el prototipo de secador se requiere un total de 20 horas.
9. Para el diseño del prototipo de secador de café automatizado es indispensable definir su locación final, ya que los parámetros como presión, humedad y temperatura son sumamente determinantes en un funcionamiento óptimo en el proceso de secado.
10. El uso de un diseño concurrente nos permitió diseñar de manera simultánea la estructura mecánica, eléctrica, electrónica y de control. En este sentido se inició el dimensionado por medio del diseño térmico, se tomó en cuenta ciclos de transferencia de calor y termodinámicos.
11. El funcionamiento del sistema que se ha desarrollado cumplió con las expectativas propuestas, para medir las variables como humedad, temperatura y flujos de aire dentro del proceso de secado de granos de café.

RECOMENDACIONES

De la siguiente tesis podemos citar las siguientes recomendaciones:

1. Para la aplicación de transferencia de calor de aire se recomienda usar intercambiadores de calor más compactos, ya que tienen dimensiones físicas pequeñas comparándolas a uno de tubo y coraza.
2. Se recomienda elegir un intercambiador de calor adecuado, a partir de las condiciones presentadas.
3. Es recomendable trabajar con programación PID y no con on/off ya que si es on/off el rango de variación de temperatura en la salida será alto en comparación al valor seteado.
4. El mantenimiento preventivo del prototipo de secador de café se debe dar 2 veces por año, esto permitirá extender su vida útil.
5. Antes de haber implementado un sistema de control, es necesario tener conocimiento profundo de las variables a controlar para así poder dar una solución óptima con los dispositivos que se ajusten a lo que la maquina requiera.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arduino. (s.f.). *¿QUE ES ARDUINO?* Recuperado el 2019, de <http://arduino.cl/que-es-arduino/>.
- Baraona, G. (04 de 2017). *GrainPro patios en Finca Los Pirineos*. (P. D. Grind, Editor) Recuperado el 2019, de <https://www.perfectdailygrind.com/2017/04/recomendaciones-para-proteger-el-cafe-durante-el-secado-y-almacenamiento/>.
- Besora Magem, Jordi. (s.f). *Informe tecnico para la construccion de un secador solar de cafe*. Obtenido de <https://esf-cat.org/wp-content/uploads/2017/04/Informe-t%C3%A9cnico-secador-solar-de-caf%C3%A9.pdf>.
- Café Perú. (03 de 2013). *HISTORIA DEL CAFÉ PERUANO*. Recuperado el 2019, de <http://www.cafe-peru.com/blog/25-historia-del-caf%C3%A9-peruano.html>.
- Cafés Orús. (02 de 2012). *Café Arábica: Características de un café gourmet supremo*. Recuperado el 2019, de <https://cafesorus.es/2018/02/cafe-arabica-caracteristicas-cafe-gourmet-supremo/>.
- Cafetera de Cápsulas. (s.f). *¿Qué es el café?* Recuperado el 2019, de <https://cafeteracapsulas10.com/tipos-grano-cafe/>.
- CATIE. (s.f). *Manejo de la calidad en el beneficio humedo*. Obtenido de <https://www.catie.ac.cr/nicaragua/publicaciones/calidad.pdf>.
- CEDICAFE. (2010). *Construccion y funcionamineto de secadoras solares tipo domo*. Obtenido de <https://issuu.com/iao-cafeycaffe/docs/guiassecadorassolares>.
- Cenicafe. (04 de 2008). *http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/358/1/avt0370.pdf*. Recuperado el 2019
- Cenicafe. (2008). *Propiedades físicas y factores de conversion del cafe en el proceso de beneficio*. Obtenido de <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/358/1/avt0370.pdf>.
- CENICAFE. (s.f). *Secadores mecanicos de granos de cacao*. Obtenido de <https://www.cenicafe.org/>.
- Cenicafé. (s.f). *Sistemas de secado*. Recuperado el 2019, de https://www.cenicafe.org/es/publications/cartilla_21._Secado_del_cafe.pdf.

- Ciclo combinado. (s.f). *Los sistemas electricos*. Obtenido de <http://www.cicloscombinados.com/index.php/11-los-sistemas-electricos>.
- COFFEEIQ. (s.f.). *Café Arabica, Características*. Recuperado el 2019, de <http://www.coffeeiq.co/cafe-arabica-caracteristicas/>.
- COFFEEIQ. (s.f.). *Secado al sol*. Obtenido de <http://www.coffeeiq.co/secado-de-cafe-al-sol-y-mecanico/>.
- Control y robotica 4° E.S.O. (s.f). *Tipos de sistemas de control*. Obtenido de https://angelmicelti.github.io/4ESO/CYR/32_tipos_de_sistemas_de_control.html.
- depositphotos. (03 de 2016). *Serie de café: granos de café Kopi luwak*. Recuperado el 2019, de <https://sp.depositphotos.com/103191096/stock-photo-coffee-series-kopi-luwak-coffee.html>.
- DHgate.com. (s.f.). <https://es.dhgate.com/product/md-4g-4-pins-wood-moisture-meter-digital/431034945.html>. Recuperado el 2019
- Diaz, Wilfredo. (s.f). *Sistema de control*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/wilfredodiaz2/sistemas-de-control-50453873>.
- Echeverry Ocampo, Dany Alejandro. (2010). *Diseño y simulacion de la automatizacion de un secador electromecanico de cafe*. Obtenido de <http://recursosbiblioteca.utp.edu.co/tesis/textoyanexos/66393E18.pdf>.
- El Universo. (08 de 2012). *"Kopi Luwak", el café más caro del mundo se hace con heces de civeta*. Recuperado el 2019, de <https://www.eluniverso.com/2012/08/02/1/1430/kopi-luwak-cafe-mas-carro-mundo-hace-heces-civeta.html>.
- ElectronicosCaldas. (06 de 2014). *BT137-600E*. Recuperado el 2019, de https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/BT137-600E_NXP.pdf.
- Engormix. (15 de 05 de 2013). *Beneficio humedo de cafe*. Obtenido de <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/beneficiado-humedo-cafe-t30188.htm>.
- Espinoza C y Ruiz V. (2015). *Diseño y construcción de una máquina secadora de cacao para aplicación agroindustrial en la provincia de Santo Domingo de las Tsáchilas*. Recuperado el 2019, de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/5655/browse?value=Espinosa+Mart%C3%ADnez%2C+Cristina+Natalia&type=author>.

- Federacion Nacional De Cafeteros De Colombia. (2012). *Secado del cafe*. Obtenido de <http://www.kimera.com/RLCF/RECURSOS/BIBLIOTECA%20CAFETERA/D%20-%20PROCESOS%20BENEFICIO/SECADO%20DEL%20CAFE%202012.pdf>.
- Franklin Electric. (09 de 2013). *¿Qué es el control PID?* Recuperado el 2019, de <https://franklinlinkmx.wordpress.com/2013/09/05/que-es-el-control-pid/>.
- Fundesyam. (s.f). *Secado del cafe*. Obtenido de <http://www.fundesyam.info/biblioteca.php?id=439>.
- GEA. (s.f). *Sistemas de control y automatizacion*. Obtenido de https://www.gea.com/es/productgroups/automation_control/index.jsp.
- GRANTEC tecnologia en equipamentos. (s.f). *Secadora continua tipo columna con flujo cruzado*. Obtenido de <https://www.grantecsa.com/producto/133-secadora-continua-tipo-columna-con-flujo-cruzado>.
- Henao Arismendy, Juliana. (2015). *Evaluacion el proceso de secado de cafe y su relacion con las propiedades fisicas, composicion quimica y calidad en taza*. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/51841/1/1128270450.2016.pdf>.
- Hernandez Delgado, Raul Antonio; Ramirez Cañas, Alvaro Enmanuel. (09 de 2016). *Diseño de un sistema de secado de café, mediante la utilización de un fluido geotérmico de baja entalpia como fuente térmica*. Recuperado el 2019, de <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/11069/1/Dise%C3%B1o%20de%20un%20sistema%20de%20secado%20de%20caf%C3%A9%20mediante%20la%20utilizaci%C3%B3n%20de%20un%20fluido%20geot%C3%A9rmico%20de%20baja%20entalpia%20como%20fuente%20t%C3%A9rmica.pdf>.
- Humidimetros. (s.f). *WILE COFFE*. Obtenido de <https://humidimetros.com/analizadores/3-wile-coffee.html>.
- I + D Electrónica. (s.f). *Pantalla LCD Arduino*. Recuperado el 2019, de <https://www.didacticaselectronicas.com/index.php/optoelectronica/displays-lcd/caracteres/display-lcd-pantalla-caracteres-4x20-di-017-azul-detail>.
- INDECO. (s.f). *TTRF-70 (NLT/NMT)*. Recuperado el 2019, de www.promelsa.com.pe/pdf/1000586.pdf.
- Instituto Tecnológico Metropolitano. (12 de 2009). *Secado mecánico del café*. (J. M. Gutiérrez Flórez, & H. Copete López, Edits.) Recuperado el 2019, de <http://www.redalyc.org/pdf/3442/344234316007.pdf>.

- JN ACEROS. (s.f.). *Productos de acero inoxidable*. Obtenido de https://jnaceros.com.pe/lp/?gclid=Cj0KCQjwla7nBRDxARIsADII0kDG54Ew0l kW-HYa7V95L3Xc5af9_XmSJgmiDxcXyUjQCEA8vAHaEWMaAlDaEALw_wcB.
- Junta Nacional del Cafe. (s.f.). *Manejo post cosecha*. Obtenido de <http://scanprogram.org/wp-content/uploads/2014/12/SCAN-PERU-DIPTICO-15.pdf>.
- Maestro. (s.f.). *Interruptor termomagnetico*. Obtenido de <https://www.maestro.com.pe/productos/electricidad/interruptor-triel-bifasico-10-a>.
- Magem, J. B. (s.f.). *Beneficios del café*. Recuperado el 2019, de <https://esf-cat.org/wp-content/uploads/2017/04/Informe-t%C3%A9cnico-secador-solar-de-caf%C3%A9.pdf>.
- Ministerio de Agricultura y Riego. (s.f.). *Exportaciones de café*. Recuperado el 2019, de <http://minagri.gob.pe/portal/24-sector-agrario/cafe/202-exportaciones-de-cafe-?limitstart=0>.
- Ministerio de Agricultura y riego. (s.f.). *Situación actual del café en el país*. Recuperado el 2019, de <http://minagri.gob.pe/portal/485-feria-scaa/10775-el-cafe-peruano>.
- Ministerio de Cultura y Riego del Perú. (2015). *Situación actual del café en el Perú*. Recuperado el 2019, de <http://minagri.gob.pe/portal/485-feria-scaa/10775-el-cafe-peruano>.
- Mundo del Café. (s.f.). *¿QUÉ GRANOS DE CAFÉ EXISTEN?* Recuperado el 2019, de <https://mundodelcafe.es/granos-de-cafe/>.
- Naylamp mechatronics. (s.f.). <https://naylampmechatronics.com/inalambrico/24-modulo-bluetooth-hc06.html>. Recuperado el 2019
- Nestlé. (04 de 2017). *¿QUÉ GRANOS DE CAFÉ EXISTEN?* Recuperado el 2019, de <https://www.productosdelcafe.com/curiosidades-consejos-para-baristas/tipos-de-cafe-arabica-y-robusta.html>.
- Oliveros Bedoya, Maria Del Mar. (2016). *Gestio del proceso de secado de cafe. Caso: Finca Villa Loyola, Nariño*. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/33854/OliverosBedoyaMariadelMar2016.pdf?sequence=1>.

- Perfect Daily Grind. (s.f.). *¿Qué Cantidad de Humedad es Aceptable?* Recuperado el 2019, de <https://www.perfectdailygrind.com/2017/09/por-que-es-importante-el-contenido-de-humedad-del-grano-verde/>.
- Philips. (2004-2019). *Tipos de granos*. Recuperado el 2019, de <https://www.philips.com.pe/c-m-ho/cafe/cafe-101/la-cosecha-y-los-tipos-de-granos-de-cafe>.
- Robots Didácticos. (s.f.). *Comparación Arduino Uno – Arduino Nano*. Recuperado el 2019, de <http://robots-argentina.com.ar/didactica/comparacion-arduino-uno-arduino-nano/>.
- Rosa Marin, German Leonardo; Ortega Torres, Diego Bladimir. (2011). *Diseño y construcción de un secador solar por convección de aire caliente automatizado de pequeña escala para el secado de café para la universidad nacional de Loja*. Recuperado el 2019, de <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/12368/1/Ortega%20Torres%20Diego%20Bladimir%20Roa%20Mar%C3%ADn%20Germ%C3%A1n%20Leonardo.pdf>.
- Salvagnini. (s.f.). *Cortadora laser Salvagnini L3*. Obtenido de <http://www.salvagnini.com/es/productos/corte-laser/l3-es>.
- Sercoplus. (s.f.). *Cooler Case*. Recuperado el 2019, de https://www.sercoplus.com/fan-cooler-para-cases/3929-cooler-case-antryx-xtreme-flow-led.html?search_query=cooler+case&results=30.
- Siemens. (04 de 2009). *Aparatos de proteccion diferencial*. Recuperado el 2019, de https://w5.siemens.com/spain/web/es/ic/building_technologies/sp_baja_tension/TabBetaProteccion/Documents/Interruptor%20diferenciales_%20Detalles.pdf.
- Tacuri Guaman, Leopoldo Isaias; Quintana Guillen, marcelo Patricio. (2010). *Diseño concurrente de una secadora vertical intermitente para arroz*. Recuperado el 2019, de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/908/1/15T00449.pdf>.
- Vasquez Tantas, Gustavo Jeancarlos. (2017). *Modelación matemática, simulación, análisis paramétrico y financiero de una cámara de secado solar para cacao*. Recuperado el 2019, de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3234/IME_227.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Vega Arnao, romel Andres; Martinez Salazar, Whaltong Alain. (2015). *Diseño e implementación de un sistema rotatorio de flujo constante para secado de cacao*

utilizando transferencia de calor por convección y control predictivo basado en modelo. Recuperado el 2019, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10436/1/UPS-GT001528.pdf>.

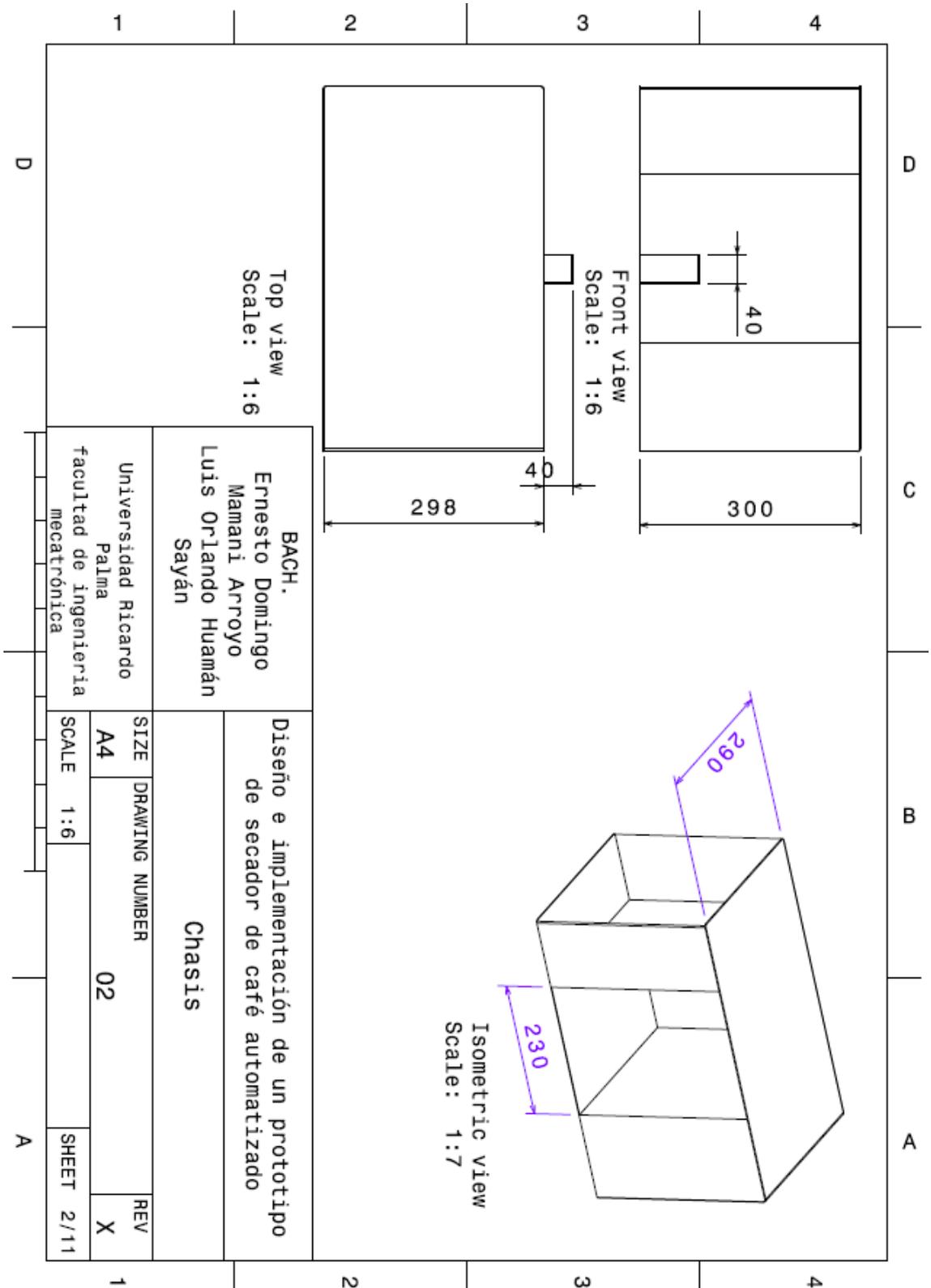
Verema. (04 de 2014). *Diferencias entre el café arábica y el robusta*. (J. Sainz, Editor) Obtenido de <https://www.verema.com/blog/productos-gastronomicos/1188046-diferencias-cafe-arabica-robusta>.

VIDRESIF. (s.f). *Vidrios*. Obtenido de http://vidresif.com/index.php?v=productes_vidresif&i=es.

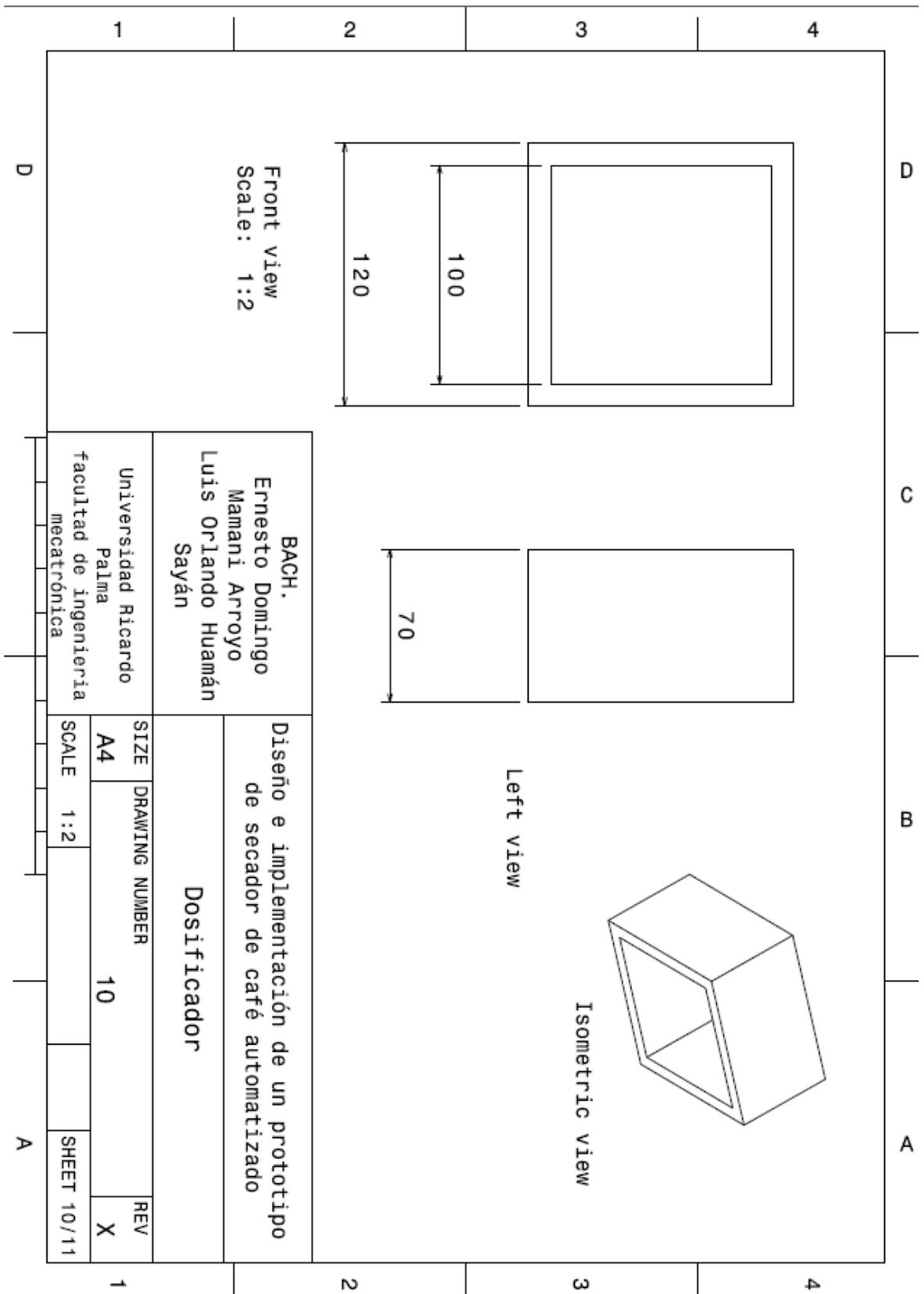
Wikipedia. (01 de 2017). *Controlador PID*. Recuperado el 2019, de https://es.wikipedia.org/wiki/Controlador_PID.

ANEXOS

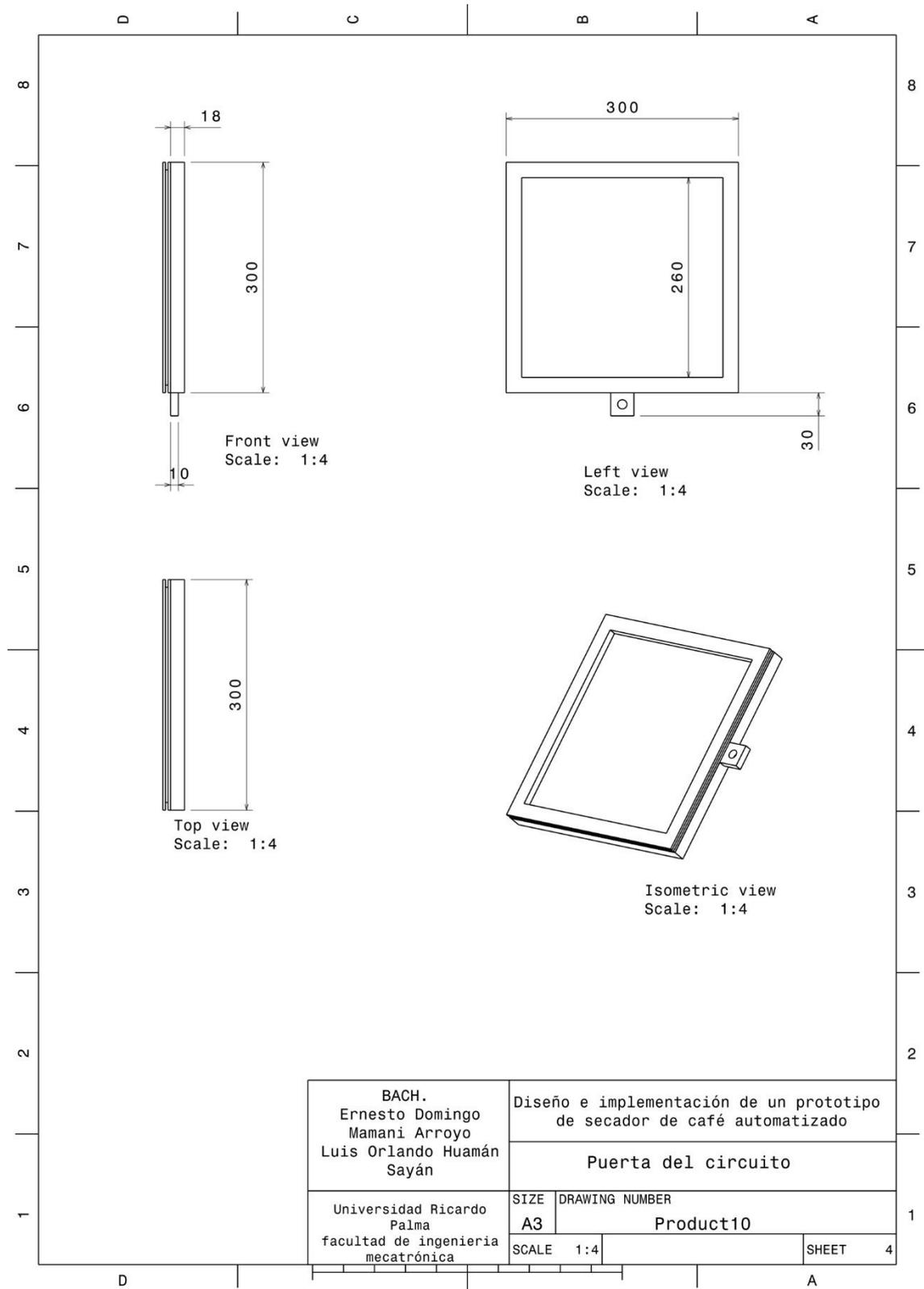
Anexo N° 1: Dimensionado chasis parte mecánica del prototipo de secador.



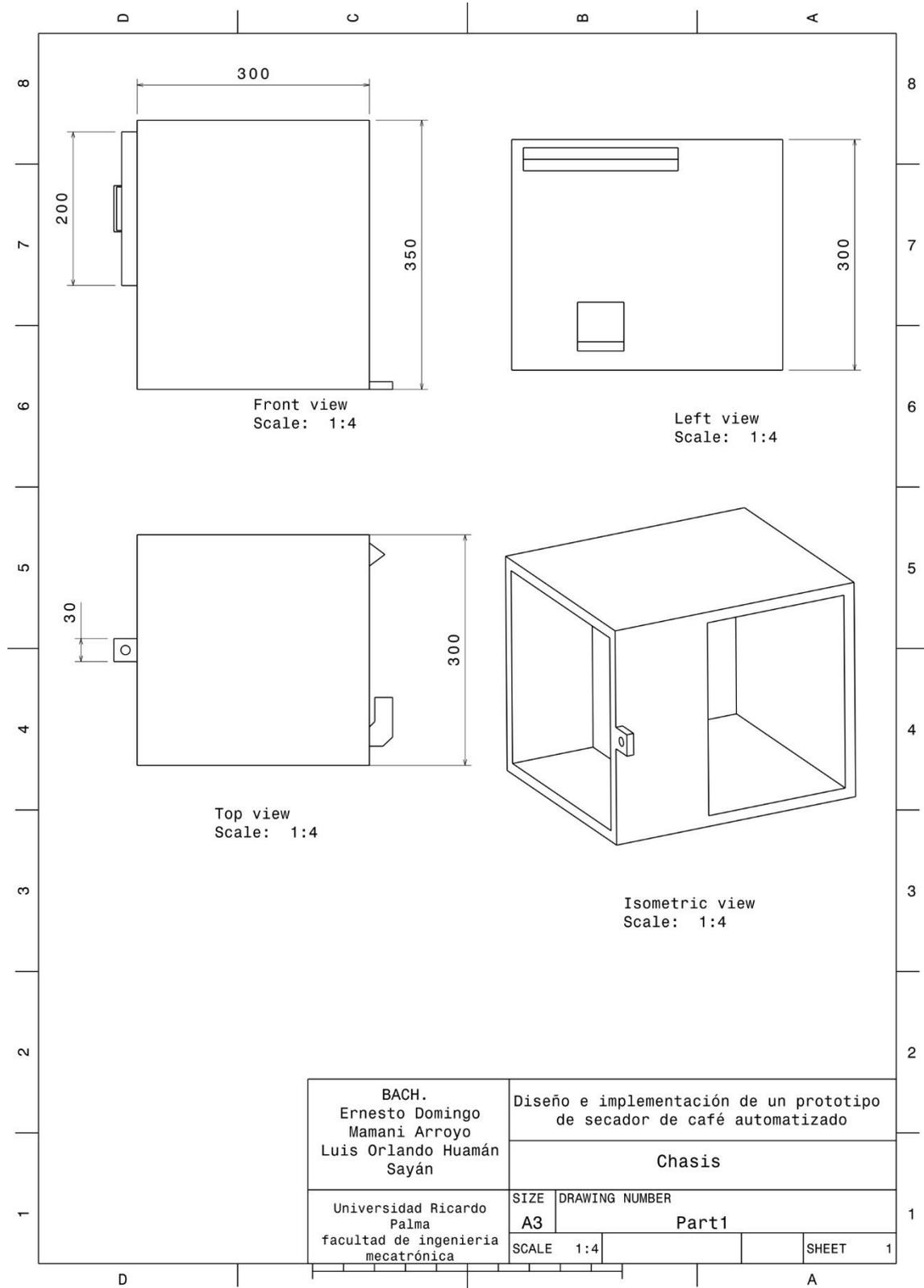
Anexo N° 2: Dimensionado del ducto de aire de la cámara de resistencia eléctrica.



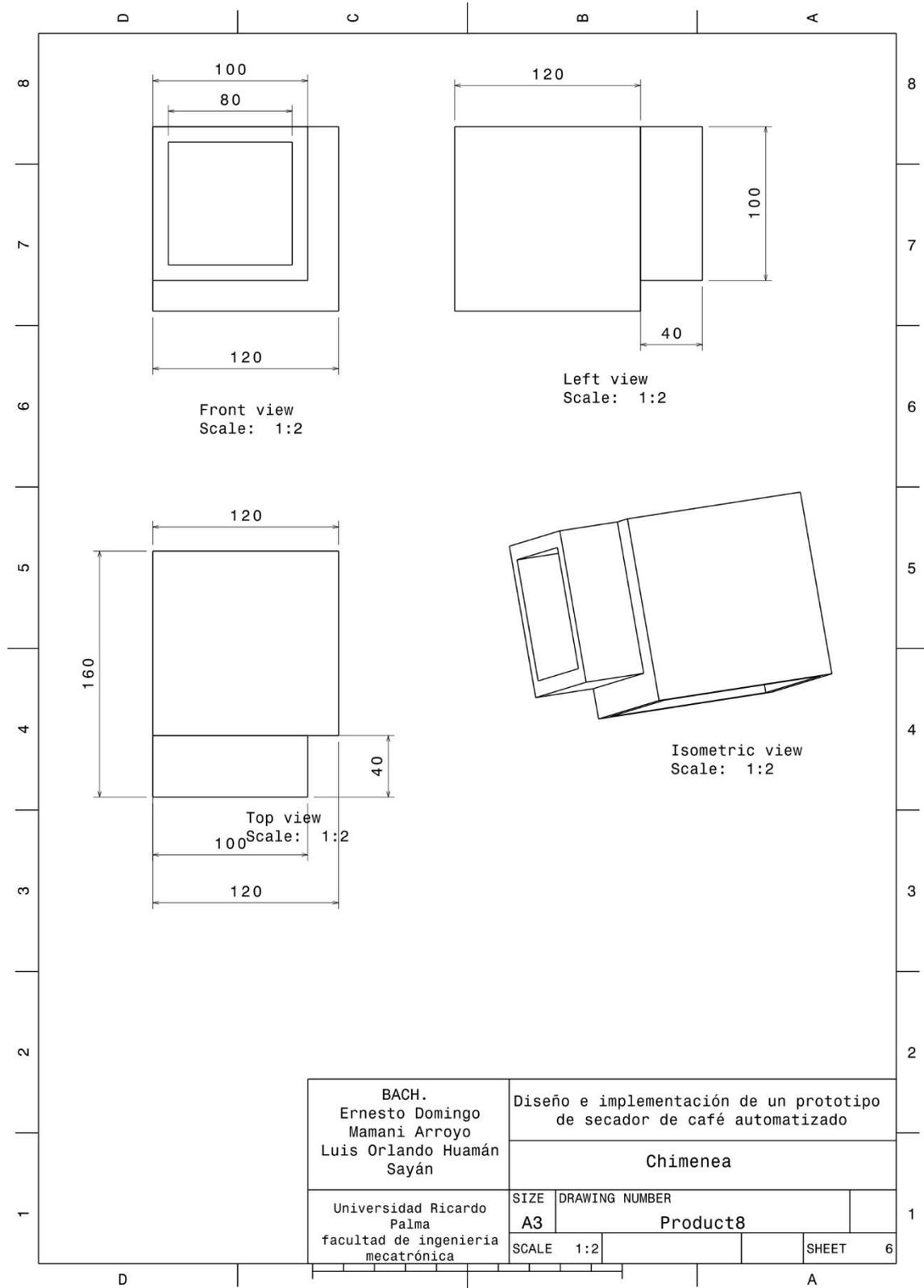
Anexo N° 3: Dimensionado de la puerta lateral de la cámara de resistencia eléctrica.



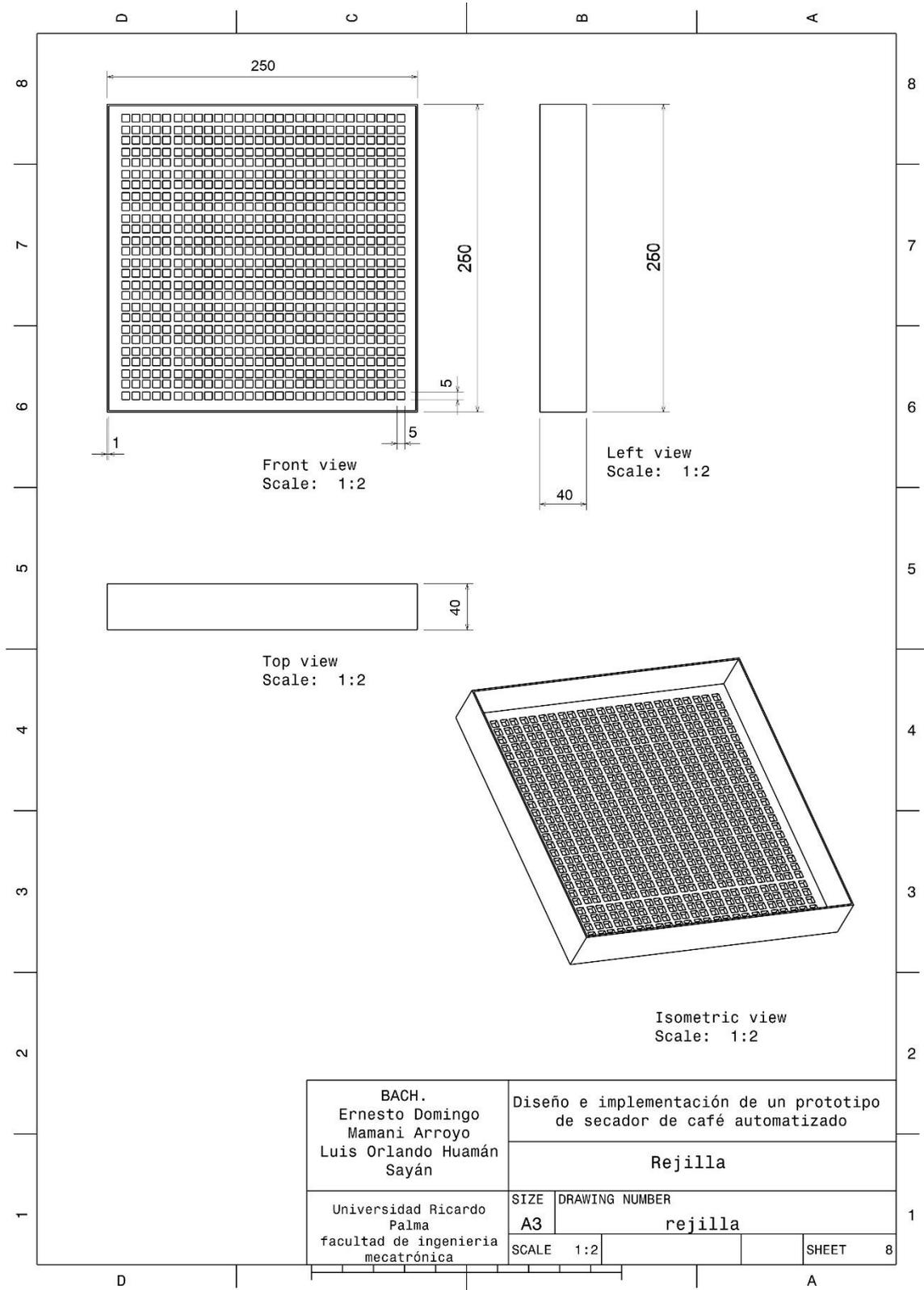
Anexo N° 4: Dimensionado de la cámara de secado.



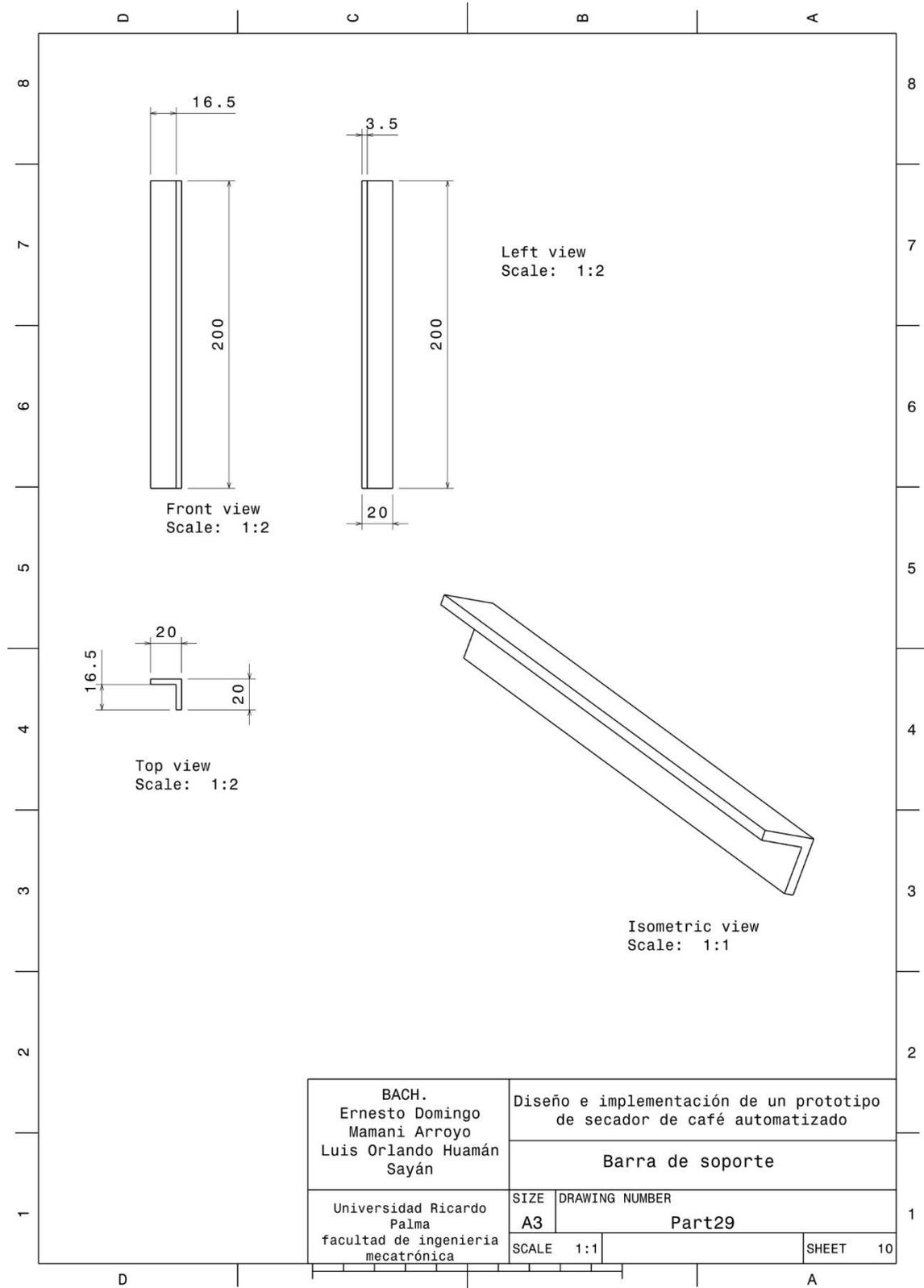
Anexo N° 5: Dimensionado del ducto de aire de la cámara de secado.



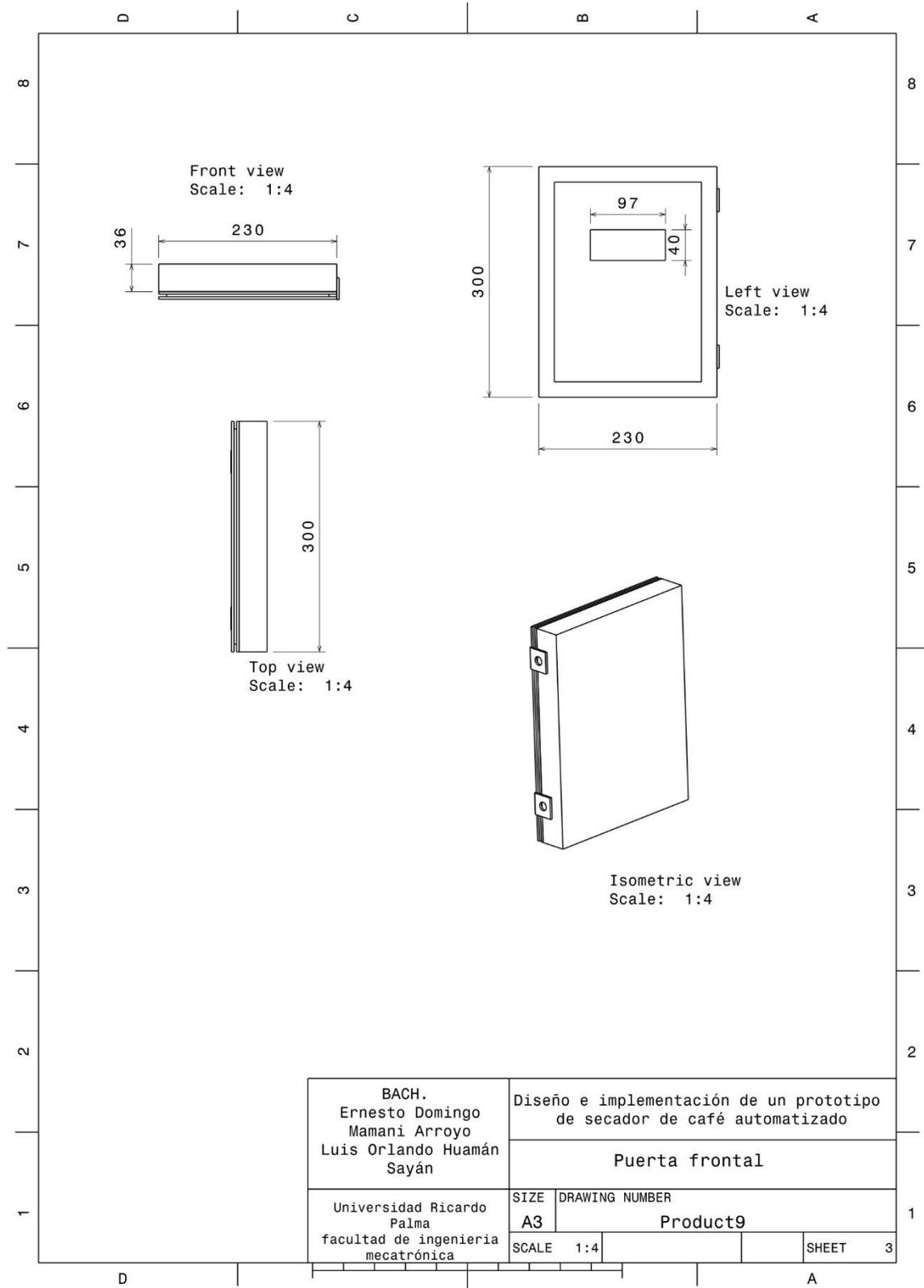
Anexo N° 6: Dimensionado de la rejilla metálica para granos de café.



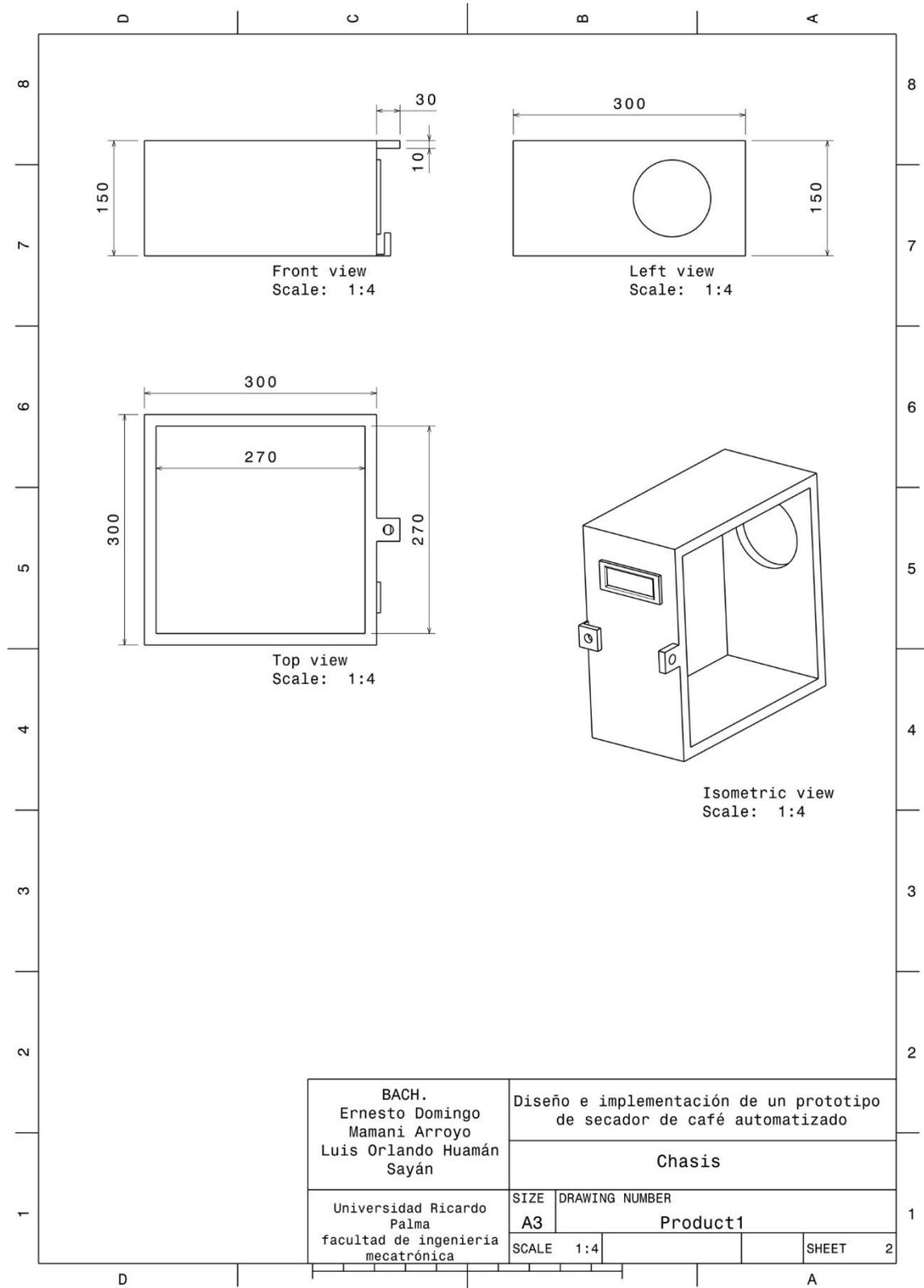
Anexo N° 7: Dimensionado de la barra de soporte para la rejilla metálica.



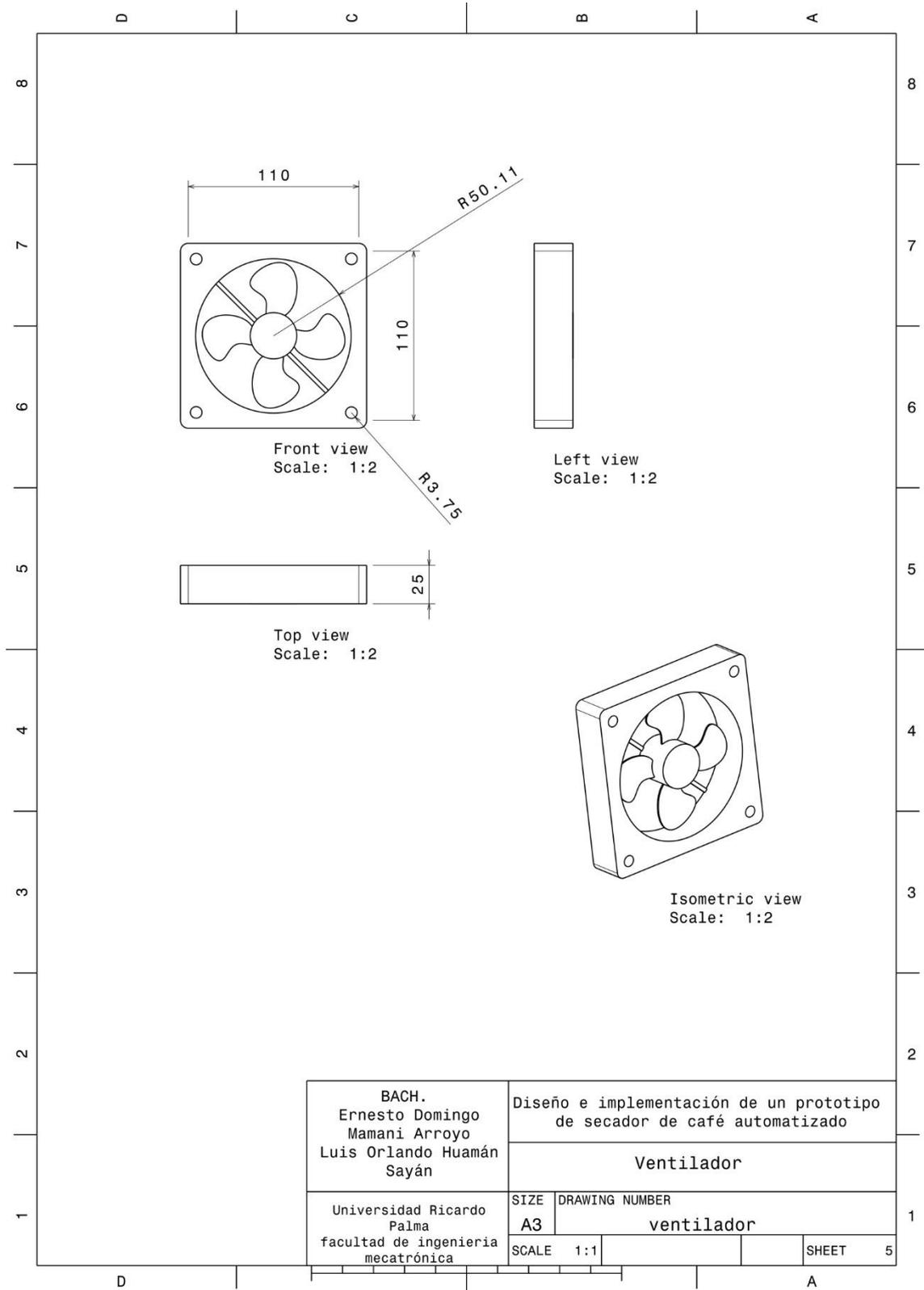
Anexo N° 8: Dimensionado de la puerta principal.



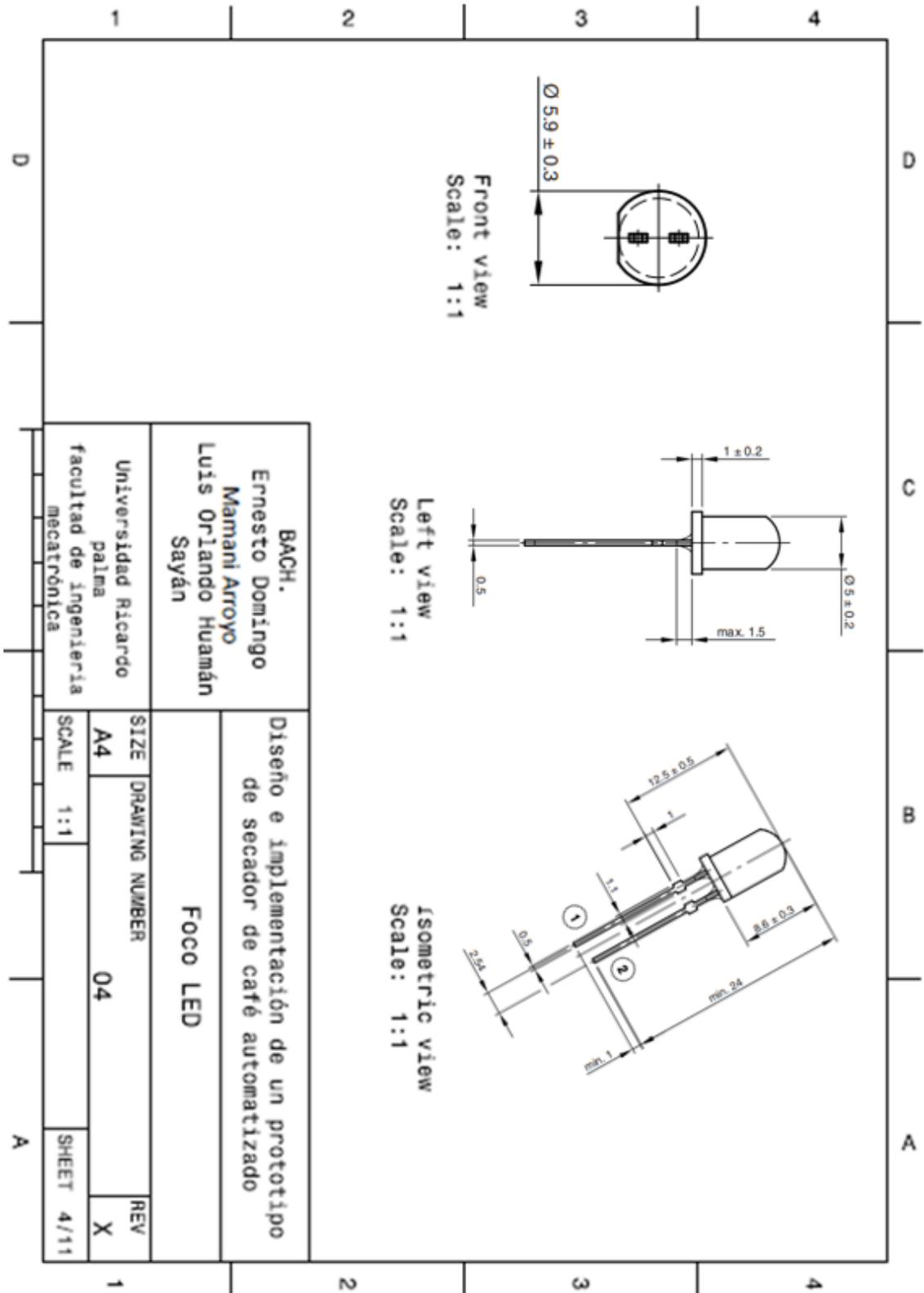
Anexo N° 9: Dimensionado de la cámara de control.



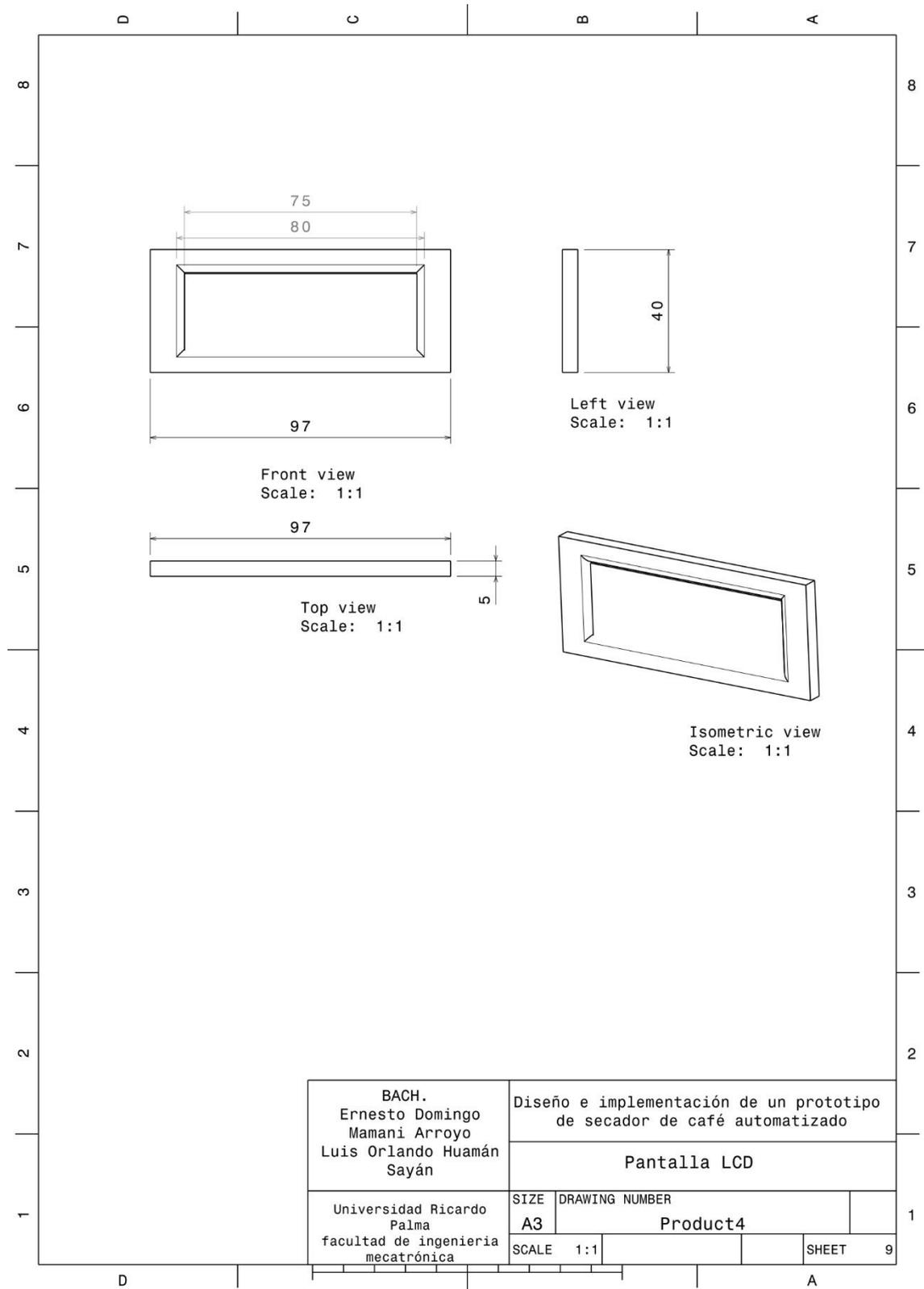
Anexo N° 10: Dimensionado del ventilador de la cámara de calefacción



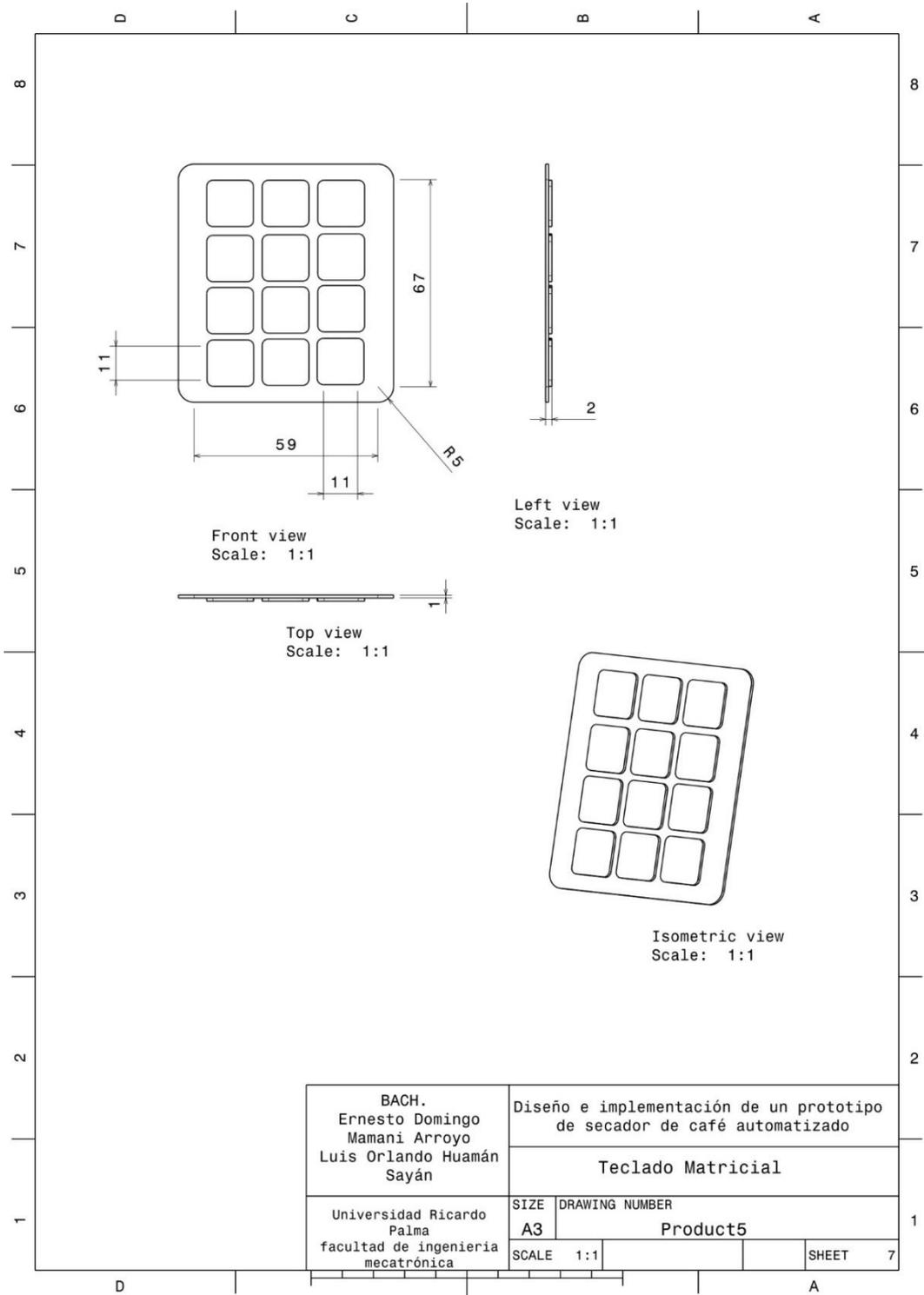
Anexo N° 11: Dimensionado del Diodo Led de la cámara de secado



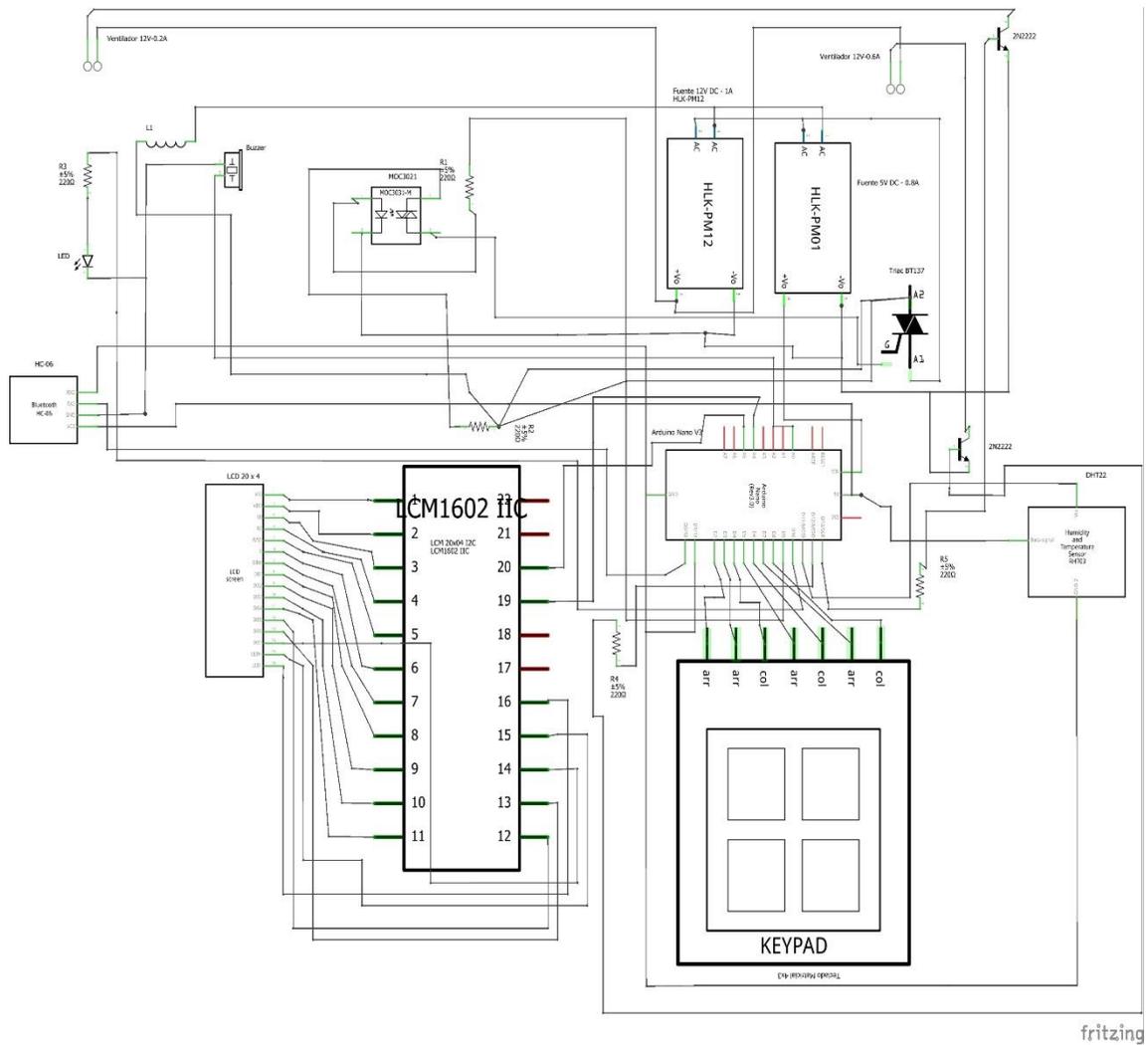
Anexo N° 12: Dimensionado de la pantalla LCD de la cámara de control



Anexo N° 13: Dimensionado del tablero de mando de la cámara de control

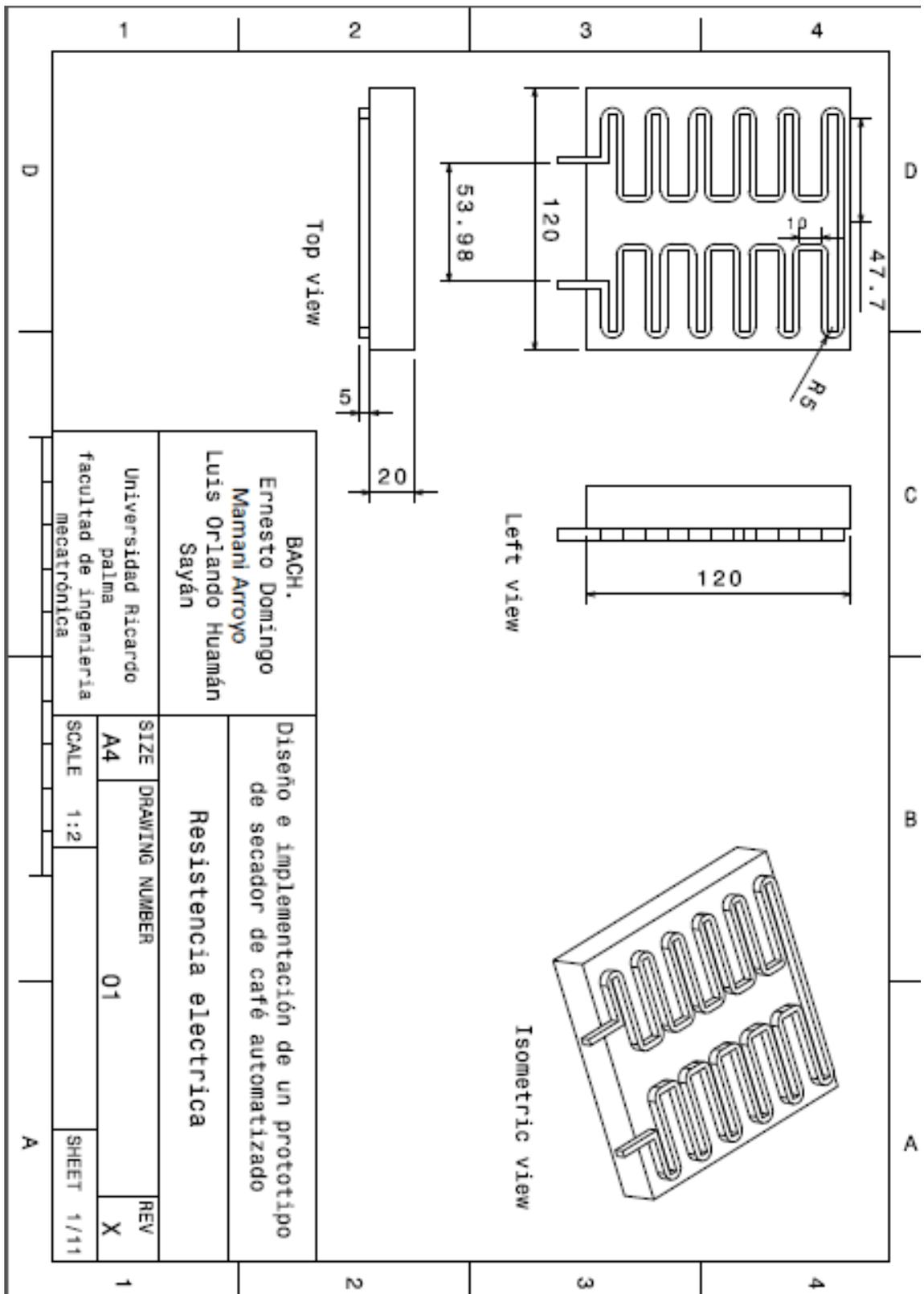


Anexo N° 14: Esquemático del circuito electrónico.



fritzing

Anexo N° 15: Dimensionado de la resistencia eléctrica.



Anexo N° 16: Código de Programación del Sistema

```

/*****
* Tesis:
*   Diseño e Implementación de un Secador de Café Automatizado
*
* Bach:
*   Luis Orlando Huamán Sayán
*   Ernesto Domingo Mamani Arroyo
*****/

#include <dht.h>
dht DHT;
#define DHT22_PIN 11

struct
{
    uint32_t total;
    uint32_t ok;
    uint32_t crc_error;
    uint32_t time_out;
    uint32_t connect;
    uint32_t ack_l;
    uint32_t ack_h;
    uint32_t unknown;
} stat = { 0,0,0,0,0,0,0,0};

#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,20,4);
#include <Keypad.h>
//double moverCm; //para decimales
int moverCm;
const byte ROWS = 4; //cuatro filas

```

```

const byte COLS = 3; //cuatro columnas
//definir simbolo de botones en el teclado
char hexaKeys[ROWS][COLS] = {
  {'1','2','3'},
  {'4','5','6'},
  {'7','8','9'},
  {'*','0','#'}
};
byte rowPins[ROWS] = {2, 3, 4, 5}; //F1,F2,F3,F4
byte colPins[COLS] = {6, 7, 8}; //C1C,C2,C3

//initialize an instance of class NewKeypad
Keypad customKeypad = Keypad( makeKeymap(hexaKeys), rowPins, colPins, ROWS,
COLS);
#include <PID_v1.h>
#define Triac 12

//Define Variables we'll be connecting to
double Setpoint, Input, Output;

//Specify the links and initial tuning parameters
double Kp=39, Ki=30, Kd=1;
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT);

int WindowSize = 5000;
unsigned long windowStartTime;

void setup()
{
  Serial.begin (9600);
  windowStartTime = millis();

  //initialize the variables we're linked to
  Setpoint = 45;

```

```

//tell the PID to range between 0 and the full window size
myPID.SetOutputLimits(0, WindowSize);

//turn the PID on
myPID.SetMode(AUTOMATIC);
pinMode(Triac, OUTPUT);

lcd.init();
lcd.backlight();
lcd.setCursor(2, 0); lcd.print("*** Bienvenido ***");
lcd.setCursor(0, 1); lcd.print("Selec. Tipo de cafe");
lcd.setCursor(3, 2); lcd.print("1 = Mocca");
lcd.setCursor(3, 3); lcd.print("2 = Exportacion");

windowStartTime = millis();
Setpoint = 45;
myPID.SetOutputLimits(0, WindowSize);
myPID.SetMode(AUTOMATIC);
pinMode(MOC3021, OUTPUT);
}

void loop()
{
uint32_t start = micros();
  int chk = DHT.read22(DHT22_PIN);
  uint32_t stop = micros();

  stat.total++;
  switch (chk)
  {
  case DHTLIB_OK:
    stat.ok++;
    break;

```

```

case DHTLIB_ERROR_CHECKSUM:
    stat.crc_error++;
    break;
case DHTLIB_ERROR_TIMEOUT:
    stat.time_out++;
    break;
case DHTLIB_ERROR_CONNECT:
    stat.connect++;
    break;
case DHTLIB_ERROR_ACK_L:
    stat.ack_l++;
    Serial.print("Ack Low error,\t");
    break;
case DHTLIB_ERROR_ACK_H:
    stat.ack_h++;
    Serial.print("Ack High error,\t");
    break;
default:
    stat.unknown++;
    Serial.print("Unknown error,\t");
    break;
}
char customKey = customKeypad.getKey();
int numero;

if (customKey != NO_KEY){
    numero = customKey - 48;
}
if(numero == 1){
    if (Output < millis() - windowStartTime)
    { digitalWrite(MOC3021, LOW);
    }
}
else
    { digitalWrite(MOC3021, HIGH); }

```

```

tiempoContabilizado += instanteActual - instanteAnterior;
    delayMicroseconds(10000);
    segundos = (tiempoContabilizado/1000);
    h=(tiempoContabilizado/1000)/3600;
    hu=h% 10;
    hd=(h-hu)/10;
if ((segundos >= 0) && (segundos <= 72000)){ //72000
    digitalWrite(Luz, HIGH);
    digitalWrite(VentiladorControl, HIGH);
    digitalWrite(VentiladorResis, HIGH);
    }
}
if(numero == 2){
if (Output < millis() - windowStartTime)
    { digitalWrite(MOC3021, LOW);
    }
else
    { digitalWrite(MOC3021, HIGH); }
tiempoContabilizado += instanteActual - instanteAnterior;
    delayMicroseconds(10000);
    segundos = (tiempoContabilizado/1000);
    h=(tiempoContabilizado/1000)/3600;
    hu=h% 10;
    hd=(h-hu)/10;
if ((segundos >= 0) && (segundos <= 73800)){
    digitalWrite(Luz, HIGH);
    digitalWrite(VentiladorControl, HIGH);
    digitalWrite(VentiladorResis, HIGH);
    }
}
if (numero == 3){
    digitalWrite(Luz, HIGH);
    }
if (numero == 4){

```

```
digitalWrite(Luz, LOW);  
}
```

```
lcd.setCursor(8,3); lcd.print(hd);  
lcd.setCursor(9,3); lcd.print(hu);  
lcd.setCursor(10,3); lcd.print(":");  
lcd.setCursor(11,3); lcd.print(md);  
lcd.setCursor(12,3); lcd.print(mu);  
lcd.setCursor(13,3); lcd.print(":");  
lcd.setCursor(14,3); lcd.print(sd);  
lcd.setCursor(15,3); lcd.print(su);  
Serial.print(hd);Serial.print(hu);Serial.print(":");  
Serial.print(md);Serial.print(mu);Serial.print(":");  
Serial.print(sd);Serial.print(su);Serial.print("|");
```

```
digitalWrite(MOC3021, LOW);  
digitalWrite(Luz, LOW);  
digitalWrite(VentiladorControl, LOW);  
digitalWrite(VentiladorResis, LOW);  
lcd.clear();  
lcd.setCursor(2,1); lcd.print("SECADO TERMINADO");  
lcd.setCursor(2,3); lcd.print("(APAGAR SISTEMA)");  
digitalWrite(14, HIGH);  
delay(1000);  
lcd.clear();  
lcd.setCursor(2,1); lcd.print("SECADO TERMINADO");  
digitalWrite(14, LOW);  
delay(1000);  
}  
// FINAL DE ESCRITURA
```