



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA
PROPUESTA TECNOLÓGICA

**ANÁLISIS DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN UNA SECADORA DE CACAO
RECTANGULAR CON EL USO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR.**

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero
Electromecánico

Autores:

Chiluisa Cofre Ronald Fabricio

Defaz Defas Bryan Santiago

Tutor:

PhD. Torres Tamayo Enrique

Latacunga - Ecuador

2022

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **Chiluisa Cofre Ronald Fabricio**, con cédula de ciudadanía N° 050373113-5 y **Defaz Defas Bryan Santiago**, con cédula de ciudadanía N° 050397398-4, estudiantes de la carrera de Ingeniería en Electromecánica declaramos ser autores de la presente Propuesta Tecnológica: "Análisis del consumo de energía en una secadora de cacao rectangular con el uso de intercambiadores de calor", siendo el PhD. Torres Tamayo Enrique tutor del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.



.....
Chiluisa Cofre-Ronald Fabricio

C.C. 050373113-5



.....
Defaz Defas Bryan Santiago

C.C. 050397398-4



AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“ANÁLISIS DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN UNA SECADORA DE CACAO RECTANGULAR CON EL USO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR”, de los ponentes: Chiluisa Cofre Ronald Fabricio y Defaz Defas Bryan Santiago, de la carrera de INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, 31 agosto 2022

Tutor

PhD Ing. Enrique Torres Tamayo

C.C. 1757121940



APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes: **Chiluisa Cofre Ronald Fabricio** con C.C.050373113-5 y **Defaz Defas Bryan Santiago** con C.C. 050397394-4 con el título de Proyecto de titulación:

“Análisis del consumo de energía en una secadora de cacao rectangular con el uso de intercambiadores de calor”, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, 30 Agosto del 2022

Para constancia firman:

Lector 1 (Presidente)
PhD. Héctor Luis Laurencio Alfonso
C.C:1758367252

Lector 2
Msc. Mauro Darío Albarracín Álvarez
C.C: 0503112730

Lector 3
Msc. Freire Martínez Luigi Orlando
C.C: 0502529589



AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

Latacunga, Agosto 2022

En calidad de docente de la Universidad Técnica de Cotopaxi, confirmo la realización del proyecto como material didáctico "ANÁLISIS DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN UNA SECADORA DE CACAO RECTANGULAR CON EL USO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR." diseñado por los señores estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica; Nombres: Chiluisa Cofre Ronald Fabricio con C.I 050373113-5 y Defaz Defas Bryan Santiago con C.I 050397398-4.

Es cuanto puedo certificar en honor a la verdad, se expide el presente para que el interesado pueda hacer el uso del mismo para los fines que crea conveniente.

Docente

PhD. Torres Tamayo Enrique

C.I: 050234776-8

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a la Universidad Técnica de Cotopaxi en especial a la Carrera de Ingeniería Electromecánica, al PhD. Torres Tamayo Enrique por brindarnos todo el apoyo para la realización de la presente tesis y darnos la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad.

También nuestra gratitud a todos los Ingenieros por habernos impartido sus conocimientos, a los compañeros que fueron el pilar fundamental durante nuestra época estudiantil, para ellos los más fraternos reconocimientos.

¡Gracias a todos!

Ronald Fabricio Chiluisa

DEDICATORIA

A Dios, cuya bendición supo mantenerme en el camino del bien en mi vida personal, estudiantil y espiritual.

A mis padres: Segundo Rafael Chiluisa Chango y Marlene Roció Cofre Pinta por apoyarme incondicionalmente y darme fuerza para no desfallecer ante las adversidades que se presentaron con sus palabras sembraron en mí la perseverancia que me permitió llegar a esta meta. A mi hermana, Emily Dayana Chiluisa Cofre por representar un pilar fundamental en mi vida

Con mucho amor y de manera especial se lo dedico a mi mami Roció, quien fue mi fuente de inspiración y siempre estuvo cuando más lo necesite.

Ronald Fabricio Chiluisa

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por brindarme la oportunidad de haber llegado a este momento tan importante de mi vida, a mis padres por todo el apoyo incondicional que me supieron brindar a lo largo de estos años de formación; a una persona muy especial que supo escucharme cuando más lo necesité por brindarme sus consejos y motivarme a seguir adelante para cumplir mi sueño de ser un profesional.

Agradezco a la Universidad Técnica de Cotopaxi por darme la oportunidad de estudiar en tan noble Institución, a los docentes por haber compartido sus conocimientos. A nuestro tutor el PhD. Enrique Torres Tamayo por habernos guiado en todo este proyecto.

¡Muchas gracias a todos!

Bryan Santiago Defaz

DEDICATORIA

A mis padres, Luis Defaz y Rita Defaz, por ser el pilar fundamental en esta meta por haberme brindado comprensión y apoyo en todo momento. A mi abuelita María Jacho, quien ha cuidado de mí como una madre, a mi abuelito, a mi primo que desde el cielo siempre han cuidado de mí y a Mary una persona muy especial quién en los momentos más difíciles supo brindarme sus consejos y palabras de aliento para seguir adelante y no dejarme vencer pese a cualquier adversidad que se presentó. Finalmente dedicar este proyecto a todas las personas que me motivaron en la realización del mismo y a quienes creyeron en mí pues sin ustedes esto no sería realidad.

Bryan Santiago Defaz

ÍNDICE	PÁG
INFORMACIÓN GENERAL	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.2 EL PROBLEMA	2
1.2.1 Planteamiento del problema	2
2.2.2 Matriz de identificación del problema	2
2.2.3 Formulación del problema	3
2.3 BENEFICIARIOS.....	3
2.4 JUSTIFICACIÓN	3
2.5 HIPÓTESIS	4
2.6 OBJETIVOS.....	4
2.6.1 General.....	4
2.6.2 Específicos	4
2.7 SISTEMA DE TAREAS	5
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	6
3.1 ANTECEDENTES	6
3.2 TIPOS DE CACAO.....	10
3.2.1 Cacao Nacional	10
3.2.2 Cacao Criollo	10
3.2.3 Cacao Trinitario	11
3.3 PROCESOS DEL CACAO.....	12
3.3.1 Cosecha.....	12
3.3.2 Desgrane.....	12
3.3.3 Proceso de fermentación	13
3.3.4 Secado.....	14
3.4 TIPOS DE SECADO DE CACAO	15
3.4.1 Secado del cacao	15
3.4.2 Secado natural de cacao	15

3.4.3 Secado natural en tendales (esterillas)	16
3.4.4 Secado natural tipo Elba	17
3.4.5 Secado a la sombra	18
3.4.6 Secado tipo túnel con camas levantadas	18
3.4.7 Secado artificial	19
3.4.8 Secador con aire movido por convección natural.....	19
3.4.9 Secador rotatorio.....	20
3.4.10 Secadores de columna	21
3.4.11 Secadores de flujos cruzados	22
3.4.12 Secadoras tipo canaleta	23
3.4.13 Secado híbrido (GLP y energía solar).....	23
3.4.14 Secador cilíndrico vertical	24
3.4.15 Secador rectangular	25
3.5 CALENTADORES DE AIRE	26
3.5.1 Dispensador de gas.....	26
3.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SECADORES PARA EL CACAO.....	26
3.7 ANÁLISIS COMPARATIVO DE ENERGÍA	28
3.8 DISPOSITIVOS PARA CONTROLAR LOS PARÁMETROS DE SECADO	29
3.8.1 Variador de frecuencia sinamics V20.....	29
3.8.2 Sensor MAF	30
3.8.3 Celda de carga tipo S.....	31
3.8.4 Sumador de celdas de carga.....	31
3.8.5 Termocuplas	32
3.8.6 Transmisores de temperatura RTD PT100	32
4. METODOLOGÍA	33
4.1 MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	33
4.1.1 Variables dependientes.....	33
4.1.2 Variables independientes	33
4.2 METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA CÁMARA DE SECADO	34
4.2.1 Características técnicas de secado	34

4.2.2 Propiedades de la semilla de cacao.....	34
4.3 PROCESO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA CÁMARA DE SECADO	35
Cálculo del volumen de cacao por cada lote.....	35
Cálculo de la masa seca del cacao	35
Estimación de la masa con la humedad requerida (7%).....	35
Psicrometría de Latacunga.....	35
Cálculo de la Densidad del aire seco en el sitio de estudio.....	37
Cálculo de la velocidad másica del aire de secado.....	37
Cálculo del Número de Reynolds	37
Cálculo del Número de Nusselt.....	38
Coeficiente de convección para un flujo de aire perpendicular a la superficie de contacto con el cacao.....	38
4.4 METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DEL SISTEMA DE QUEMADOR.....	38
Cálculo de velocidad de secado por unidad de tiempo de manera constante (Rc).....	38
Cálculo del Área de la cama de secado	38
Cálculo del Tiempo de secado a velocidad constante.....	38
Cálculo del Balance de energía calorífica	39
Cálculo del Calor sensible de la semilla de cacao.....	39
Calor sensible del agua.....	39
Calor latente	39
Masa de la plancha perforada de acero inoxidable.....	39
Cálculo del calor sensible de la cámara	40
Cálculo del Calor total	40
Cálculo de la potencia por calor útil en el proceso de secado.....	40
Pérdidas de calor por convección en el exterior (Temperatura ambiente 20°C)	40
Cálculo del Número de Reynolds	40
Cálculo del número de Nusselt	40
Coeficiente del coeficiente de convección en el exterior.....	40
Cálculo del Calor sensible.....	41
CÁLCULOS DEL CIRCUITO DE RESISTENCIAS TÉRMICAS.....	41
Cálculo de la pared I (Puerta).....	41

Cálculo de la pared 2.....	42
Cálculo de la pared 3.....	42
Cálculo de la pared 4.....	43
Cálculo de la parte inferior de la plancha	44
Cálculo de la resistencia total de la estructura.....	44
Razón de la transferencia de calor.....	44
4.5 METOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DEL VENTILADOR.....	45
Cálculo del volumen específico.....	45
Cálculo del flujo másico de entrada del cacao húmedo	45
Cálculo del flujo sólido.....	45
Cálculo del porcentaje de agua a desprender.....	45
Cálculo del flujo másico a la entrada de humedad	45
Cálculo del flujo másico de agua a la salida del secador	45
Cálculo de la tasa de evaporación de agua	45
Cálculo del flujo másico de aire para el secado de cacao.....	45
Cálculo del flujo volumétrico.....	45
4.6 CÁLCULO PARA EL DISPERSOR DE GAS.....	46
Cálculo del caudal de aire.....	46
4.7 CÁLCULOS PARA LA PRUEBA EXPERIMENTAL CON MASA DE (42.2kg).....	46
Cálculo del volumen de cacao por cada lote.....	46
Cálculo de la masa seca del cacao	46
Estimación de la Masa con la humedad requerida (7%).....	46
Cálculo de la velocidad másica del aire para el proceso de secado	46
Cálculo del Número de Reynolds	46
Cálculo del Número de Nusselt.....	46
Coeficiente de convección para un flujo de aire perpendicular a la superficie de contacto con el cacao.....	46
Cálculo de la Velocidad de secado por unidad de tiempo de manera constante R_c	46
Cálculo del Área de la cama de secado	47
Velocidad de secado por unidad de tiempo de manera constante (R_c).....	47
4.7 NOMENCLATURA.....	47

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	51
5.1 SELECCIÓN DE MATERIALES	51
5.1.1 Cámara de secado.....	52
5.1.2 Dispersor de gas.....	52
5.1.3 Controlador de temperatura	52
5.1.4 Blower Eléctrico	52
5.2 DISEÑO DEL PROTOTIPO	53
5.3 RESULTADOS DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA CÁMARA DE SECADO	53
5.4 RESULTADO DE LA SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO	54
5.5 RESULTADO PARA LA SELECCIÓN DEL VENTILADOR	57
5.6 RESULTADO DEL CÁLCULO DEL DISPERSOR DE GAS	57
5.7 RESULTADO DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES CON CACAO (42.2kg)	58
5.7 RESULTADO DE LA CALIBRACIÓN DEL SENSOR MAF	59
5.7.1 Datos obtenidos al escanear en la Mazda BT-50	59
5.7.2 Datos del flujo másico con el sensor MAF en el sistema	59
5.8 RESULTADO DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES DEL SECADOR DE CACAO SIN CARGA	60
5.8.1 Pruebas con frecuencia constante y variación de altura de la cama	60
5.9.2 Pruebas con frecuencia variable y altura de la cama constante.....	62
5.9 PRUEBA EXPERIMENTAL DEL SECADOR DE CACAO CON CARGA	64
5.9.1 Prueba de secado con frecuencia de 15 Hz y altura de 0.16m de la cama	64
5.10 ANÁLISIS DE pH EN GRANO DE CACAO CON 7% HUMEDAD	67
5.11 METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL CONSUMO DE ENERGÍA	69
5.10.1 Consumo de GLP en el proceso	70
5.10.2 Costos de operación del proceso de secado	71
5.10.3 Costo total de operación del proceso de secado	71
5.10.4 Costo de depreciación de la máquina secadora de cacao rectangular	71
5.10.4.1 Depreciación anual por el método de línea recta.....	71

6 VALORACIÓN ECONÓMICA DEL TRABAJO	73
6.1 Presupuesto	73
6.1.1 Costos directos	73
6.1.2 Costos indirectos	75
6.1.3 Costo total de implementación	75
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	76
7.1 Conclusiones	76
7.2 Recomendaciones	76
8. BIBLIOGRAFÍA	77
9. ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Tareas a cumplir.....	5
Tabla 3.1 Parámetros del secado de cacao.....	6
Tabla 3.2 Tiempo de fermentación del cacao según su variedad.....	13
Tabla 3.3 Secado natural.....	26
Tabla 3.4 Secado artificial.....	27
Tabla 3.5 Tipos de secadoras de cacao.....	27
Tabla 3.6 Tipos de secadoras de cacao.....	28
Tabla 3.7 Características de Métodos de Generación de Calor.....	29
Tabla 4.1 Variables dependientes.....	33
Tabla 4.2 Variables independientes.....	33
Tabla 4.3 Criterios técnicos para la funcionalidad de la máquina.....	34
Tabla 4.4 Criterios técnicos para la funcionalidad de la máquina.....	35
Tabla 4.5 Valores psicrométricos del aire en la ciudad de Latacunga.....	36
Tabla 5.1 Criterios técnicos para la funcionalidad de la máquina.....	51
Tabla 5.2 Resultados del diseño de la cámara de secado.....	53
Tabla 5.3 Resultado de la selección del sistema de calentamiento.....	54
Tabla 5.4 Resultados para la selección del ventilador.....	57
Tabla 5.5 Resultados para determinar el caudal de aire en el dispersor.....	57
Tabla 5.6 Resultados de la prueba experimental con cacao.....	58
Tabla. 5.7 Cálculo del consumo eléctrico.....	69
Tabla 5.8 Cálculo del costo de consumo de GLP.....	70

Tabla 5.9 Costos de operación sin mano de obra.....	71
Tabla 5.10 Costo total de operación incluido mano de obra.....	71
Tabla 5.11 Depreciación anual por el método de línea recta.....	72
Tabla 6.1 Rubros para la construcción de la cámara de secado y dispersor de gas.....	73
Tabla 6.2 Rubros para la construcción del sistema de encendido y sensores.....	73
Tabla 6.3 Rubros de transporte y varios.....	75
Tabla 6.4 Rubros del costo total de implementación.....	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Diagrama Ishikawa.....	3
Figura 3.1 Ubicación del proyecto.....	8
Figura 3.2 Cacao nacional.....	10
Figura 3.3 Cacao criollo.....	11
Figura 3.4 Cacao trinitario	11
Figura 3.5 Cosecha.....	12
Figura 3.6 Desgrane.....	13
Figura 3.7 Proceso de fermentación.....	14
Figura 3.8 Secado.....	15
Figura 3.9 Secado natural de cacao.....	16
Figura 3.10 Secado natural en tendales.....	17
Figura 3.11 Secado natural tipo Elba.....	17
Figura 3.12 Secado a la sombra.....	18
Figura 3.13 Secado tipo túnel con camas levantadas.....	19
Figura 3.14 Secador con aire movido por convección natural.....	20
Figura 3.15 Secador rotatorio.....	21
Figura 3.16 Secadores de columna.....	22
Figura 3.17 Secadores de flujos cruzados.....	22
Figura 3.18 Secadoras tipo canaleta.....	23
Figura 3.19 Secado híbrido (GLP y energía solar).....	24
Figura 3.20 Secador cilíndrico vertical.....	25

Figura 3.21 Secador rectangular.....	25
Figura 3.22 Dispensor de gas.....	26
Figura 3.23 Variador de frecuencia Sinamics V20.....	30
Figura 3.24 Sensor MAF.....	30
Figura 3.25 Celda de carga tipo S.....	31
Figura 3.26 Sumador de celdas de carga.....	31
Figura 3.27 Termocuplas.....	32
Figura 3.28 Transmisores de temperatura RTD PT100.....	32
Figura 4.1 Psicrometría de Latacunga.....	36
Figura 5.1 Soplador w/ Motor-50 cfm.....	53
Figura 5.2 Caudal del sensor MAF en la Mazda BT-50.....	59
Figura 5.3 Curva del flujo másico.....	59
Figura 5.4 Temperatura alcanzada en la cámara de secado con el uso del dispensor de gas.....	60
Figura 5.5 Temperatura en la cama con dispensor de gas (Altura de la cama variable).....	60
Figura 5.6 Temperatura alcanzada en la cámara de secado sin el uso del dispensor.....	61
Figura 5.7 Temperatura en la cama sin dispensor (Altura de la cama variable).....	61
Figura 5.8 Comparativa de la temperatura alcanzada con dispensor de gas y sin dispensor.....	62
Figura 5.9 Temperatura en la cama con el uso del dispensor de gas (Frecuencia variable).....	63
Figura 5.10 Temperatura en la cama sin dispensor de gas (Frecuencia Variable).....	63
Figura 5.11 Comparativa de la temperatura alcanzada con dispensor de gas y sin dispensor.....	64
Figura 5.12 Cacao con un 33.6% de humedad.....	65
Figura 5.13 Curva de temperatura y peso inicial y final del cacao al 7%.....	65

Figura 5.14	Peso final del cacao al 7% de humedad.....	66
Figura 5.15	Tiempo tardó el cacao en llegar a la humedad deseada.....	66
Figura 5.16	Secado óptimo del cacao con 7% de humedad.....	66
Figura 5.17	Trituración del cacao.....	67
Figura 5.18	Proceso del tamizaje #40.....	67
Figura 5.19	Implementar 100mL de agua destilada.....	67
Figura 5.20	Recogiendo muestras 25mL de sobrenadante.....	68
Figura 5.21	Proceso de centrifugación.....	68
Figura 5.22	Calentar con agitación.....	68
Figura 5.23	pH del cacao con dispersor de gas.....	69



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

TÍTULO: ANÁLISIS DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN UNA SECADORA DE CACAO RECTANGULAR CON EL USO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR.

Autores:

Chiluisa Cofre Ronald Fabricio

Defaz Defas Bryan Santiago

RESUMEN

La inexistencia de un debido control de los parámetros del proceso no permite un secado controlado y adecuado, esto produce un elevado consumo energético; además provoca una pérdida de calidad en el producto reduciendo el precio de venta y la aceptación en el mercado. El desarrollo de la presente propuesta tecnológica tuvo como objetivo determinar el análisis del consumo de energía en una secadora de cacao rectangular con el uso de un dispersor de gas que se usa para el proceso de secado del grano, tiene como finalidad disminuir el porcentaje de humedad existente en los granos de cacao obteniendo un ahorro de energía en su proceso y mediante el método experimental se realizó una serie de comparaciones para determinar si la hipótesis planteada es aceptada o negada, con el uso de dispositivos tecnológicos de medida cuantitativa para medición y obtención de datos, con la recopilación obtenida se pudo realizar la evaluación del proceso de secado con el fin de verificar si el proceso es el apropiado, los resultados obtenidos del análisis fueron procesados mediante el uso de tablas y gráficos para visualizar el comportamiento del flujo de aire, la temperatura en la cámara de secado y el peso del grano durante el procedimiento. Como resultado se obtuvo una temperatura de secado de 60-70°C, con un peso inicial del grano de 42.2kg y final 30.10 kg con 7% de humedad, en un tiempo de 3 horas y 10 minutos, consumo de energía 1.5kg, el propósito es conseguir una temperatura de secado no mayor a 70°C determinada por la INEN. En comparativa de la secadora de cacao con dispersor de gas y sin dispersor, se concluye que el más óptimo para el secado de cacao es la máquina con dispersor de gas puesto que genera una temperatura óptima en toda la cama para así obtener un secado adecuado.

Palabras clave: Dispositivos, análisis, medición, flujo, temperatura.



COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY

FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

ELECTROMECHANICAL ENGINEERING

TÍTULO: ANÁLISIS DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN UNA SECADORA DE CACAO RECTANGULAR CON EL USO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR.

Autores:

Chiluisa Cofre Ronald Fabricio

Defaz Defas Bryan Santiago

ABSTRACT

The lack of proper control of the process parameters does not allow controlled and adequate drying, this produces a high consumption of energy; it also causes a loss of quality in the product reducing the selling price and acceptance in the market. The development of this technological proposal aimed to determine the analysis of energy consumption in a rectangular cocoa dryer with the use of a gas disperser used for the grain drying process, aims to reduce the percentage of moisture present in cocoa beans by achieving energy savings in their process and by means of the experimental method a series of comparisons were made to determine whether the hypothesis put forward is accepted or denied, with the use of technological quantitative measuring devices to measure and obtain data, with the collection obtained it was possible to carry out the evaluation of the drying process to verify whether the process is the right one, The results obtained from the analysis were processed using tables and graphs to visualize the air flow behavior, the temperature in the drying chamber and the grain weight during the procedure. As a result, a drying temperature of 60-70°C was obtained, with an initial grain weight of 42.2 kg and 30.10 kg final with 7% humidity, in a time of 3 hours and 10 minutes, energy consumption 1,5 kg, the objective is to reach a drying temperature not exceeding 70°C determined by the INEN. In comparison to the cocoa dryer with gas disperser and without disperser, it is concluded that the most optimal for the drying of cocoa is the machine with gas disperser since it generates an optimal temperature throughout the bed to obtain a proper drying.

Keywords: Devices, analysis, measurement, flow, temperature.



AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal CERTIFICO que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del trabajo de titulación cuyo título versa: **“ANÁLISIS DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN UNA SECADORA DE CACAO RECTANGULAR CON EL USO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR.”** presentado por: **Chiluisa Cofre Ronald Fabricio y Defaz Defas Bryan Santiago**, estudiantes de la Carrera de: **Ingeniería Electromecánica**, perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, septiembre del 2022

Atentamente,

Mg. Marco Beltrán



CENTRO
DE IDIOMAS

DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC

CI: 0502666514

INFORMACIÓN GENERAL

Título: Análisis del consumo de energía en una secadora de cacao rectangular con el uso de intercambiadores de calor.

Fecha de inicio: Abril 2022

Fecha de finalización: Septiembre 2022

Lugar de ejecución: Universidad Técnica de Cotopaxi, Provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga.

Facultad que auspicia: Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.

Carrera que auspicia: Ingeniería en Electromecánica.

Proyecto de investigación vinculado: Análisis de eficiencia en el proceso de secado solar de cacao mediante diferentes formas geométricas en el sistema de captación.

Equipo de Trabajo: PhD. Ing. Enrique Torres Tamayo

Chiluisa Cofre Ronald Fabricio

Defaz Defas Bryan Santiago

Área de Conocimiento:

07 Ingeniería, Industria y Construcción/ 071 Ingeniería y Profesiones Afines/ 0713 Electricidad y Energía.

Línea de investigación:

Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

Sub líneas de investigación de la Carrera:

Energética en sistemas electromecánicos y uso de fuentes renovables de energía.

1. INTRODUCCIÓN

1.2 EL PROBLEMA

1.2.1 Planteamiento del problema

En el Ecuador los pequeños agricultores tienen un inconveniente realmente importante, puesto que debido a los cambios climáticos estos pueden llegar a perder sus productos, debido a que al efectuarlo de manera tradicional requiere demasiado tiempo de labor y gastos, además al no contar con ningún tipo de maquinaria es muy difícil que la semilla de cacao alcance los requisitos necesarios para que esta pueda llegar a ser almacenado y comercializado.

Dependiendo de las condiciones climáticas el secado termina a los 6 o más días, cuando la humedad del grano sea de 6.5 a 7.0 %. La medición precisa se debe hacer con un medidor digital de humedad para granos. Este instrumento es muy importante. Si no se seca suficiente, el grano se llena de moho y si se seca menos de 6.0 % se vuelve quebradizo [1]. El proceso de secado que suele usarse es con el uso directo de GLP mismo que no posee un adecuado control de temperatura y tiene como duración cierto tiempo, genera pérdida de sabor y aroma en el producto lo cual puede afectar en la calidad del mismo, produciendo así pérdidas y una disminución del precio de venta. Con este proyecto se busca elaborar un sistema semiautomático de control, con el fin de medir la humedad del producto y la temperatura producida en el proceso de secado, para garantizar un secado de cacao adecuado que necesita el producto, con el control de datos específicos a fin de llegar al punto óptimo de humedad del producto.

2.2.2 Matriz de identificación del problema

El esquema causa efecto permitirá establecer soluciones con fundamentos al problema encontrado en la lista de causas establecidas y su pertinente efecto, luego se podrá asemejar soluciones y de esta manera poseer una idea precisa para llevar a cabo la presente propuesta tecnológica.

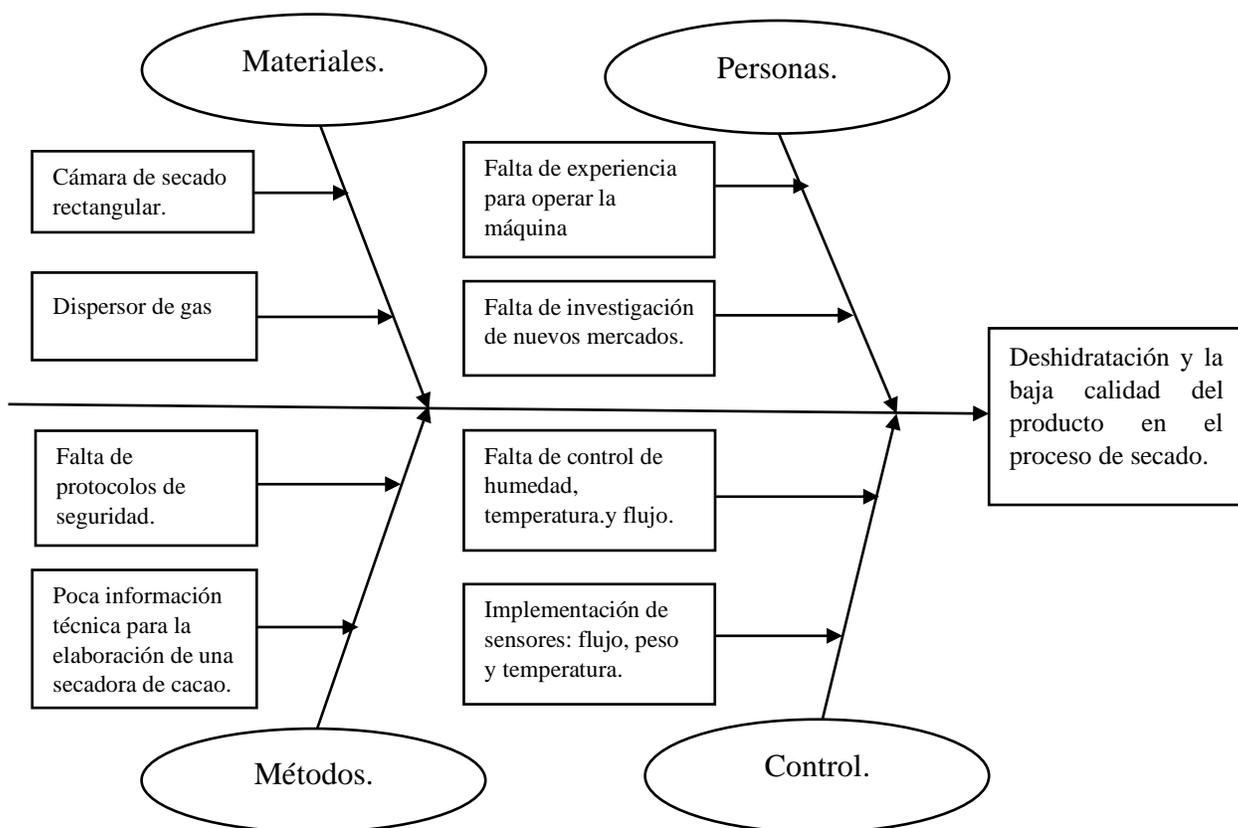


Figura 2.1 Diagrama Ishikawa

2.2.3 Formulación del problema

La inexistencia de un debido control de los parámetros del proceso no permite un secado controlado y adecuado, esto produce un elevado consumo energético; además provoca una pérdida de calidad en el producto reduciendo el precio de venta y la aceptación en el mercado.

2.3 BENEFICIARIOS

Beneficiarios directos estudiantes y docentes de la Carrera de Ingeniería en Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Beneficiarios indirectos productores de cacao.

2.4 JUSTIFICACIÓN

Para la solución del problema planteado se realiza el diseño y construcción de una secadora rectangular que permite el uso de un dispersor de gas para obtener una mejor distribución de calor

en la cámara de secado, permitiendo tener una buena deshidratación del producto; los comerciantes de cacao han adoptado el método de secado artificial, que es muy utilizado por las procesadoras de cacao nacionales y transnacionales, y las mismas utilizan GLP como fuente de energía calorífica, mediante el análisis del consumo de energía de la secadora de cacao con el dispersor de gas, se seleccionará el mejor método de secado en equipos rectangulares obteniendo como resultado la eficiencia del proceso, con la finalidad de que el proyecto sea factible para favorecer a los pequeños productores respecto a su economía y acortando la mano de obra, esto permitirá generar ingresos, al mismo tiempo contribuirá a solucionar el problema de la escases de combustible que mayormente es producida en las provincias con fronteras internacionales debido a que todos los combustibles en el país cuentan con un porcentaje de subsidio en el precio.

2.5 HIPÓTESIS

Mediante el diseño experimental de un secador de cacao rectangular que permite el uso de un dispersor de gas, es posible una mejor distribución de temperatura en la cámara de secado y una adecuada deshidratación del producto durante el proceso; por medio del control de los parámetros de temperatura, peso y flujo de aire.

2.6 OBJETIVOS

2.6.1 General

Determinar la calidad del cacao durante el proceso de secado a través del uso de un dispersor de gas que permita la calidez del aire y se pueda tener un control de los parámetros de deshidratación.

2.6.2 Específicos

- Establecer los fundamentos teóricos relacionados con el proceso de secado y el uso de calentadores de aire.
- Construir una secadora rectangular y un dispersor de gas que permita una mejor distribución de la calidez del aire.
- Realizar pruebas experimentales que permitan el análisis del consumo de energía y la verificación de la calidad del producto.

2.7 SISTEMA DE TAREAS

Tabla 2.1 Tareas a cumplir.

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, medios e instrumentos
<p>Establecer los fundamentos teóricos relacionados con el proceso de secado y el uso de calentadores de aire.</p>	<p>Búsqueda de información relacionada con el proceso de secado. Análisis de los diferentes métodos de secado de cacao.</p>	<p>Identificación del dispersor del gas y sus características para el secado artificial. Selección del tipo de secadora a implementar.</p>	<p>Tomando en cuenta una modalidad documental con la utilización de libros, tesis y artículos científicos relacionados con el tema.</p>
<p>Construir una secadora rectangular y un dispersor de gas que permita una mejor distribución de la calidez del aire.</p>	<p>Procedimiento para el diseño y construcción de la secadora de cacao rectangular. Selección del método de control de temperatura y flujo. Selección del dispersor de gas para el proceso de secado.</p>	<p>Identificación de los datos obtenidos adecuados del intercambiador de calor en forma de dispersor del flujo calorífico, en función del análisis térmico y como estos influyen en el proceso de secado. Construcción de una secadora rectangular y sus debidos procesos de control.</p>	<p>Sensores de temperatura. Sensor de flujo. Sensores de peso para el control de la humedad.</p>
<p>Realizar pruebas experimentales que permitan el análisis del consumo de energía y la calidad del producto.</p>	<p>Observación del proceso con enfoque directo al consumo de energía y la calidad obtenida al finalizar el secado de cacao. Selección de la muestra de cacao luego del proceso de fermentación.</p>	<p>Comprobar el consumo energético de la máquina con el uso del dispersor de gas. Comprobar la calidad del producto en función de los parámetros controlados.</p>	<p>Dispositivos de medida y sensores que permitan reconocer las variantes en el proceso de secado.</p>

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1 ANTECEDENTES

En el presente capítulo se procura dar a conocer las diferencias de secado, como sería el secado natural y secado artificial, para esto se debe tener en cuenta datos gran relevancia que se usarán de ayuda para formar un criterio del por qué se tiene que dar énfasis al consumo de energía, reducción de tiempo y calidad del fruto.

Según, Ndukwu Macmanus Chinenye [2], sugiere que, para obtener los factores de evaluación utilizados para la investigación, la medición del aire de secado, temperatura, temperatura ambiente (circundante), humedad, velocidad del aire y contenido de humedad se realizaron. La temperatura del fruto seco y húmedo, se midió con un termopar tipo T con un error máximo de 0,5 °C. Para medir la temperatura del bulbo húmedo, la unión del termopar fue cubierto de una mecha mojada, que sobresale de una botella llena de agua. La medida temperatura se utilizó para obtener la humedad del aire de la carta psicométrica y psicométrica relación. El tiempo de secado se determinó con un cronómetro.

Con el fin de conseguir la cantidad de humedad deseada, las muestras se acondicionaron zambulléndolas en un volumen calculado de agua y mezclándolas a fondo. Los ejemplares mixtos (1.378 kg cada uno) fueron cerradas en bolsas de polietileno a 5 °C, mismas que fueron puestas a refrigeración por 15 días para posibilitar que la humedad se distribuya uniformemente en toda la muestra. La cantidad de 1.387 kg es la masa de la semilla que puede conformar completamente tres capas de grano en el contenedor del secador. Con la ayuda de un indicador de humedad anteriormente calibrado con el proceso de horno, se pudo determinar el porcentaje de humedad en base seca.

Tabla 3.1 Parámetros del secado de cacao [2].

N°	PARÁMETRO	VALOR
1	Temperatura del aire para el proceso	(55,70 y 81) °C
2	Velocidad del aire para el proceso	(1.3, 2.51 hasta 3.7) m/s
3	Humedad de inicio	79,6%
4	Hum. relativa	80%
5	Masa de cada muestra	1.378 kg

El cacao es un fruto considerablemente muy significativo de exportación en el Ecuador, su cosecha se la realiza a lo largo del año completo, al consistir un producto de extremada productividad la mayor parte de personas de la zona litoral se dedican al cultivo de este producto. La finalidad de disminuir la cantidad de humedad de la semilla es mediante el secado, para que su resultante final tenga éxito en la comercialización se debe conseguir una cantidad entre 7 a 10% aproximado de humedad, de esta manera el cacao puede preservar sus características, la temperatura tiene que llevarse a cabo en un intervalo de 40-60 °C para el secado apropiado.

El autor, Samuel Matavaca [3] menciona que, el secado es una operación importante, entre algunas razones por las que se lo aplica se encuentran las siguientes: facilitar el manejo posterior del producto, permitir el empleo satisfactorio del mismo y preservar los productos durante el almacenamiento y transporte. El parámetro de mayor flexibilidad que influye significativamente en la tasa y eficiencia de secado y en la calidad del producto final. Un aumento de temperatura significa un menor consumo de energía por unidad de agua evaporada y una mayor tasa de secado; pero temperaturas muy elevadas pueden causar daño al grano. La temperatura de secado, junto con los flujos de aire y de granos determina la cantidad de agua evaporada en el secador, las temperaturas de aire de secado superiores a 60 °C son perjudiciales para la calidad de la semilla.

Actualmente el secado de productos por vacío, es un procedimiento relativo utilizado en granos, en esta indagación se precisa a deshidratar por vacío la semilla de cacao, acelerando de esta manera la remoción de humedad en el interior del mismo, evitando influir en su calidad y esencia distintiva de un agradable cacao seco.

En el equipo de máquina secadora de cacao, existen variables tales como la temperatura, la misma que será registrada reiteradamente, debido a que ésta se debe conservar en el intervalo de 50-60 grados Celsius, para prevenir que la semilla se cocine debido a la humedad contenida en su interior y de esta manera la deshidratación pueda ser más inmediata. El grano de cacao que posee mayor calidad tiene un porcentaje entre el 7 y 10% de humedad.

Si bien se podría disminuir el tiempo de secado trabajando a temperaturas más altas dentro de lo recomendado por los estudios referenciados en este documento (81°C), se optó por una temperatura de 65°C para evitar quemar el cacao. Por otro lado, se trabajó con una velocidad de aire de 3 m/s, siendo lo máximo recomendado en los estudios mencionados de 3,7 m/s [4].

Ubicación: El proyecto tendrá como sitio de realización, la Universidad Técnica de Cotopaxi ubicada en el barrio Ejido parroquia Eloy Alfaro, en el cantón Latacunga Provincia de Cotopaxi.



Figura 3.1 Ubicación del proyecto.

Historia: América Latina es conocida como el principio del cacao. Una investigación arqueológica recién sugirió que el territorio del principio del cacao es Ecuador. Se encontraron cerámicas con restos de cacao en el bosque Amazónica que datan de 3300 antes de Cristo, lo que significa que los granos de cacao se han sembrado en Ecuador por más de 5.000 años. No fue hasta la época XVI que el cacao salió de América Latina. Lo exportaron por primera vez a los españoles por medio de un refresco de chocolate habitual, los conquistadores prohibieron las exportaciones de cacao en 1789 eligiendo conservar las ganancias de este beneficio noble en América Latina. La productividad de cacao en América se remonta de hace muchos siglos, anteriormente del advenimiento de los españoles.

Algunos autores sugieren que el cacao fue la base de la economía que permitió fomentar dos grandes momentos de la historia nacional: Las Independencia y revolución liberal. Cuando los españoles llegaron a América, los granos de cacao eran usados como dinero y para elaborar un delicioso brebaje, las semillas fueron llevadas a Europa en el que desarrollaron una mezcla añadiéndole vainilla y dulce. Fue a finales del período XIX que, luego de varias experimentaciones, los suizos lograron obtener el primer chocolate, dando inicio a una industria mundial. Este fruto es de clima tropical, sus cultivos se encuentran principalmente en el Litoral y en la Amazonía.

Ecuador se convirtió en el primer puerto mundial de cacao y comenzó una etapa de monopolio que duró durante 150 años. El comercio del cacao en el país era indispensable para la economía hasta que sufrió dos golpes duros en la década de los años 1920, por una enfermedad que afectó la

cosecha de cacao y llevó a la caída de la industria del cacao con la llegada de enfermedades severas como la monoliosis (monilla) o la escoba de bruja, hace unos 100 años, se introdujo el cacao extranjero de una manera masiva proveniente particularmente de Venezuela. Dichos cacaos se emparejaban con la variación local, dando como resultado híbridos vigorosos y productivos, el producto tenía una eficacia aromática mínimo que la original. Entonces se pensó que se debería lograr hallar los representantes de esta variedad ancestral, que se estaba perdiendo en el desarrollo de hibridación y poder recrear las variedades productivas con una satisfacción semejante a la variedad nativa Nacional.

En Ecuador se desarrollan algunos tipos de cacao, sin embargo, la diversidad conocida como Nacional es aún la más requerida entre los productores de chocolate, por la particularidad de sus granos y la fineza en cuanto a su aroma; se aprecia que hay más de 543 mil hectáreas de cacao, consolidándose en gran parte en las provincias de Los Ríos, Guayas, Manabí y Esmeraldas.

Ecuador es el 4to productor de cacao a nivel mundial con un crecimiento del 110% durante los últimos 10 años y con una cadena de valor beneficia a más de 600,000 familias. El 65% de producción de cacao fino de aroma proviene de Ecuador, chocolates de origen y totalmente trazables, perfiles de sabores únicos en el mundo, diferenciados por cada región productora del país [5].

Un total de 233 muestras de cacao, provenientes de 55 diferentes países productores de cacao, se seleccionó a las mejores 50, estando Ecuador dentro del grupo seleccionado en tres ocasiones. Las muestras ecuatorianas provenientes de Esmeraldas, Los Ríos y Manabí se ubicaron en los puestos 14, 15 y 16 respectivamente. Así el cacao ecuatoriano alcanza nuevamente un nivel de reconocimiento por sus cualidades organolépticas únicas y sabores diferenciados, que hacen de este fruto ecuatoriano uno de los más apetecidos por los maestros chocolateros del mundo [6].

Cámara Marítima del Ecuador (CAMAE) hace referencia que, a principios del 2021, la tonelada de cacao superó los USD 2.700 y para finales del año bordeó los USD 2.100. Durante el inicio de este 2022, ha vuelto a tener una mejora, ubicándose en USD 2.800. Según Merlyn Casanova, directora ejecutiva de Anecacao, en la actualidad se estima que la producción anual de cacao asciende a las 378 mil toneladas métricas, de las cuales alrededor del 99% se destina para el mercado internacional y alrededor del 1% va al local [7].

3.2 TIPOS DE CACAO

3.2.1 Cacao Nacional

Es un árbol que incorporaron los europeos en los territorios colonizados cuando el requerimiento de chocolate aumentó significativamente a principios del siglo XX. Es cultivado principalmente en: Perú, Ecuador, Colombia, Brasil Guayanas e inclusive Venezuela. Del mismo modo, en Costa de Marfil, Ghana, Camerún y Santo Tomé; así mismo hay plantaciones en el sudeste asiático. Ésta es la diversidad más habitual, no obstante, es la más robusta y la que produce más cantidad de frutos, sin embargo, el grano que genera es el menos aromatizado. Este grano de cacao tiene un sabor intenso y amargo, siendo a su vez levemente ácido, con considerablemente tanino y astringencia, tiene una gran intensidad aromática, pero sin delicadeza ni variedad de sabores. Este grano alcanza el 63% de producción total mundial.



Figura 3.2 Cacao nacional [8].

3.2.2 Cacao Criollo

Esta diversidad de grano suele solicitarse para chocolatería fina y preparaciones más selectas, por otra parte, los árboles de esta variedad suelen ser más delicados y propensos a plagas, por lo que su área de cosecha disminuye considerablemente. Es desarrollado mayormente en México, Guatemala y Nicaragua en pequeñas cantidades. Venezuela, Colombia, islas del Caribe, Trinidad, Jamaica e isla de Granada, también en Madagascar, Java e islas Comores.

Es un cacao que posee una amargura agradable, sabores ácidos y afrutados, también puede distinguirse el sabor de frutos secos; son escasamente astringentes, poseen un refinamiento y

delicadeza aromática. Con esta variedad se producen refinados bombones y piezas de artesanía repostería y diversas clases de chocolates para la degustación y cata.



Figura 3.3 Cacao criollo [9].

3.2.3 Cacao Trinitario

Este cacao resulta del cruce entre el cacao nacional y el cacao criollo, es una agrupación genéticamente híbrida, ya que une algunas cualidades aromáticas del cacao nacional con la contundencia y la más grande producción del cacao criollo, ofrece fragancias más intensas y un deleite sumamente agradable sin manifestar toda la profundidad de alguna variedad del cacao nacional. Es afrutado, aromatizado y posee una extensa calidad de sabores. Se puede distinguir sabores a heno, roble, miel, manzana y melón.



Figura 3.4 Cacao trinitario [10].

3.3 PROCESOS DEL CACAO

3.3.1 Cosecha

Después de que el agricultor sabe que su cultivo está preparado para la recolección, puede empezar a cosechar las vainas de manera manual. Debido a que las vainas de cacao maduran en diferentes momentos, en este proceso la recolección con maquinaria no es probable.

Al momento de cosechar los frutos se ha de tener cuidado de no dañar los cojines florales, ya que esto comprometería la producción de nuevos frutos. La cosecha puede realizarse con tijeras de podar, desinfectadas y bien afiladas, haciendo el corte en el pedúnculo hacia la parte más cercana posible del fruto. Si los frutos se encuentran en lo alto se puede usar una horquilla o desjarretadera, teniendo siempre cuidados con el cojín floral. Las mazorcas se van trasladando entre el lote de cosecha en sacos o canastos hasta el punto seleccionado para el quiebre y desgrane de las mismas.



Figura 3.5 Cosecha [11].

3.3.2 Desgrane

El desgrane se realiza golpeando la mazorca con un tronco o una contra otra, cayendo el componente inferior del producto, quedando así las semillas adheridas a la placenta la cual está incorporada al fragmento proximal de la mazorca y de esta manera extraer los granos separados de la envoltura para colocarlos posteriormente a fermentar. Esto es mucho mejor y más rápido cada que la mazorca se separa con una herramienta, lo cual conlleva la probabilidad que los granos se partan por el afilado del instrumento.

La relevancia de retirar la placenta de los granos esto es imprescindible ya que, al no realizarlo, se da lugar a granos múltiples que obstaculizan el secado, al mismo tiempo, se pierde tiempo para el

desprendimiento de estos granos y provoca una disminución de calor en el bulto ya en fermentación.



Figura 3.6 Desgrane [11].

3.3.3 Proceso de fermentación

El proceso de fermentación es fundamental para el mejoramiento del aroma y la acidez terminada de los granos de cacao. Sin la fermentación, el cacao no contaría con nada de sabor. Los métodos más comunes para fermentar el cacao se los realizan en contenedores de madera.

Este se lo realiza en bandejas tipo Rohan, también conocido como fermentado en gavetas, para esto se utiliza recipientes de diferentes tamaños, con un alto de esquina de 10 centímetros para facilitar la deshidratación rápida. Los recipientes más usados miden 120 cm de largo, 90 cm de ancho y 10 cm de alto, al fondo de las bandejas hay grietas entre las tablas que permiten que la viscosidad salga y no se pierda los granos, se realizan con madera de laurel u otras especies que no dejen su fragancia en la semilla, en cada recipiente alcanza un promedio 2 quintales y medio de cacao.

Cuando las bandejas están llenas se cortan piezas pequeñas de hojuelas de banano, y se incorporan internamente en la masa de cacao. Esto ayuda a inmunizar el cacao. Posteriormente se tapa cada recipiente llena con hojas de plátano. Es de total trascendencia colocar los recipientes unos en torno a otros, ya que esto nos permite generar combustión y que aumente la temperatura.

Tabla 3.2 Tiempo de fermentación del cacao según su variedad [12].

Tiempo de fermentación del cacao según su variedad	
Cacao Nacional	2 a 3 días
Cacao Criollo	5 a 7 días
Cacao Trinitario	6 a 7 días



Figura 3.7 Proceso de fermentación [12].

3.3.4 Secado

Luego de la fermentación los granos de cacao o las almendras pasan inmediatamente al área de secado. Cuando llega al secado la almendra tiene cerca de 55% de humedad; la cual debe reducirse del 6 al 8%, que es la cantidad de humedad adecuada para que el cacao se pueda almacenar y comercializar.

Debe ser prolongado ya que si no es así las semillas se ponen duras, aplastadas y arrugadas, los colores se modifican y aparece la tonalidad café cenizo que es el tono que tiene el cacao fermentado y secado apropiadamente. Si el secado queda inconcluso los granos permanecen húmedos y pueden desarrollar moho. Si la semilla supera el tiempo de secado la corteza y el grano se vuelven sumamente quebradizos.

El secado natural aprovecha la energía solar, sin embargo, en regiones donde la cosecha coincide con lloviznas frecuentes se recurren a métodos de secado artificial o una unificación de ambos. A lo largo del secado al sol, los granos se incorporan en plataformas de madera en mantos de 5 a 7 cm de espesor. Las semillas se mueven continuamente para conseguir un secado equilibrado, apartar los granos, para que no se peguen entre sí e impedir el desarrollo de moho. El secado debe ser prolongado por lo menos 48 horas a 96 horas moviendo constantemente los granos.

En el secado artificial se usa una corriente de aire caliente que se aplica con el cuidado de no producir contaminaciones, sobre todo de humo. Como fuente de calor se puede usar leña, carbón mineral, diésel, gas natural o electricidad. En el secado artificial la temperatura no debe exceder de los 80 °C, la cual se regula por medio de un termostato acoplado a la entrada de aire caliente. Todo

el proceso puede durar unas 24 horas, luego de las cuales estará el producto listo para su comercialización.



Figura 3.8 Secado [13].

3.4 TIPOS DE SECADO DE CACAO

3.4.1 Secado del cacao

El proceso de secado del grano de cacao se lo puede realizar de forma natural o artificial. En la etapa de secado continúa el proceso de oxidación iniciado en la fermentación y se completa la formación de aquellos compuestos que determinan las cualidades organolépticas, como el aroma y el sabor del cacao. En esta etapa además se desarrolla la pigmentación de color marrón a partir de los compuestos fenólicos.

Para Rincón, de nada sirve que se haya realizado una buena fermentación si el secado no se hace de una forma adecuada ya que el cacao mal secado no alcanzará el aroma y sabor adecuados. Durante el secado se eliminará el exceso de humedad y de acidez de las semillas recién fermentadas desde un aproximado del 55% hasta el 7%, valor de humedad que garantiza su posterior almacenaje y comercialización.

3.4.2 Secado natural de cacao

El secado natural del cacao es el proceso de deshidratación por exposición al sol y consiste en utilizar el calor generado por los rayos solares para secar lenta y gradualmente las almendras de cacao. El autor Enríquez G. menciona que, con esta técnica de secado las almendras completan satisfactoriamente los cambios bioquímicos internos, logrando buenas características sensitivas. El mismo autor expone que este tipo de secado se lo puede realizar utilizando tendales, los mismos

que pueden ser contruidos de varias formas, utilizando madera, bambú, cemento u otros materiales refractarios.

En el secado natural se realizan giros de la semilla con poca reincidencia en los primeros días y con mayor frecuencia en el transcurso de los últimos días de secado. Según las horas de sol y la potencia de los rayos solares, el proceso puede perdurar entre 3 y 12 o inclusive quince días, la ventaja es la utilidad que se le da a la energía del sol, puesto que se utiliza energía natural lo cual puede generar un ahorro de dinero, los inconvenientes se dan cuando el granjero o productor de cacao debe permanecer en permanente cuidado ya que al estar extendido en el suelo pueden presentarse insectos u otros tipos de contaminantes los mismos que podrían dar origen a ciertas adulteraciones en el cacao o percances irreversibles, del mismo modo sería los climas eventuales puesto que no siempre existirán días de sol.



Figura 3.9 Secado natural de cacao [14].

3.4.3 Secado natural en tendales (esterillas)

El secado natural en tendales (esterillas) es un procedimiento en el cual el producto se esparce sobre un piso de concreto o de albañilería, con una ligera inclinación para facilitar el drenaje, o incluso sobre el asfalto de las carreteras, en una capa generalmente de 1 cm de espesor. El intercambio de energía y de humedad, entre el aire y el producto, queda limitado casi exclusivamente a la superficie de la capa de producto, por lo que es necesario revolver el grano periódicamente. El viento lleva la humedad perdida por el producto, a la capa de aire ubicada inmediatamente sobre él. Dos factores fundamentales para el secado de productos agrícolas son: la temperatura y la 50 humedad relativa del aire ambiente, pues el aire posee una capacidad máxima para evaporar humedad. La radiación solar genera energía térmica que provoca el calentamiento de los granos y el movimiento acelerado de la humedad, el flujo se da desde el interior hacia la

superficie de los granos, facilitando el secado. El uso tendales para el secado de granos de cacao está muy extendido en nuestro país y alrededor del mundo, por las facilidades que presenta y su funcionamiento. El inconveniente que presenta es la utilización de mano de obra, ya que determinado tiempo se debe permanecer mezclando para obtener un secado óptimo en el cual la semilla no pierda sus propiedades y sus características.



Figura 3.10 Secado natural en tendales [15].

3.4.4 Secado natural tipo Elba

Es uno de los métodos tradicionales más frecuentemente empleados para centros de acopio y beneficios que manejan volúmenes grandes de producción. Consiste en varias camillas de madera corredizas mediante rodamientos y rieles, protegidos con cubierta fija o rodante, que permite una sencilla manipulación al abrir o cerrar el techo en horas de la tarde. Para conveniencia del secado, se puede instaurar una cimentación que tenga un cuarto fermentador y a la vez una sección donde van los carros de madera que se sacan o guardan rodando según lo requiera la manifestación de sol o lluvia. En estas gavetas, los granos de cacao se deben disponer en capas de 5 cm y se pueden secar de 20 a 30 kg por metro cuadrado.



Figura 3.11 Secado natural tipo Elba [16].

3.4.5 Secado a la sombra

Este proceso a pesar de ser químicamente complejo, su forma de fermentación es sencilla, se realiza en contenedores de madera construidas substancialmente y cubiertas por hojas de banano. Gran cantidad de calor generada es conservada por la aislación, sin embargo, esto es más dificultoso con pequeñas cantidades de semillas ya que debe haber existir un mínimo aproximado de 90 kg que se requieren. El proceso puede ocupar de cinco a siete días para finalizar, dependiendo del tipo de cacao y la removida de al menos una vez para su correcta ventilación.

Mismo principio de secado en comparación al método de tendales donde se utiliza la radiación solar los cuales impactan directamente hacia los granos.



Figura 3.12 Secado a la sombra [17].

3.4.6 Secado tipo túnel con camas levantadas

Son estructuras en madera con cobertura de plástico que permite una continua radiación solar. Es una práctica realmente eficaz en el secado del cacao, ya que funciona con el principio de igualdad de temperatura en las masas de aire interna y externamente, manteniendo una aireación continua. En la parte interna del invernadero constantemente hay mayor temperatura, que el calor en el exterior, por este motivo, el aire se mueve desde el exterior hacia el interior así tratando de equiparar la temperatura y la densidad del ambiente.

Es de gran importancia controlar la aireación, la temperatura y la humedad relativa. Para esto es recomendable usar cortinas laterales en el invernadero, las mismas que deban abrirse o cerrarse según se lo amerite. Para la apropiada funcionalidad del invernadero, se debe tener en cuenta el conservar como mínimo 4 °C de diferencia entre la temperatura interna y la externa, la misma que se consigue con el aprovechamiento adecuado de las cortinas laterales de ventilación. La desventaja

radica en que, si las persianas llegan abrirse más de lo debido, es muy posible que las temperaturas respecto al interior como del exterior se igualen, por lo tanto, no hay ventilación y las semillas no llegan a secarse adecuadamente.



Figura 3.13 Secado tipo túnel con camas levantadas [18].

3.4.7 Secado artificial

Para este tipo de secado de cacao se utilizan distintas fuentes de energía, principalmente las generadas a partir de la combustión de hidrocarburos como lo es el gas natural, en el Ecuador se emplea en su mayor parte los secadores artificiales estacionarios. Enríquez [19], menciona algunos tipos de secadores artificiales: estufas, secadoras con leña, secadoras de combustión, secadoras eléctricas y la secadora de cacao tipo Samoa. Según el mismo autor, la mayor parte de la producción de cacao proviene de países en donde el secado es predominantemente natural, sin embargo en algunas regiones geográficas los períodos de cosecha coinciden con épocas de lluvia y humedad alta, en cuyo caso inevitablemente se recurre al secado artificial.

3.4.8 Secador con aire movido por convección natural

Este secador está formado por una cámara para equilibrar la temperatura del ambiente de secado; un intercambiador de energía substancial y otros quemadores complementarios; chimeneas para extraer los gases producto de la combustión; además de una entrada de aire; un mecanismo para asegurar el suelo perforado; un acceso de ingreso a la cámara de combustión; una puerta de reconocimiento de los intercambiadores de calentamiento y una habitación de distribución de los gases de combustión con control de escape de los mismos. En este tipo de secador se pueden deshidratar productos a granel de diferentes tipos de granos.

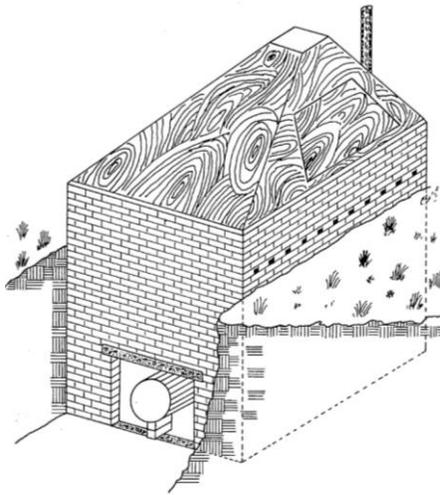


Figura 3.14 Secador con aire movido por convección natural [20].

3.4.9 Secador rotatorio

El secador rotatorio es altamente utilizado para secar productos granulados en la industria alimenticia, farmacéutica, mineral y de fertilizantes. Su desempeño está compuesto por tres factores: momento, transferencia de masa y transferencia de calor.

Durante el movimiento del secador, el aire tiende a ceder energía en forma de calidez hacia los sólidos, los mismos que están a menor temperatura y de esta manera producir la evaporación de la humedad superficial. El volumen de agua evaporada sale de las partículas es causado debido a una desproporción de presiones parciales de vapor y es arrastrada por la corriente de aire, incrementando su humedad absoluta y relativa; el intercambio evidente de energía es nulo, ya que la misma energía que cede el aire para la vaporización es devuelta hacia él a manera de vapor de agua, así se obtiene un procedimiento en el cual la entalpía de entrada de aire es equivalente a su entalpía de salida. Las pérdidas de calor hacia el ambiente se suponen depreciables.

Desventaja: El deterioro mecánico provocado por el desgaste hace que este sistema solamente resulte aplicable para determinados productos.



Figura 3.15 Secador rotatorio [21].

3.4.10 Secadores de columna

Este tipo de secador usa una estructura ordinaria son dos columnas que rodean una cámara de cámaras. Múltiples secadores por grupos de manera circular del mismo modo están disponibles, el aire cálido es forzado en el plenario de una unificación de calentamiento por un ventilador circula en medio de las columnas llenas de semillas y lo seca. La capacidad de los secadores por grupos varía de acuerdo con la estructura y las altas temperaturas y tasas de fluidez de aire; la secuencia de funcionamiento típica es de relleno-seco-frío-descarga. El tiempo para un grupo varía, sin embargo, un promedio de secado puede ser de dos a tres horas por grupo, puede añadirse un instrumento de recirculación a algunos, lo que tiene la efectividad de disminuir la variabilidad de humedad en la columna de la secadora. En algunos cultivos, se puede utilizar una temperatura demasiado elevada con un secador de recirculación por grupos. Sus ventajas son: que no ocupa espacio de almacenaje de semilla y las unidades portátiles se pueden trasladar de un sitio a otro.

Desventajas: no garantizan una consistencia tan satisfactoria ya que en las columnas los granos que están más adyacentes en contacto con el revestimiento que recibe el aire caliente, se deshidratan excesivamente, mientras que los que están en contacto con el revestimiento del otro extremo, no llegan a secarse apropiadamente. Existe la posibilidad que las semillas que ingresan a la maquinaria con 18% de humedad, al finalizar el proceso tengan una humedad promedio de 14%, no obstante, si se pudiera comprobar la humedad de granos individuales muchos tendrían 17% de humedad y otras semillas estén sobre secadas de 8 a 9%; las primeras semillas pueden generar problemas posteriores de preservación, y las segundas habrán perdido gran cantidad de sus propiedades.



Figura 3.16 Secadores de columna [22].

3.4.11 Secadores de flujos cruzados

Se caracterizan debido a que el aire atraviesa de forma perpendicular al bulto de semillas, que desciende lentamente entre dos láminas o placas perforadas. En este secador normalmente el fruto que está en contacto con la exterioridad de la lámina atravesada, al mismo tiempo está en contacto con la brisa de deshidratación, tiende a experimentar sobre recalentamiento y secado desproporcionado, en comparación con los granos próximos a la salida del aire de la pilastra pueden mantenerse húmedos, dependiendo de la temperatura y fluidez de aire que se emplean en el secador, si la desproporción del contenido de humedad de la semilla es demasiado grande, pueden producirse problemas en la preservación del producto en el transcurso del almacenamiento.

Desventajas: el tiempo que tarda la semilla en cruzar por medio de la secadora es demasiado limitado de 15 a 20 minutos, lo que significa que la disminución de humedad a cada instante es muy rápida y puede generar problemas en los granos que son sensibles al calor. La verificación de la temperatura de secado exige máxima atención de parte del operario ya que el producto que está adyacente con la lámina interna cerca al ingreso del aire caliente, está expuesta a un aire sumamente brusco y a temperaturas mayores.

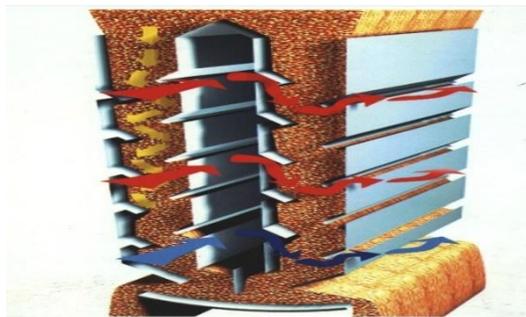


Figura 3.17 Secadores de flujos cruzados [23].

3.4.12 Secadoras tipo canaleta

Están formadas por un conjunto de canaletas en modo de "V" invertida, situadas en líneas alternadas o cruzadas, a distancias de alrededor 0.3 metros. Las semillas se deslizan hacia abajo por intervención de la fuerza de gravitación, sobre las canaletas invertidas. El tiempo que tarda en atravesar la semilla por la torre es mucho más que en el de columna, debido a que el tiempo de contención puede ser entre 30 a 45 minutos o más, el aire para la deshidratación entra mediante un grupo de canaletas y sale por una serie de canalizaciones tanto superior e inferior, las semillas se mueven tanto en sentido paralelo como en contra corriente al aire.

El producto llega al sistema de descarga con un contenido de humedad uniforme ya que se mezclan en forma eficiente durante el proceso. Cuando se reduce el flujo del producto en el secador, porque se está secando un producto muy húmedo en un solo paso, por lo general el secado no es uniforme. Se considera que ésta es la razón para limitar la reducción de nivel de humedad de un producto en 5 por ciento para cada paso por el secador.

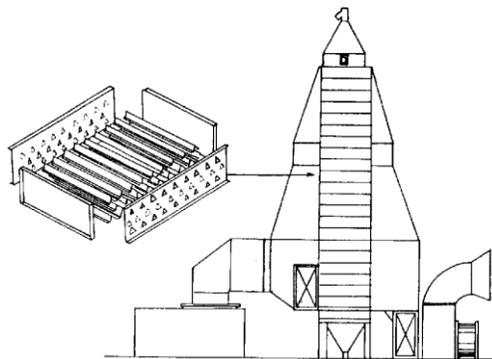


Figura 3.18 Secadoras tipo canaleta [24].

3.4.13 Secado híbrido (GLP y energía solar)

La efectividad del secador híbrido tras el primer día se evidencia de manera ascendente, esto se debe a hay un periodo moderado en el cual el producto alimenticio se adapta a las disposiciones de temperatura por lo que al comienzo pierde escasamente la humedad y se refleja en mínima efectividad. La eficiencia más importante registrada fue de 71% y posteriormente fue disminuyendo gradualmente en el segundo día hasta 13% en vista de que, en el segundo día, el contenido de humedad sobrante en el alimento es agua inherente, requiriendo más energía y tiempo para evaporar el agua.

La efectividad en actividad solar indirecta se contempla que la eliminación de humedad se desempeña en forma lenta con un tiempo de 27 horas, este tiempo se debe a que la temperatura mantuvo en un intervalo de 35-44°C. Una baja velocidad en la disminución de humedad con relación al tiempo ocasiona que la efectividad de secado se coloque en un rango promedio del 20%, esto produce la baja calidad del producto ligado al desarrollo microbiano y tiempos largos de deshidratación.

En el secado con gas-LP la eficiencia de secado es mayor que en los dos casos anteriores pues la energía proveniente de la combustión de gas-LP proporciona energía suficiente y continua para mantener la cámara de secado en un promedio de 55°C lo cual es conveniente para incrementar la velocidad de secado respecto a los modos de operación híbrido y solar. Se observa que en secado con gas-LP como en el híbrido muestran un comportamiento similar con respecto a la velocidad de secado teniendo periodos de velocidad de secado constante con valores de 0.031 y 0.030 (kg agua/kg min) respectivamente en un rango de humedad del 94 al 44%.



Figura 3.19 Secado híbrido (GLP y energía solar) [25].

3.4.14 Secador cilíndrico vertical

Permite alcanzar la deshidratación del cacao en el menor tiempo permisible y se diferencia en el manejo de la semilla con la utilización de elementos y mecanismos en un procedimiento mecánico. Su diseño para el procedimiento de secado da como resultado un mecanismo de elevado rendimiento sin alterar su condición. La secadora dispone de: plataforma propia para utilización del calor, diseño con materiales de acero inoxidable alimenticio, consta además con puertas para el vaciado del producto. Los sistemas que se van a considerar para realizar el proceso están basados en el calentamiento y ventilación [26].



Figura 3.20 Secador cilíndrico vertical [26].

3.4.15 Secador rectangular

Sumamente utilizada por los productores de cacao debido a su tiempo de secado y eficacia de energía, el manejo de la semilla se lo realiza manualmente, por medio de palas de madera, el diseño de la secadora tiene un buen resultado de productividad, consta de una cámara de secado en la extremo inferior , el material para su ensamble es de acero inoxidable para alimentos, hay un control de llama para regularizar la temperatura, el combustible para la máquina que se suele utilizar es el GLP, además consta de compuerta para la descontaminación del producto. Minimiza el tiempo de secado sin perder las características físicas del producto. El porcentaje de humedad al cual se puede reducir es del 7%, gracias al intercambiador de calor. Ahorra hasta un 10% de competitividad humana en el proceso de secado del producto.



Figura 3.21 Secador rectangular [27].

3.5 CALENTADORES DE AIRE

Son idóneos para calentar flujos de aire a baja carga mediante calor por convección. En entornos fríos y húmedos, la temperatura del aire que fluye por el ducto disminuirá gradualmente al estar en contacto con la pared del mismo. En este caso, es útil para proporcionar el calor requerido para calentar la estructura. El diseño simplificado y la accesibilidad de implementación de un calentador de ducto de aire son las principales características.

3.5.1 Dispensor de gas

Es una estructura que se compone de 5 tubos de 1.60m de largo y con una separación de 0.25m entre cada abertura o cicatriz; la misma que permite una mejor distribución de temperatura en la cámara de secado, evitando que exista zonas con menor temperatura.

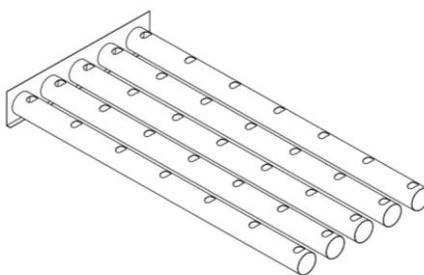


Figura 3.22 Dispensor de gas.

3.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SECADORES PARA EL CACAO

Después de haber investigado en fuentes bibliográficas se conocen los diferentes métodos de secado y se debe tomar en cuenta ventajas y desventajas para realizar selección del modelo adecuado en que el desarrollo no tenga inconvenientes con el secado uniforme que se necesita y brinde resultados exitosos para la propuesta planteada.

Tabla 3.3 Secado natural.

Secado natural	
Ventajas	Desventajas
Homogeneidad del secado	Necesita una rigurosa fase de fermentación
Categorización de las semillas de cacao	Peligro de exposición a contaminantes ambientales

No requiere de fuentes de energía	Mayor tiempo de deshidratación
Mejor comprobación de calidad	Se expone a hongos por no cumplir con la proporción de saturación requerida

Tabla 3.4 Secado artificial.

Secado artificial	
Ventajas	Desventajas
Reducir el tiempo de secado	Uso de combustibles fósiles
Mejora del porcentaje de las semillas secadas	Precio elevado en su implementación
No depende de la etapa atmosférica	Ligeramente contaminante
Ciclo de fermentación modesto	No contiene una observación acertada de factores químicos y físicos de las semillas de cacao para que estas tengan una excelente calidad del producto
Selección en tipos de secadores	

Tabla 3.5 Tipos de secadoras de cacao.

N°	Tipos de secadores de cacao	Características
1	Secador Solar	Proceso técnicamente sencillo
		Muy bajo coste de implementación y mantenimiento
		No Requiere mano de obra especializada
		No hace uso de combustible
2	Secador Rotatorio	Exceso de combustible GLP (gas licuado de petróleo)
		Alto rendimiento de temperatura excesiva
		Es una máquina de gran dimensión de forma giratoria para el secado
		Alto costo de implementación
3	Secador de Bandejas	Temperaturas elevadas
		El flujo del aire interno con temperaturas graduales
		Utilizan bandejas perforadas para el secado
		Medio grado de automatización para el control del aire que circula en el interior
		Aumento de producción del producto
4	Secador con Removedor	Circulación de aire forzado
		Control de temperaturas entre 50 a 60 °C
		Elevado grado de automatización para girar el producto
		Máquina eficiente para el secado
		Alto costo de implementación
		Paletas de remoción

5	Secador Híbrido	Máquina extremadamente costosa
		Alta eficiencia en el producto de cacao
		Genera energía por radiación solar para el secado de cacao
		Lleva implementado un colector solar de fuente primaria
		Mejor Garantía electrónica para el secado de manera rápida
		Elevado grado de automatización
		Circulación de aire forzada
6	Secadora Rectangular	Máquina costosa
		El diseño de la secadora da un buen resultado de productividad
		Sumamente utilizada por los productores de cacao debido a su tiempo de secado y eficacia de energía
		La máquina consta de una cámara de secado en la parte inferior
		Control de temperaturas entre 50 a 60 °C

Tabla 3.6 Tipos de secadoras de cacao.

		Tipo de secador					
		Secador por energía solar	Secador rotativo	Secador intermitente	Secador híbrido	Secador cilíndrico vertical	Secador rectangular
CARACTERÍSTICAS	Uso de energía	2	3	3	3	3	3
	Costo de fabricación	2	2	1	1	1	2
	Costo de operación	1	1	1	2	2	2
	Tiempo de secado	1	2	2	3	2	3
	Mantenimiento	2	1	2	2	2	2
	Total	8	9	9	11	10	12

Ponderación: (1) Malo, (2) Regular, (3) Bueno

3.7 ANÁLISIS COMPARATIVO DE ENERGÍA

Para el procedimiento de secado rectangular es fundamental cumplir con la selección de energía que va a ejecutar la dinámica necesaria en el desarrollo y para esto se debe contemplar ventajas y desventajas de los métodos de energía que sobresalgan y tenga un escaso impacto para el medio ambiente vinculado en favorecer de excelente manera al procedimiento de secado en el proceso actual.

Tabla 3.7 Características de Métodos de Generación de Calor [28].

Método de energía	Ventajas	Desventajas
Energía eléctrica	Energía segura	Alto costo de implementación
	Vida útil prolongada	Consumo elevado de energía
GLP	Alto Poder Calorífico	Requiere mantenimiento constante
	Bajo costo	Tendencia de baja disponibilidad
	Costo de implementación moderado	Requiere conocimiento Técnico para combustión óptima
Energía solar obtenida por un colector solar plano	Su instalación es sencilla y rápida	Elementos sensibles
	Amigable con el medio ambiente	Exposición directa a cambios climáticos
	Ahorro de energía en base a derivados de petróleo	

Teniendo en cuenta las variedades del secado de cacao y dando un fomento a las ventajas y desventajas de los tipos de secado como el secado natural y el secado artificial, se concluye en escoger un diseño en que se pueda manejar una habilidad más acertada y teniendo en cuenta el grado en el que se pueda verificar distintas variables, las semillas deben adquirir un grado homogéneo de secado. El secado artificial es una óptima elección tomando un argumento de la secadora rectangular al poseer una fuente de energía compensatoria el GLP y esta última pueda brindar un sustento y complementar la cantidad de energía necesaria para que el procedimiento tenga una actividad constante. Dando una característica de eficacia al secado que ayudará con el manejo de variables establecidas en la propuesta planteada.

3.8 DISPOSITIVOS PARA CONTROLAR LOS PARÁMETROS DE SECADO

3.8.1 Variador de frecuencia sinamics V20

Son dispositivos compactos ideales para soluciones estándar en la automatización de procesos. Disponibles en seis tamaños y un rango de potencia de 0,12 kW a 15 kW, aportan robustez, facilidad de uso, ahorro y eficiencia energética. Diferentes posibilidades de instalación y conexión facilitan la puesta en marcha.

El módulo opcional servidor web Sinamics V20 Smart Access permite simplificar la configuración y el diagnóstico. Su punto de acceso integrado posibilita la conexión inalámbrica con diferentes dispositivos móviles [33].



Figura 3.23 Variador de frecuencia Sinamics V20 [33].

3.8.2 Sensor MAF

El sensor MAF internamente funciona mediante un hilo fino metálico el cual se encuentra a muy alta temperatura, al momento que comienza a ingresar el viento se enfría el alambre y las cargas cambiantes de aire causan un resultado disparado sobre la temperatura del alambre, dicho sensor puede medir el flujo y masa de aire, trabaja con un mecanismo conocido como flujómetro, el cual, mide el desplazamiento volumétrico del viento [34].



Figura 3.24 Sensor MAF [34].

3.8.3 Celda de carga tipo S

Celda de carga tipo S son sensores de fuerza que miden la tensión y la compresión, las celdas de carga de vigas en S son conocidas por su rendimiento y versatilidad. Se pueden conectar a una variedad de amplificadores de celda de carga, es un transductor que convierte la fuerza aplicada sobre ella en una señal eléctrica medible, A pesar de existir varios tipos de sensores, las células de carga son el sensor de fuerza más común del mercado [35].



Figura 3.25 Celda de carga tipo S [35].

3.8.4 Sumador de celdas de carga

La caja sumadora de interconexión de celdas de cargas es el mecanismo de interconexión que une las celdas de carga, al sumar las señales analógicas de cada celda y enviando esta señal al indicador de peso. Una caja sumadora para celdas de carga y sensores de fuerza se emplea para sumar o unificar fuerzas, cuando se cuenta con diferentes puntos de medida dispersos.



Figura 3.26 Sumador de celdas de carga [36].

3.8.5 Termocuplas

Consiste en dos metales distintos, unidos en sus extremos y conectados a un termómetro termopar u otro dispositivo capaz de termopar, forman un circuito cerrado que genera una fuerza electromotriz cuando las dos juntas (T1 y T2) se mantienen a diferentes temperaturas.



Figura 3.27 Termocuplas.

3.8.6 Transmisores de temperatura RTD PT100

Es un sensor de temperatura en el que la resistencia depende de la temperatura, cuando varía la temperatura, cambia la resistencia del sensor. Por tanto, utilizando un sensor RTD y midiendo su resistencia es posible medir la temperatura. Los sensores RTD suelen estar fabricados en platino, cobre, aleaciones de níquel u otros óxidos metálicos.



Figura 3.28 Transmisores de temperatura RTD PT100 [37].

4. METODOLOGÍA

4.1 MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

4.1.1 Variables dependientes

Variables encargadas del propósito de la propuesta tecnológica.

Tabla 4.1 Variables dependientes.

Variables	Especificación	Unidad de medición	Proceso	Dispositivo
Tiempo de secado	Tiempo en el proceso de secado	S	Medición	Cronómetro
Consumo de energía térmica	Energía utilizada en el proceso de secado	kW	Medición	Cronómetro

4.1.2 Variables independientes

Variables que influyen de manera directa en el progreso de la propuesta tecnológica.

Tabla 4.2 Variables independientes.

Variables	Especificación	Unidad de medición	Proceso	Dispositivo
Masa a deshidratar	Proporción de cacao al 75% de humedad	kilogramo	Medición	Báscula, Celda de peso tipo S.
Temperatura de secado	Temperatura constante en el procedimiento para no alterar las cualidades del cacao	Grados Celsius (°C)	Medición	Termocupla RTD, Piranómetro

Humedad	Porcentaje de agua que se va apartar del grano durante el proceso de secado	Porcentaje %	Medición	Medidor de humedad de grano
---------	---	--------------	----------	-----------------------------

4.2 METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA CÁMARA DE SECADO

4.2.1 Características técnicas de secado

Con el conocimiento planteado previamente y habiendo revisado diferentes documentos relacionados con el secado de cacao y sus características técnicas que se debe considerar para la implementación del prototipo experimental de secado de cacao, dando énfasis a las variables planteadas con antelación para brindar las soluciones pertinentes.

Tabla 4.3 Criterios técnicos para la funcionalidad de la máquina [29].

N°	Criterio	Valor
1	Temperatura del aire para el proceso	Máximo (60-70) °C
2	Humedad de inicio del producto	Aproximadamente 60-70%
3	Hum. final del producto	(7 a10) % entre $\pm 2\%$
4	Velocidad del aire para el proceso	(0.3 a 3) m/s
5	Sustancia anticorrosiva	Superior a 70%

4.2.2 Propiedades de la semilla de cacao

Para los cálculos de balance térmico y pérdidas de calor del secado de cacao es necesario diferentes propiedades físicas y térmicas de las semillas de cacao.

Tabla 4.4 Criterios técnicos para la funcionalidad de la máquina [28].

Producto	Permeabilidad	Densidad aparente (kg/m³)	Calor específico (J/kg. K)	Conductividad térmica (W/m. K)	Difusividad térmica (m³/h)
Cacao	0.56	520	1728	0.18	0.000721

4.3 PROCESO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA CÁMARA DE SECADO

Cálculo del volumen de cacao por cada lote

Para el diseño se establece la cantidad de **100 kg** de cacao húmedo para el proceso de secado, se estima el volumen total a secar del contener o tolva mediante la densidad del grano de cacao seco

$$V_c = \frac{m_c}{\rho_c} \quad (4.1)$$

Cálculo de la masa seca del cacao

$$m_s = m_c(1 - \%_{humid}) \quad (4.2)$$

El porcentaje de humedad inicial de la masa de cacao tiende a estar entre 60-70% dependiendo de su fermentación, para el caso de estudio se tomará en cuenta una humedad del 65%.

Estimación de la masa con la humedad requerida (7%)

Para la verificación de la humedad final de la semilla de cacao se resalta que no debe hallarse completamente seca por motivos de calidad, por ende, la humedad requerida es de 7%

$$m_{7\%} = \left(\frac{m_s}{1 - 0.07} \right) \quad (4.3)$$

El procedimiento de secado se desarrolla mediante aire caliente, por motivo que se debe establecer el área donde se va a implementar el secador debido a que las situaciones climáticas afectaran de cierto modo al secado de las semillas de cacao para ello se establece lo siguiente:

Psicrometría de Latacunga

Ubicación: Latacunga

Temperatura ambiente: 20-22 °C

Altitud: 2860 m

La Humedad relativa: 85° Mediante los siguientes parámetros generales se establece la carta psicrométrica de Latacunga, permitiendo mostrar ciertas características y/o propiedades del aire, como por ejemplo temperatura, humedad relativa, volumen, presión, etc. Las cartas psicrométricas se utilizan para establecer, cómo varían estas propiedades al reemplazar la humedad en el aire. Para la comprobación de los datos se realiza por intermedio de un software en línea CartaPsy [30].

Psicrometría		
Datos		
Unidades:	<input checked="" type="radio"/> SI	<input type="radio"/> Ing.
Parámetros	Valor	Unidad
Temperatura:	22	C
Temp. b. húmedo:	<input type="radio"/> 19.9833971612	<input type="radio"/> C
Humedad relativa:	<input checked="" type="radio"/> 85	<input type="radio"/> %
Punto de rocío	<input type="radio"/> 19.3825539958	<input type="radio"/> C
Altitud SNM	2860	m
Resultados		
Presión Atmosférica	0.70852757668	bar
Pv sat	26.4474645649	mbar
Pv	22.4803448802	mbar
Humedad absoluta	0.02038164993	kg/kg
Entalpía	73.9010518398	kJ/kg
Volumen		

Figura 4.1 Psicrometría de Latacunga [30].

Tabla 4.5 Valores psicrométricos del aire en la ciudad de Latacunga [30].

Especificación	Cantidad	Unidad de medición
Presión atmosférica	70.85	kPa
Hum. relativa (HR)	85	%
Presión del vapor de saturación (Pv sat.)	26.44	kPa
Presión de vapor de agua (Pv)	22.48	kPa
Hum. absoluta (HA)	0.020	kg agua/kg aire
Entalpía (h)	73.9	kJ/kg
Volumen específico (Vesp)	1.04	m ³ /kg

Cálculo de la Densidad del aire seco en el sitio de estudio

(4.4)

$$\rho_{sec} = \frac{1}{v_{esp}}$$

Se conoce como humedad crítica de un sólido al sitio en el que la actividad de secado deja de ser continuo y empieza a ser descendente, a estos períodos de secado se los llama anticrítico y postcrítico. La humedad de equilibrio se refiere al coste de humedad que se alcanza cuando un sólido húmedo se pone en relación con aire a ciertos valores como es la temperatura y humedad constantes. Cuando la presión parcial del agua en el sólido húmedo es semejante a la presión de vapor del agua contenida en el aire se alcanzan las disposiciones de estabilización.

Cálculo de la velocidad másica del aire de secado

La duración de secado es un parámetro fundamental para delimitar la eficacia de la máquina secadora debido a que se puede mostrar un promedio de duración para conseguir el secado del cacao a la humedad adecuada.

Considerando:

Velocidades del aire de secado: Debe estar en un rango de 0.3 – 3 m/s

Por lo expuesto se establece el aire para el ingreso en el contenedor será de: $V_s = 2.5$ m/s

Mediante los datos expuestos se obtiene:

$$G = 3600s \cdot V_s \cdot \rho_{sec} \quad (4.5)$$

Cálculo del Número de Reynolds

Las propiedades del aire se pueden localizar en la tabla A-15 del “libro transferencia de calor y masa” a temperatura de 70°C.

El diseño del ducto es rectangular por tanto se procede a calcular el diámetro interior, para lo cual se ocupa la siguiente fórmula $D = \frac{4(a \cdot b)}{2(a+b)}$; por tanto la Altura: $a = 16\text{cm} = 0.16\text{m}$ y Base: $b = 80\text{cm} = 0.8\text{m}$, como resultado nuestro diámetro interior del ducto viene a ser de 0.267m.

$$Re = \frac{\rho \cdot D \cdot v}{\mu} \quad (4.6)$$

Cálculo del Número de Nusselt

$$Nu = 0.023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \quad (4.7)$$

Coefficiente de convección para un flujo de aire perpendicular a la superficie de contacto con el cacao

$$h_{conv} = 0.0735 \cdot G^{0.8} \quad (4.8)$$

4.4 METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DEL SISTEMA DE QUEMADOR

Con los cálculos pertinentes se determinará las pérdidas de calor generadas en el interior de la cámara de secado, los mismos que nos permitirán seleccionar el sistema de quemador apropiado.

Cálculo de velocidad de secado por unidad de tiempo de manera constante (Rc)

$$R_c = h_{cov} \cdot \frac{T_{sec} - T_g}{H_{fg}} \quad (4.9)$$

La temperatura de bulbo húmedo es un tipo de cálculo de temperatura que refleja las propiedades físicas de un método que consiste en la evaporación del agua en el aire. La evaporación consume calor para proceder, provocando refrescamiento, a régimen que las moléculas de superior energía escapan (evaporan) y las que quedan tienen una mínima energía cinética promedio, la temperatura del líquido disminuye.

Cálculo del Área de la cama de secado

$$A_s = b \cdot a \quad (4.10)$$

Altura: a = 80cm = 0.8m ; **Base:** b = 160cm = 1.6m

Cálculo del Tiempo de secado a velocidad constante

$$t_c = \frac{m_s \cdot (X_i - X_c)}{A_s \cdot R_c} \quad (4.11)$$

Cálculo del Balance de energía calorífica

Sirve para obtener un apreciado de la cantidad de calor fundamental para el procedimiento de secado del cacao al total de estudio, para ello es indispensable ejecutar el cálculo del calor: sensible de la semilla de cacao, sensible del agua, latente del agua, sensible del contenedor.

Cálculo del Calor sensible de la semilla de cacao

Esto se refiere al calor que recibe los granos de cacao para la alteración de temperatura incluso conseguir sus parámetros de humedad y temperatura deseados.

$$Q_c = m_s \cdot cp_c \cdot \Delta T_c \quad (4.12)$$

Calor sensible del agua

El calor específico cambia según varía la temperatura por lo tanto se debe tener en cuenta para el calor sensible del agua. Por lo mencionado se determina la temperatura promedio que alcanza el proceso [31].

$$Q_{H2O} = m_{H2O} \cdot cp_{H2O} * \Delta T \quad (4.13)$$

Calor latente

Calidez imprescindible para que el agua cambie de etapa (líquido a vapor), a lo largo del proceso, para ello se toma en consideración el porcentaje de agua que se evapora [32].

$$Q_L = m_{vapor} \cdot H_L \quad (4.14)$$

Masa de la plancha perforada de acero inoxidable

El calor sensible que se genera en pie de la cámara de la plancha inoxidable perforado al existir una aproximación con los granos de cacao así mismo sufre un cambio de temperatura. Por lo tanto, se tiene.

El diámetro de la plancha es de 1.07m.

$$m_{base\ cam} = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \rho_{inox} \cdot e_p \quad (4.15)$$

Cálculo del calor sensible de la cámara

$$Q_{plancha} = m_{base\ cam} \cdot cp_{inox} \cdot \Delta T \quad (4.16)$$

Cálculo del Calor total

$$Q_{\acute{u}til} = Q_{plancha} + Q_L + Q_{H_2O} + Q_c \quad (4.17)$$

Cálculo de la potencia por calor útil en el proceso de secado.

Para obtener la potencia por calor útil se relaciona el calor útil y el tiempo de secado determinado, para realizar este cálculo debemos transformar el tiempo de secado obtenido en horas a segundos.

$$\dot{Q}_{\acute{u}til} = \frac{Q_{\acute{u}til}}{t_c} \quad (4.18)$$

Pérdidas de calor por convección en el exterior (Temperatura ambiente 20°C)

El flujo de aire se traslada de forma paralela al exterior de la pared rectangular, esto a la entrada del flujo de aire caliente mediante el pie perforada de la plancha inoxidable de esta manera el coeficiente de convección para este acontecimiento es:

Los valores para este acontecimiento se obtienen de la tabla A-15 del libro Transferencia de calor y masa – Cengel 3th. los valores con los cuales se trabaja son a una temperatura ambiente (20°C)

Cálculo del Número de Reynolds

Temperatura exterior = 20°C

$$Re = \frac{\rho \cdot D \cdot v}{\mu} \quad (4.19)$$

Cálculo del número de Nusselt

$$Nu = \frac{hD}{k} = 0.3 + \frac{0.62Re^{1/2}Pr^{1/3}}{\left[1 + \left(\frac{0.4}{Pr}\right)^{2/3}\right]^{1/4}} \left[1 + \left(\frac{Re}{282000}\right)^{5/8}\right]^{4/5} \quad (4.20)$$

Coefficiente del coeficiente de convección en el exterior

$$h_{conv} = \frac{k}{D} \cdot Nu \quad (4.21)$$

Cálculo del Calor sensible

$$Q = hA(T_{S\ prome} - T_{\infty}) \quad (4.22)$$

CÁLCULOS DEL CIRCUITO DE RESISTENCIAS TÉRMICAS

Para este cálculo se evaluará las resistencias existentes como son de: convección y conducción, en las paredes de la cámara de secado, la resistencia total se obtendrá sumando las resistencias que existen en las paredes.

Cálculo de la pared 1 (Puerta)

$$R_e = \frac{V.L}{V_g} \quad (4.23)$$

$$Nu = 0.664Re^{\frac{1}{2}}.Pr^{1/3} \quad (4.24)$$

$$h_1 = \frac{Nu.k}{L} \quad (4.25)$$

$$R_{conv1} = \frac{1}{h_1.A} \quad (4.26)$$

$$R_{cond1} = \frac{L}{k_1.A} \quad (4.27)$$

$$R_{cond2} = \frac{L}{k_2.A} \quad (4.28)$$

$$R_{cond3} = \frac{L}{k_3.A} \quad (4.29)$$

$$R_{T1} = (R_{conv1} + R_{cond1} + R_{cond2} + R_{cond3}) \quad (4.30)$$

Cálculo de la pared 2

$$R_e = \frac{V \cdot L}{V_g} \quad (4.31)$$

$$Nu = 0.664 Re^{\frac{1}{2}} \cdot Pr^{1/3} \quad (4.32)$$

$$h_1 = \frac{Nu \cdot k}{L} \quad (4.33)$$

$$R_{conv1} = \frac{1}{h_1 \cdot A} \quad (4.34)$$

$$R_{cond1} = \frac{L}{k_1 \cdot A} \quad (4.35)$$

$$R_{cond2} = \frac{L}{k_2 \cdot A} \quad (4.36)$$

$$R_{cond3} = \frac{L}{k_3 \cdot A} \quad (4.37)$$

$$R_{T2} = (R_{conv1} + R_{cond1} + R_{cond2} + R_{cond3}) \quad (4.38)$$

Cálculo de la pared 3

$$R_e = \frac{V \cdot L}{V_g} \quad (4.39)$$

$$Nu = 0.664 Re^{\frac{1}{2}} \cdot Pr^{1/3} \quad (4.40)$$

$$h_1 = \frac{Nu \cdot k}{L} \quad (4.41)$$

$$R_{conv1} = \frac{1}{h_1 \cdot A} \quad (4.42)$$

$$R_{cond1} = \frac{L}{k_1 \cdot A} \quad (4.43)$$

$$R_{cond2} = \frac{L}{k_2 \cdot A} \quad (4.44)$$

$$R_{cond3} = \frac{L}{k_3 \cdot A} \quad (4.45)$$

$$R_{T3} = (R_{conv1} + R_{cond1} + R_{cond2} + R_{cond3}) \quad (4.46)$$

Cálculo de la pared 4

$$R_e = \frac{V \cdot L}{V_g} \quad (4.47)$$

$$Nu = 0.664 Re^{\frac{1}{2}} \cdot Pr^{1/3} \quad (4.48)$$

$$h_1 = \frac{Nu \cdot k}{L} \quad (4.49)$$

$$R_{conv1} = \frac{1}{h_1 \cdot A} \quad (4.50)$$

$$R_{cond1} = \frac{L}{k_1 \cdot A} \quad (4.51)$$

$$R_{cond2} = \frac{L}{k_2 \cdot A} \quad (4.52)$$

$$R_{cond3} = \frac{L}{k_3 \cdot A} \quad (4.53)$$

$$R_{T4} = (R_{conv1} + R_{cond1} + R_{cond2} + R_{cond3}) \quad (4.54)$$

Cálculo de la parte inferior de la plancha

$$R_e = \frac{V \cdot L}{V_g} \quad (4.55)$$

$$Nu = 0.664 Re^{\frac{1}{2}} \cdot Pr^{1/3} \quad (4.56)$$

$$h_1 = \frac{Nu \cdot k}{L} \quad (4.57)$$

$$R_{conv1} = \frac{1}{h_1 \cdot A} \quad (4.58)$$

$$R_{cond1} = \frac{L}{k_1 \cdot A} \quad (4.59)$$

$$R_{cond2} = \frac{L}{k_2 \cdot A} \quad (4.60)$$

$$R_{T5} = (R_{conv1} + R_{cond1} + R_{cond2}) \quad (4.61)$$

Cálculo de la resistencia total de la estructura

$$R_T = R_{T1} + R_{T2} + R_{T3} + R_{T4} + R_{T5} \quad (4.62)$$

Razón de la transferencia de calor

Esta energía es la que se ha desperdiciado en la parte externa de la máquina.

$$Q = \frac{(T_{\infty 1} - T_{\infty 2})}{R_T} \quad (4.63)$$

4.5 METOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DEL VENTILADOR

Cálculo del volumen específico

$$v_1 = \frac{R_a \cdot T_1}{P_a} \quad (4.64)$$

Cálculo del flujo másico de entrada del cacao húmedo

$$\dot{m}_{cacao-humedo} = \frac{\text{masa de cacao}}{t_c} \quad (4.65)$$

Cálculo del flujo sólido

$$\dot{m}_{sin} = (1 - X_{in}) * \dot{m}_{cacao - húmedo} \quad (4.66)$$

Cálculo del porcentaje de agua a desprender

$$\dot{m}_g = \dot{m}_{cacao-humedo} - \dot{m}_{sin} \quad (4.67)$$

Cálculo del flujo másico a la entrada de humedad

$$\dot{m}_{cin} = X_{in} \cdot \dot{m}_{cacao-humedo} \quad (4.68)$$

Cálculo del flujo másico de agua a la salida del secador

$$\dot{m}_{w in} = \frac{\dot{m}_{sin} \cdot X_{out}}{1 - X_{out}} \quad (4.69)$$

Cálculo de la tasa de evaporación de agua

$$\Delta \dot{m}_{in} = \dot{m}_{cin} - \dot{m}_{w in} = \frac{\dot{m}_{sin} \cdot X_{out}}{1 - X_{out}} \quad (4.70)$$

Cálculo del flujo másico de aire para el secado de cacao

$$\dot{m}_a = \frac{\Delta \dot{m}_{in} \cdot h_{fg} \cdot \dot{m}_{cacao-humedo} \cdot C_{p_{cacao}} \cdot (T_{out} - T_{in})}{h_2 - h_1} \quad (4.71)$$

Cálculo del flujo volumétrico

$$\dot{V} = \dot{m}_a \cdot v_1 \quad (4.72)$$

4.6 CÁLCULO PARA EL DISPERSOR DE GAS

Cálculo del caudal de aire

$$Q_{aire} = \frac{\dot{V}}{Sección} \quad (4.73)$$

4.7 CÁLCULOS PARA LA PRUEBA EXPERIMENTAL CON MASA DE (42.2kg)

Cálculo del volumen de cacao por cada lote

$$V_c = \frac{m_c}{\rho_c} \quad (4.74)$$

Cálculo de la masa seca del cacao

$$m_s = m_c(1 - \%_{humid}) \quad (4.75)$$

Estimación de la Masa con la humedad requerida (7%)

$$m_{7\%} = \left(\frac{m_s}{1 - 0.07} \right) \quad (4.76)$$

Cálculo de la velocidad másica del aire para el proceso de secado

$$G = 3600s \cdot V_s \cdot \rho_{sec} \quad (4.77)$$

Cálculo del Número de Reynolds

$$Re = \frac{\rho \cdot D \cdot v}{\mu} \quad (4.78)$$

Cálculo del Número de Nusselt

$$Nu = 0.023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \quad (4.79)$$

Coefficiente de convección para un flujo de aire perpendicular a la superficie de contacto con el cacao

$$h_{conv} = 0.0735 \cdot G^{0.8} \quad (4.80)$$

Cálculo de la Velocidad de secado por unidad de tiempo de manera constante Rc

Bulbo húmedo = 20°C

$$R_c = h_{cov} \cdot \frac{T_{sec} - T_g}{H_{fg}} \quad (4.81)$$

Cálculo del Área de la cama de secado

$$A_s = b \cdot a \quad (4.82)$$

Velocidad de secado por unidad de tiempo de manera constante (Rc)

$$t_c = \frac{m_s \cdot (X_i - X_c)}{A_s \cdot R_c} \quad (4.83)$$

4.7 NOMENCLATURA

V_c = Volumen de cacao en el contenedor, [m³]

ρ_c = Densidad de la semilla de cacao, [kg/m³]

m_s = Masa seca de cacao, [kg]

m_c = Masa total del grano en el contenedor, [kg]

$\%_{humid}$ = Porcentaje de humedad inicial, [%]

$m_{7\%}$ = Masa total de cacao con humedad requerida al 7%

ρ_{sec} = Densidad del aire de secado, [kg/m³]

v_{esp} = Volumen específico del aire en el sitio de estudio, [m³/kg]

G = Velocidad másica del aire, [kg/m²·h]

3600s = Variable del tiempo, [s]

V_s = Velocidad de secado, [m/s]

R_e = Número de Reynolds, [Adimensional]

a = altura

b = base

ρ = Densidad del flujo, [kg/m³]

D = Diámetro interior, [m]

v = Velocidad del fluido, [m³/s]

μ = Viscosidad dinámica del fluido, [kg/m. s]

Nu = Nusselt de un cilindro, [Adimensional]

Pr = Número de Prandtl, [Adimensional]

h_{convec} = Coeficiente de convección para un flujo de aire de secado perpendicular, [W/m². K]

R_c = Velocidad de secado por unidad de tiempo de manera constante, [kg/m².h]

T_{sec} = Temperatura para el proceso de secado, [K]

T_g = Temperatura de las semillas de cacao en bulbo húmedo, [K]

H_{fg} = Calor latente de vaporización a temperatura de bulbo húmedo, [kJ/kg]

A_s = Área de secado [m²]

t_c = Tiempo de secado a velocidad constante [h]

X_i = Humedad de inicio del cacao, [%]

X_c = Humedad crítica del material en base seca, [%]

Q_c = Calor sensible de la semilla de cacao, [kJ]

Cp_c = Calor específico de la semilla de cacao, [J/ kg.K]

ΔT_c = Diferencia entre la temperatura inicial del cacao y la del proceso de secado, [K]

Q_{H_2O} = Calor sensible del agua, [kJ]

m_{H_2O} = Masa de agua a evaporarse, [kg]

cp_{H_2O} = Calor específico del agua, [kJ/ (kg.K)]

Q_L = Calor latente del agua, [kJ]

m_{vapor} = Masa de agua vaporizada, [kg]

H_L = Calor latente de vaporización del agua, [kJ/kg]

D = Diámetro de la plancha, [m]

$m_{base\ cam}$ = M. de la plancha perforada de acero inoxidable AISI 304, [kg]

ρ_{inox} = Densidad del acero inoxidable AISI 304, [kg/m³]

e_p = Espesor de la base de la cámara de secado, [m]

$Q_{plancha}$ = Calor sensible de la plancha en la base de acero inoxidable AISI 304, [kJ]

$m_{base\ cam}$ = Masa de la plancha perforada de acero inoxidable AISI 304, [kg]

Cp_{inox} = Calor específico del acero inoxidable, [J/(kg.K)]

ΔT = Variación de temperatura, [K]

$Q_{\acute{u}til}$ = Calor útil del proceso de secado, [kJ]

$\dot{Q}_{\acute{u}til}$ = Potencia necesaria para generar calor, [kW]

v_e = Velocidad del aire en el exterior [m/s]

h_{convec} = Coeficiente de transferencia de calor por convección, [W/m². K]

k = Conductividad térmica, [W/m. K]

A = Área de la superficie de la plancha, [m²]

T_{Sprome} = Temperatura promedio de la superficie, [K]

T_{∞} = Temperatura ambiente, [K]

V_g = Viscosidad cinemática, [m²/s]

L = Distancia del espesor, [m]

V = Velocidad requerida, [m/s]

R_{conv} = Resistencia de convección, [W/K]

R_{cond} = Resistencia de conducción, [W/K]

R_T = Resistencia total de las paredes del secador, [W/m². K]

Q = Razón de la transferencia de calor, [W]

$T_{\infty 1}$ = Temperatura en el interior, [K]

$T_{\infty 2}$ = Temperatura en el exterior, [K]

R_a = Constante del Gas 0.287 [kJ/kg. K]

T_1 = Temperatura ambiente [K]

P_a = Presión atmosférica [kJ]

v_1 = Volumen específico, [m³/kg]

$\dot{m}_{cacao-húmedo}$ = Flujo de cacao que ingresa a la cámara, [kg/s]

masa de cacao = Masa de cacao a secar, [kg]

\dot{m}_{sin} = Flujo sólido, [kg/s]

X_{in} = Porcentaje de humedad con la que el cacao entra a la cámara, [%]

\dot{m}_g = Flujo de vapor, [kg/s]

\dot{m}_{cin} = Flujo de entrada de cacao húmedo, [kg/s]

$\dot{m}_{w in}$ = Flujo másico de agua a la salida del secador, [kg/s]

X_{out} = Humedad final presente en el cacao, [%]

$\Delta\dot{m}_{in}$ = Tasa de evaporación de agua, [kg/s]

\dot{m}_a = Flujo másico de aire, [kg/s]

h_{fg} = Entalpia, [kJ/kg]

T_{out} = Temperatura salida, [K]

T_{in} = Temperatura entrada, [K]

h_2 = Humedad final de la semilla de cacao, [%]

h_1 = Humedad inicial de la semilla de cacao, [%]

\dot{V} = Flujo volumétrico, [m³/s]

\dot{m} = Flujo másico, [kg/s]

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El prototipo práctico secador de cacao rectangular con dispersor de gas tendrá una temperatura uniforme en toda la cama, que permitirá un apropiado proceso de secado durante un tiempo determinado, para las pruebas experimentales se lo realizo con una masa de cacao húmedo de una manera homogénea durante el intervalo de tiempo estimado. Se debe tener en cuenta los parámetros de trabajo a desempeñar del prototipo experimental secador de cacao, en referencia a la norma INEN NTE 176, para observar los parámetros necesarios se añadirá a continuación la siguiente tabla.

Tabla 5.1 Criterios técnicos para la funcionalidad de la máquina.

Parámetros	Cantidad	Disposición
Cantidad a secar	100kg	Cantidad mínima requerida
Humedad de inicio de la semilla de cacao	65%	Norma técnica INEN- NTE 176
Humedad final de la semilla del cacao	7% ± 2	Norma técnica INEN- NTE 176
Temperatura del proceso de secado	60-70°C	Norma técnica INEN- NTE 176
Tiempo del proceso de secado	6.87 horas	Depende de la cantidad de materia prima

5.1 SELECCIÓN DE MATERIALES

En la selección de materiales ideales para la materialización de la máquina, se tuvo que adquirir en balance factores que puedan garantizar el diseño del secador experimental de cacao para los cuales destacan, el contacto inmediato con la materia prima, el clima y el entorno de construcción.

5.1.1 Cámara de secado

Por las razones mencionada en la cámara de secado se opta por elegir planchas de acero inoxidable AISI 304 especialmente diseñado para el manejo de alimentos y la prudencia que se debe de mantener con los mismos, asimismo se optó por una capa de lana de roca con un espesor de 0.3m para evitar pérdidas mayores de temperatura y por último se contará con una plancha perforada de acero inoxidable para el contorno de la cama.

5.1.2 Dispensor de gas

Se tiene también un dispensor de gas en el cual se utilizará planchas de acero inoxidable AISI 304, la misma plancha se utiliza para diseñar cinco tubos de 4", también contará con un recubrimiento de silicona térmica para poder sellar todas las pérdidas de temperatura con el cual se preservará el calor generado para aprovecharlo al máximo.

5.1.3 Controlador de temperatura

Para el controlador de temperatura se optó por seleccionar directamente de las múltiples variantes que se encuentra en el mercado industrial el cual se seleccionó un quemador con ajuste manual, para esto se tuvo en cuenta la parte económica y funcionabilidad del quemador. Con los procesos realizados se determinó que para el sistema de calentamiento de la secadora de cacao rectangular se debe usar un quemador (GLP) KOMAN de antorcha con una salida de 24000 BTU.

5.1.4 Blower Eléctrico

Para la selección del blower eléctrico está establecido en el cálculo de flujo volumétrico y sus resultados se procedió a elegir concisamente el dispositivo de menores características ya que de igual condición rendirá sin ningún inconveniente en base a lo requerido. Con los procesos realizados se determinó que para la secadora de cacao rectangular se debe usar un Blower centrífugo con un Motor de 50 CFM.

Soplador w / Motor-50 cfm



Soplador PSC, curva delantera, accionamiento directo, diámetro de la rueda de 3 pulgadas, CFM @ 0.000-in SP 50, voltaje 110-120,60 Hz, monofásico, amperios de carga completa 0.23, RPM 3036, temperatura máxima de entrada 104 grados F, altura total 5 13/16 pulgadas, ancho total 5 1/8 pulgadas, profundidad total 6 7/16 pulgadas, incluye brida de montaje de descarga y cubierta de entrada

Figura 5.1 Soplador w/ Motor-50 cfm

5.2 DISEÑO DEL PROTOTIPO

Partiendo de un boceto primordial como referencia se inició con dar procedimiento a la fabricación de la máquina secadora de cacao para lo cual en base al diseño y estudio realizado se puede dar por hecho que cumplirá con los parámetros establecidos.

5.3 RESULTADOS DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA CÁMARA DE SECADO

Teniendo como referencia el volumen de cacao establecido se procese a realizar el dimensionamiento de la cámara de secado, la cual se diseñará en forma rectangular, se construirá con el mismo material que es de acero inoxidable AISI 304 ya que el propósito es hermetizar la mayor cantidad de calor en la cámara para dar homogeneidad al secado y así tener una disminución considerable de tiempo.

Tabla 5.2 Resultados del diseño de la cámara de secado.

N° Ecuación	Parámetro a calcular	Resultado
4.1	Volumen de cacao por cada lote	$V_c = 0.19m^3$
4.2	Masa seca de cacao	$m_s = 35kg$
4.3	Masa con la humedad deseada (7%)	$m_{7\%} = 37.63kg$
4.4	Densidad del aire seco en el sitio de estudio	$\rho_{sec} = 0.96kg/m^3$

4.5	Velocidad másica del aire de secado	$G = 8640\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$
4.6	Número de Reynolds	$Re = 33440.05$ (<i>flujo turbulento</i>)
4.7	Número de Nusselt	$Nu = 85.73$
4.8	Coefficiente de convección para un flujo de aire perpendicular a la superficie de contacto	$h_{conv} = 103.63\text{kJ}/\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{h}$

Los resultados del análisis térmico para conocer el comportamiento térmico realizado en la secadora de cacao son favorecedores ya que la parte interna de la cama obtendrá el grado calorífico apropiado y a su vez se tendrá una temperatura ambiente en el exterior de la cámara de secado.

5.4 RESULTADO DE LA SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO

Tabla 5.3 Resultado de la selección del sistema de calentamiento.

Nº Ecuación	Parámetros a calcular	Resultado
4.9	Velocidad de secado por unidad de tiempo de manera constante Rc	$R_c = 2.48\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$
4.10	Área de secado	$A_s = 1.28\text{m}^2$
4.11	Tiempo de secado	$t_c = 6.87\text{h}$
4.12	Calor sensible del cacao	$Q_c = 2600.1\text{kJ}$
4.13	Calor sensible del agua	$Q_{H_2O} = 10972\text{kJ}$
4.14	Calor latente	$Q_L = 146705\text{kJ}$
4.15	Masa de la plancha perforada de acero inoxidable	$m_{base\ cam} = 5.68\text{kg}$
4.16	Calor sensible en la base de la cámara	$Q_{plancha} = 137.12\text{kJ}$
4.17	Calor Total	$Q_{\acute{u}til} = 160414.22\text{kJ}$
4.18	Potencia por calor útil en el proceso de secado	$\dot{Q}_{\acute{u}til} = 6.5\text{kW}$
4.19	Número de Reynolds	$Re = 6729.2$ (<i>flujo turbulento</i>)

4.20	Cálculo del número de Nusselt	$Nu_{cil} = 43.7$	
4.21	Coeficiente de convección en el exterior	$h_{conv} = 3.23W/m^2.K$	
4.22	Calor sensible	$Q = 206.72W$	
4.23	Pared 1 (Puerta)	$Re = 200501.25$	
4.24		$Nu = 266.2$	
4.25		$h_1 = 4.79W/m^2.K$	
4.26		$R_{conv1} = 0.21W/K$	
4.27		$R_{cond1} = 0.0000604W/K$	
4.28		$R_{cond2} = 0.715W/K$	
4.29		$R_{cond3} = 0.0000302W/K$	
4.30		$R_{T1} = 0.925W/m^2.K$	
4.31		Pared 2	$Re = 200501.25$
4.32			$Nu = 266.2$
4.33	$h_1 = 4.79W/m^2.K$		
4.34	$R_{conv1} = 0.21W/K$		
4.35	$R_{cond1} = 0.0000604W/K$		
4.36	$R_{cond2} = 0.715W/K$		
4.37	$R_{cond3} = 0.0000302W/K$		
4.38	$R_{T2} = 0.925W/m^2.K$		
4.39	Pared 3	$Re = 107769.42$	
4.40		$Nu = 195.16$	
4.41		$h_1 = 6.54W/m^2.K$	
4.42		$R_{conv1} = 0.42W/K$	
4.43		$R_{cond1} = 0.000167W/K$	

4.44		$R_{cond2} = 1.98W/K$	
4.45		$R_{cond3} = 0.0000838W/K$	
4.46		$R_{T3} = 2.4W/m^2.K$	
4.47	Pared 4	$Re = 107769.42$	
4.48		$Nu = 195.16$	
4.49		$h_1 = 6.54W/m^2.K$	
4.50		$R_{conv1} = 0.29W/K$	
4.51		$R_{cond1} = 0.000116W/K$	
4.52		$R_{cond2} = 1.38W/K$	
4.53		$R_{cond3} = 0.0000580W/K$	
4.54		$R_{T4} = 1.67W/m^2.K$	
4.55		Pared inferior de la plancha	$Re = 200501.25$
4.56			$Nu = 266.2$
4.57	$h_1 = 4.79W/m^2.K$		
4.58	$R_{conv1} = 0.16W/K$		
4.59	$R_{cond1} = 0.0000471W/K$		
4.60	$R_{cond2} = 0.0000235W/K$		
4.61	$R_{T5} = 0.16W/m^2.K$		
4.62	Resistencia total de la estructura	$R_T = 6.08W/m^2.K$	
4.63	Razón de la transferencia de calor	$Q = 8.22W$	

Con la potencia necesaria para generar calor y la suma del calor perdido en la parte externa del secador rectangular se obtiene la potencia para poder seleccionar el quemador adecuado para la máquina, el mismo que deberá ser de 7kW.

5.5 RESULTADO PARA LA SELECCIÓN DEL VENTILADOR

Tabla 5.4 Resultados para la selección del ventilador.

N ° Ecuación	Parámetro a calcular	Resultado
4.64	Volumen específico	$v_1 = 1.04m^3/kg$
4.65	Flujo másico de entrada del cacao húmedo	$\dot{m}_{cacao-humedo} = 0.0015kg/s$
4.66	Flujo sólido	$\dot{m}_{sin} = 0.00053kg/s$
4.67	Porcentaje de agua a desprender	$\dot{m}_g = 0.00010kg/s$
4.68	Flujo másico a la entrada de humedad	$\dot{m}_{cin} = 0.00010kg/s$
4.69	Flujo másico de agua a la salida del secador	$\dot{m}_{w in} = 0.000040kg/s$
4.70	Tasa de evaporación de agua	$\Delta\dot{m}_{in} = 0.000040kg/s$
4.71	Flujo másico del cacao	$\dot{m}_a = 0.022kg/s$
4.72	Flujo volumétrico	$\dot{V} = 0.023m^3/s$

Con el flujo volumétrico obtenido se puede determinar el blower necesario para el secador rectangular, para que este cumpla con el proceso de deshidratación de la semilla de cacao, el mismo que deberá ser de $0.023m^3/s$.

5.6 RESULTADO DEL CÁLCULO DEL DISPERSOR DE GAS

Tabla 5.5 Resultados para determinar el caudal de aire en el dispersor.

N ° Ecuación	Parámetro a calcular	Resultado
4.73	Caudal de aire	$Q_{aire} = 11.82m^3/h$

5.7 RESULTADO DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES CON CACAO (42.2kg)

Tabla 5.6 Resultados de la prueba experimental con cacao.

N° Ecuación	Parámetro a calcular	Resultado
4.74	Volumen de cacao por cada lote	$V_c = 0.08m^3$
4.75	Masa seca de cacao	$m_s = 28.02kg$
4.76	Masa con la humedad deseada (7%)	$m_{7\%} = 30.12kg$
4.77	Velocidad másica del aire de secado	$G = 8640kg/m^2 \cdot h$
4.78	Número de Reynolds	R_e $= 33440.05$ (<i>flujo turbulento</i>)
4.79	Número de Nusselt	$Nu = 85.73$
4.80	Coeficiente de convección para un flujo de aire perpendicular a la superficie de contacto	$h_{conv} = 103.63kJ/m^2 \cdot K \cdot h$
4.81	Velocidad de secado por unidad de tiempo de manera constante Rc	$R_c = 2.13kg/m^2 \cdot h$
4.82	Área de secado	$A_s = 1.28m^2$
4.83	Tiempo de secado	$t_c = 3h$

5.7 RESULTADO DE LA CALIBRACIÓN DEL SENSOR MAF

5.7.1 Datos obtenidos al escanear en la Mazda BT-50

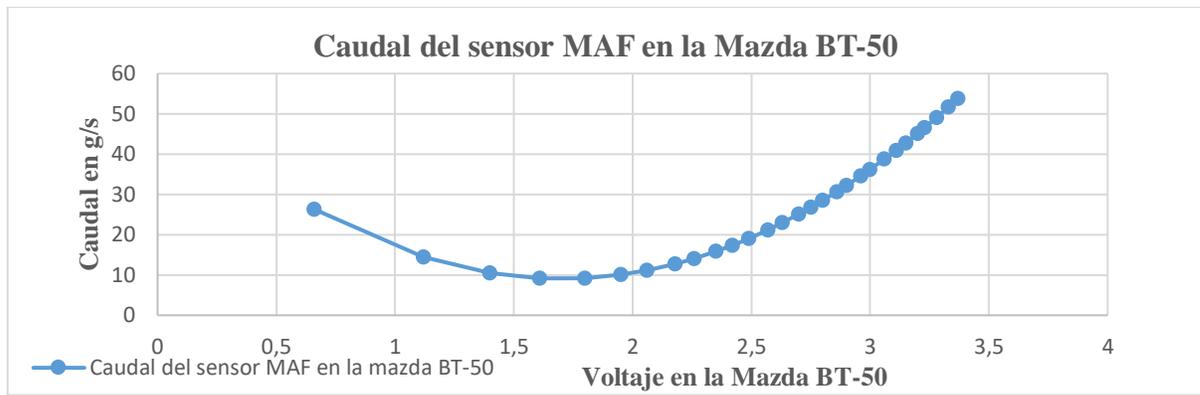


Figura 5.2 Caudal del sensor MAF en la Mazda BT-50

5.7.2 Datos del flujo másico con el sensor MAF en el sistema

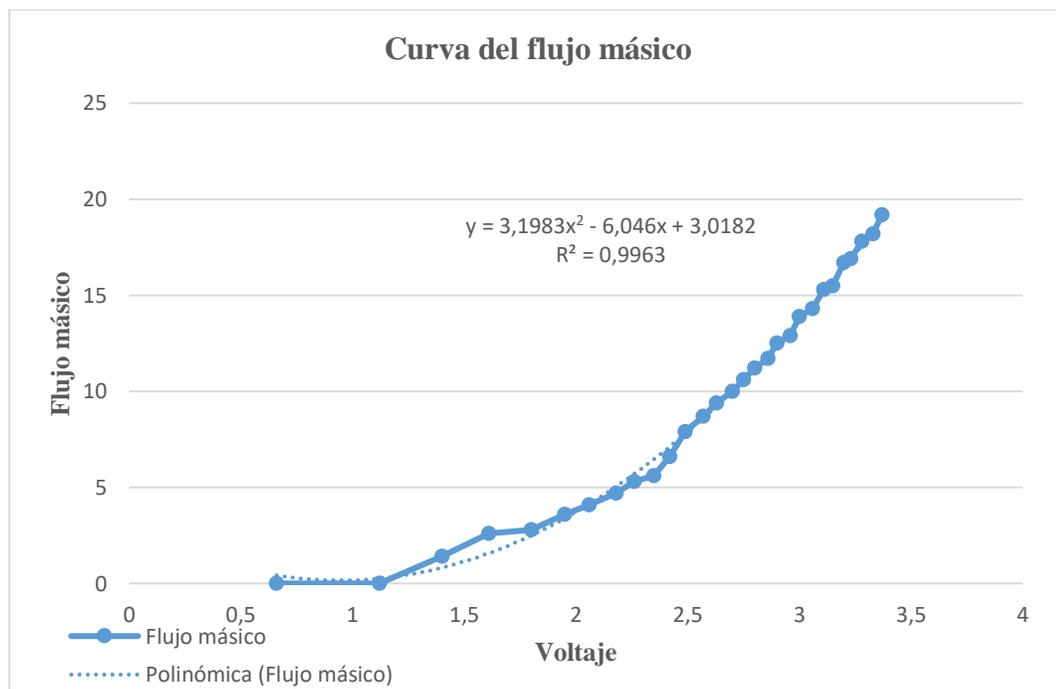


Figura 5.3 Curva del flujo másico.

5.8 RESULTADO DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES DEL SECADOR DE CACAO SIN CARGA

5.8.1 Pruebas con frecuencia constante y variación de altura de la cama

Con el propósito de obtener datos comparativos del tiempo en el que llega a calentarse la cámara de secado que brindará el prototipo experimental con dispersor y sin dispersor de gas, se procedió a realizar pruebas a distintas alturas, teniendo en cuenta que la temperatura no debe superar los 70°C.

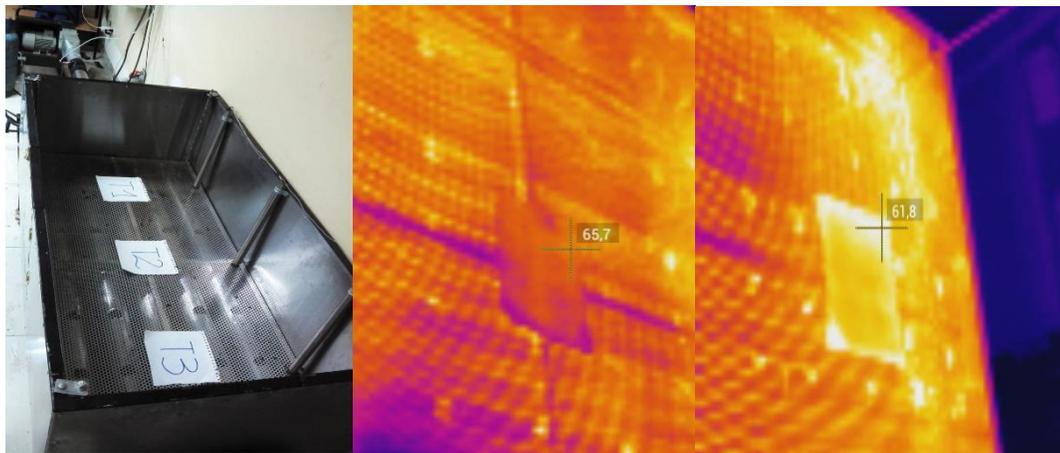


Figura 5.4 Temperatura alcanzada en la cámara de secado con el uso del dispersor de gas.

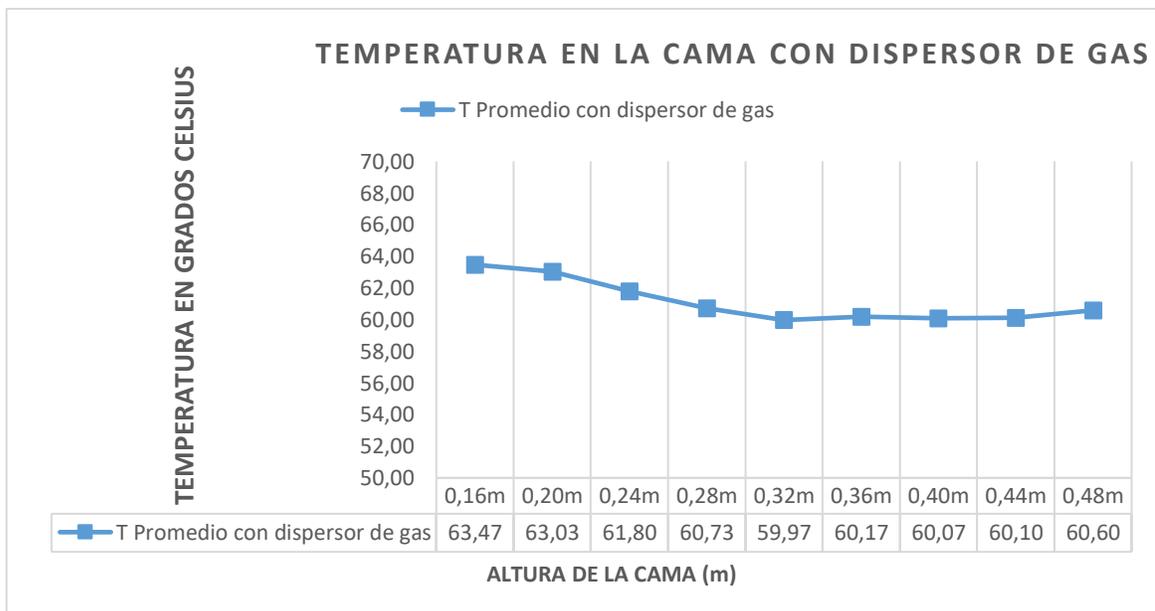


Figura 5.5 Temperatura en la cama con dispersor de gas (Altura de la cama variable).

En la primera altura de la cama se pudo comprobar que se obtuvo una temperatura promedio de 63.47°C en la cámara de secado la misma que se tuvo en un tiempo estimado de 8 minutos. En la segunda altura se tiene casi las mismas condiciones de trabajo de 63.03°C pero con un tiempo de 9 minutos para calentarse. Por lo cual se decidió que la altura óptima para el secado de cacao va a ser de 0.16m.

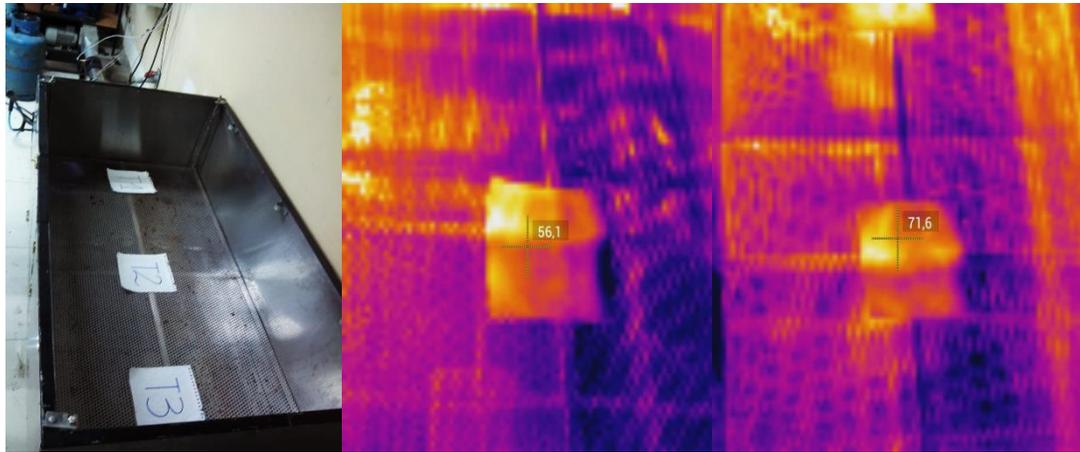


Figura 5.6 Temperatura alcanzada en la cámara de secado sin el uso del dispersor.

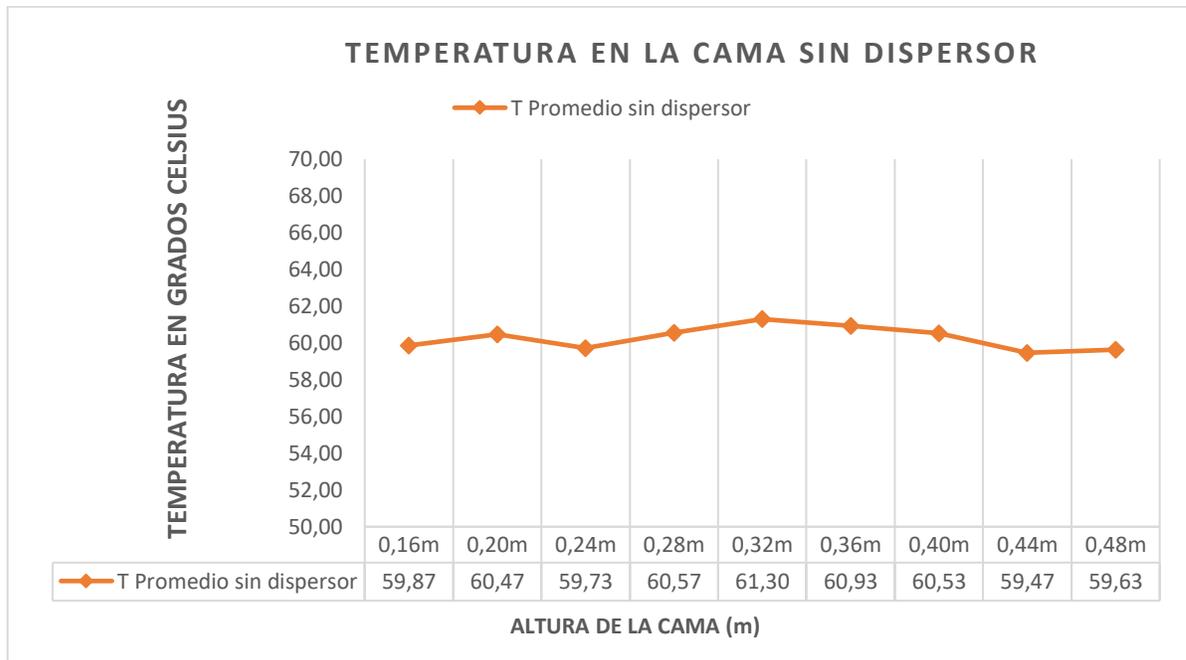


Figura 5.7 Temperatura en la cama sin dispersor (Altura de la cama variable).

En la cámara de secado sin dispersor se puede observar una clara diferencia ya que en la segunda altura de 0.20m logra alcanzar una temperatura de 60.47°C siendo inferior a la temperatura de

secado con dispersor de gas y con un tiempo relativamente mayor de calentamiento de la cámara de 23 minutos.

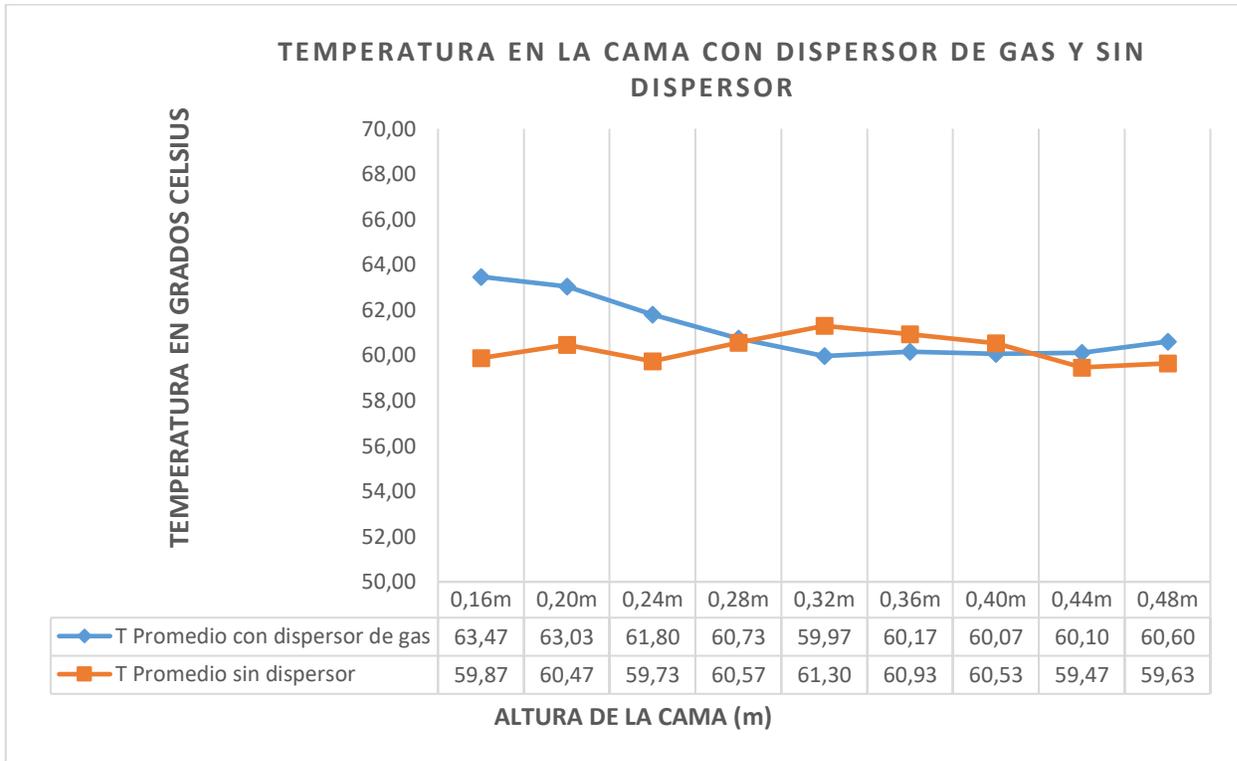


Figura 5.8 Comparativa de la temperatura alcanzada con dispersor de gas y sin dispersor.

Como se puede observar los dos procesos son muy similares puesto que alcanzan la temperatura adecuada para el secado, sin embargo, la diferencia que radica entre ambos es el tiempo que tardan en calentar la cámara de secado.

5.9.2 Pruebas con frecuencia variable y altura de la cama constante

Con el fin de obtener datos comparativos del tiempo en el que llega a calentarse la cámara de secado que brindará el prototipo experimental con dispersor y sin dispersor de gas, se procedió a realizar pruebas a distintas frecuencias, teniendo en cuenta que la temperatura no debe superar los 70°C.

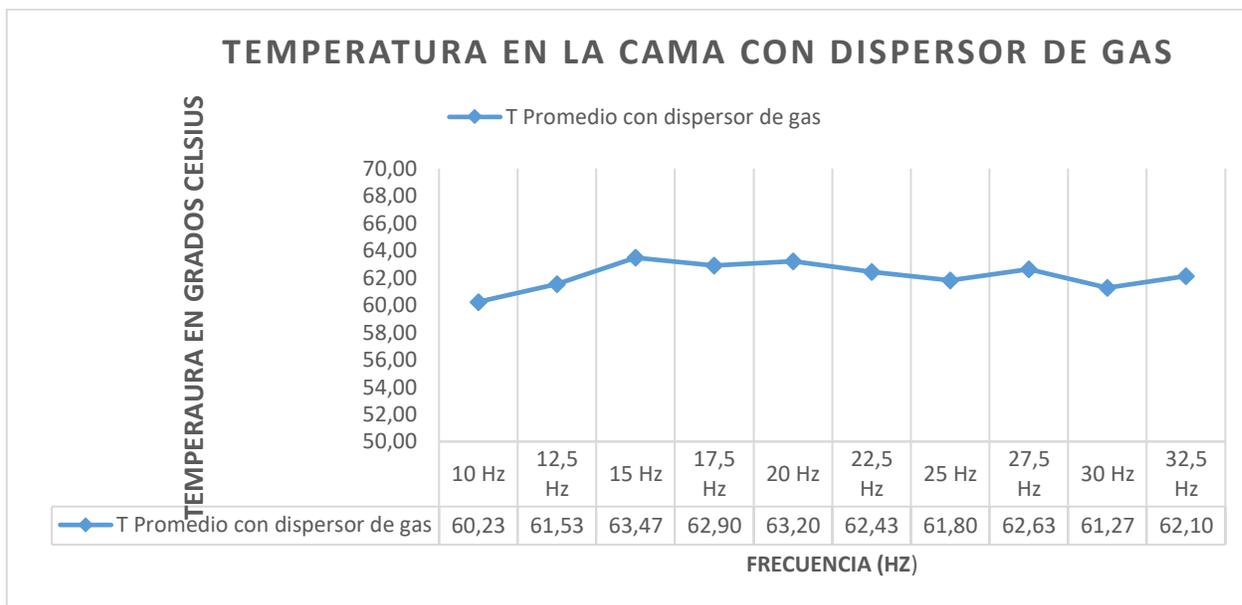


Figura 5.9 Temperatura en la cama con el uso del dispersor de gas (Frecuencia variable).

En la primera altura de la cama se pudo comprobar una temperatura obtenida en promedio de 60.23°C pero cabe tener en cuenta que con esta frecuencia de 10 Hz el flujo de aire se concentraba en el primer punto de la cámara de secado. En la tercera altura se tiene mejores condiciones de trabajo de 63.47°C puesto que el flujo permite que haya una igualdad de calentamiento en la cámara de secado. Por lo cual se decidió que la frecuencia adecuada de secado va a ser de 15 Hz.

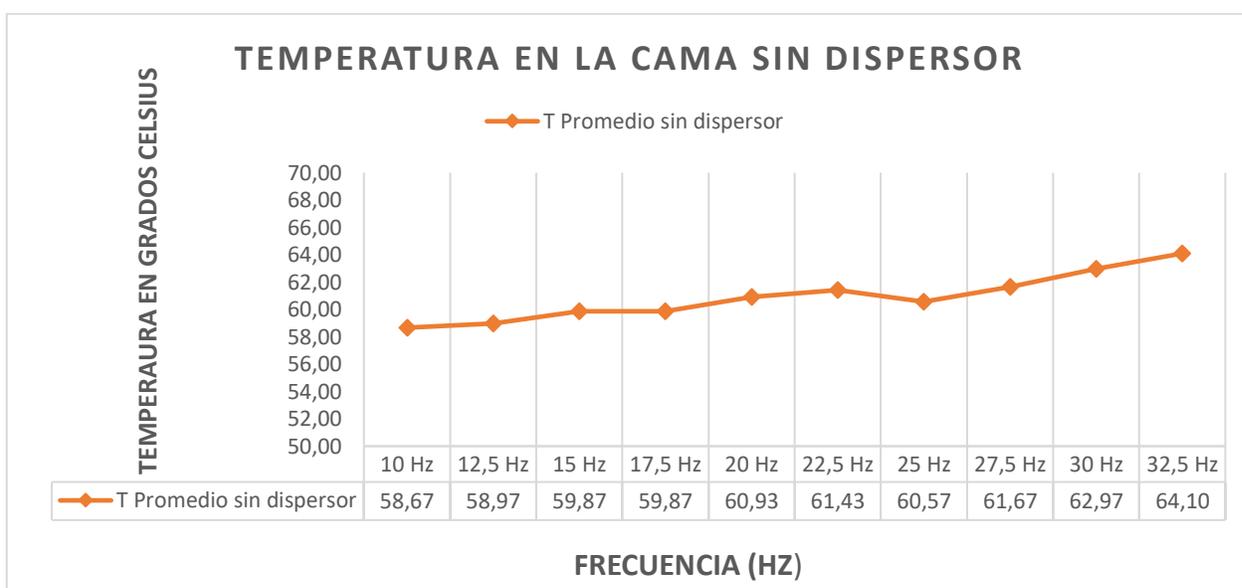


Figura 5.10 Temperatura en la cama sin dispersor de gas (Frecuencia Variable).

En la cámara de secado sin dispersor se puede observar una clara diferencia ya que en 20 Hz logra alcanzar una temperatura promedio de 60.93°C equitativamente en toda la cámara de secado siendo inferior a la temperatura de secado con dispersor de gas y con un tiempo relativamente mayor de calentamiento de la cámara de 13 minutos.

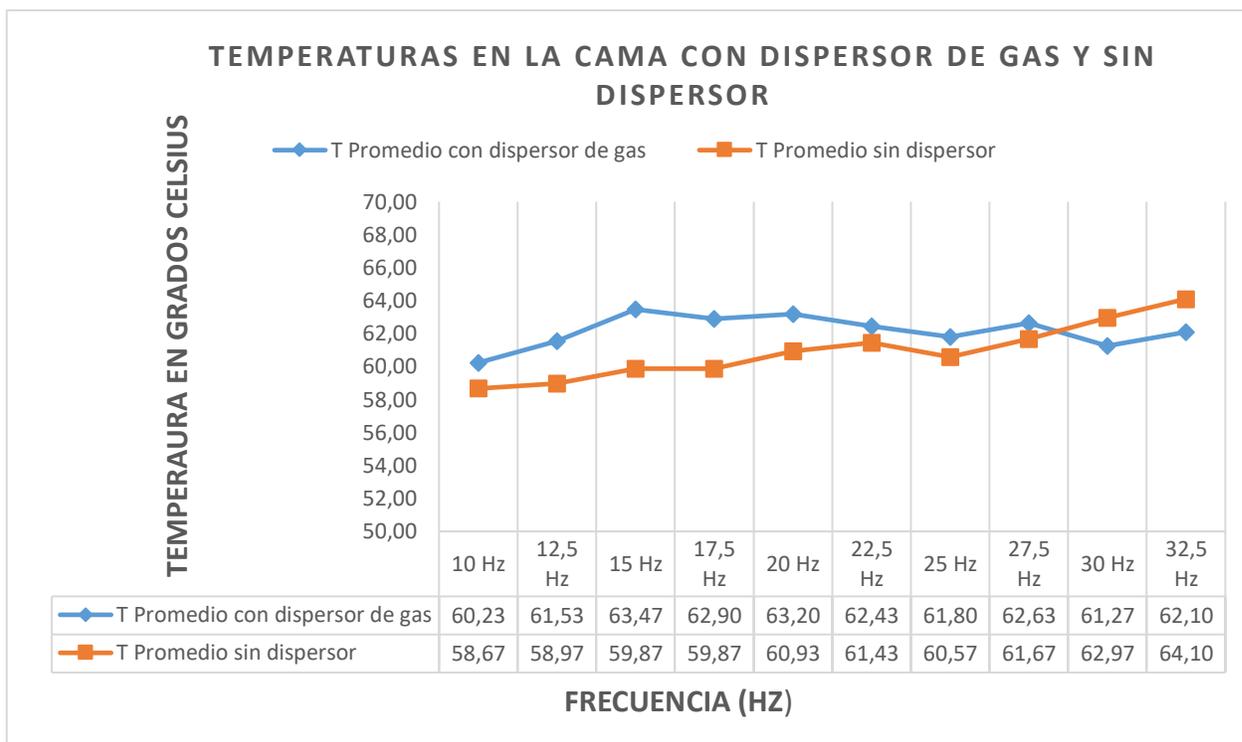


Figura 5.11 Comparativa de la temperatura alcanzada con dispersor de gas y sin dispersor.

Los dos procesos son muy similares puesto que alcanzan la temperatura adecuada para el secado, sin embargo, con una frecuencia superior a los 20 Hz la temperatura de la cama tiende a ser desequilibrada y se refleja mucha más temperatura al final de la cámara de secado.

5.9 PRUEBA EXPERIMENTAL DEL SECADOR DE CACAO CON CARGA

5.9.1 Prueba de secado con frecuencia de 15 Hz y altura de 0.16m de la cama

En la prueba realizada con el prototipo experimental se busca tener resultados favorables a la hipótesis planteada y a las variables presentadas, el presente trabajo se realizó bajo supervisión para tener resultados favorables. Con los análisis ya antes mencionados se determinó que, se debe usar el intercambiador de calor a una frecuencia de 15 Hz, teniendo en cuenta que la temperatura no debe superar los 70°C.

En las muestras tomadas se constató que le proceso de secado en la máquina es muy beneficioso en comparación con las máquinas tradicionales, puesto que se logró la reducción del tiempo de secado y un contenido de humedad adecuado para su comercialización.



Figura 5.12 Cacao con un 33.6% de humedad.

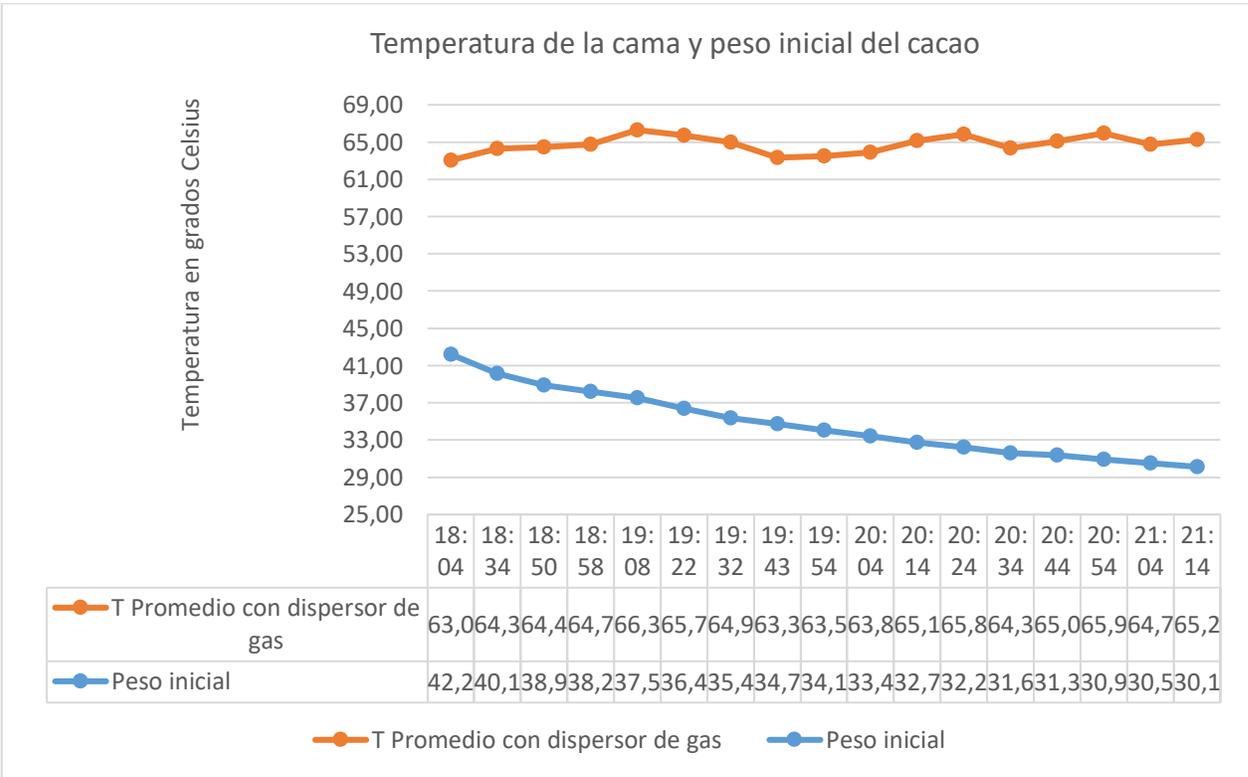


Figura 5.13 Curva de temperatura y peso inicial y final del cacao al 7%.



Figura 5.14 Peso final del cacao al 7% de humedad.

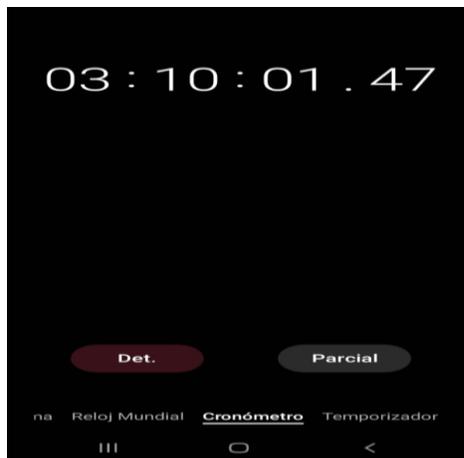


Figura 5.15 Tiempo tardó el cacao en llegar a la humedad deseada.



Figura 5.16 Secado óptimo del cacao con 7% de humedad.

5.10 ANÁLISIS DE pH EN GRANO DE CACAO CON 7% HUMEDAD



Figura 5.17 Trituración del cacao.

Para iniciar con la medición de pH en grano seco de cacao primero se procedió a moler el mismo hasta que se transforme en una pasta semi líquida.



Figura 5.18 Proceso del tamizaje #40.

En este proceso se realiza un tamiz previo que nos sirve para separar la masa semi líquida con el objetivo de obtener el líquido del proceso de trituration.



Figura 5.19 Implementar 100mL de agua destilada.

Al incorporar agua destilada permite que la masa de cacao alcance un punto de acidez neutro, lo cual será de mucha ayuda para el estudio.



Figura 5.20 Recogiendo muestras 25mL de sobrenadante.

Se procede a recoger el sobrenadante en cada una de las botellas de las muestras plásticas de 4mL para luego de esto realizar el proceso de centrifugación.



Figura 5.21 Proceso de centrifugación.

Una vez colocado las botellas de muestras plásticas dentro de la centrífuga, se procede al encendido de la máquina una configuración de 30min y 5000rpm esto nos sirve para la separación de solutos de sus solventes.



Figura 5.22 Calentar con agitación.

Después de que el proceso de centrifugación haya terminado, se procede a sacar el líquido de las muestras plásticas tratando de tener mucho cuidado. Luego de esto se procede a calentar la muestra con una temperatura de 90°C durante 30 minutos.



Figura 5.23 pH del cacao con dispersor de gas

Luego de calentar la muestra y dejar reposar durante 5 minutos se procede a medir el pH de la muestra de cacao con el 7% de humedad obtenida al utilizar el dispersor de gas dando como resultado 6.07% de pH.

5.11 METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL CONSUMO DE ENERGÍA

Se debe tomar en cuenta la potencia instalada para la puesta en marcha de la máquina tomando en cuenta la potencia de todo el sistema es de 1714.7W y la máquina tarda 3 horas con 10 minutos en culminar el proceso de secado de 42.2kg de cacao, en 300kg de cacao tardará 22 horas.

Tabla. 5.7 Cálculo del consumo eléctrico.

PARÁMETRO	ECUACIÓN	RESULTADO
Consumo en el proceso de secado de 42.2kg	$C. \text{ proceso} = \frac{\text{Potencia (W)} \cdot \text{tiempo de uso}}{1000}$	5.32 kWh

Costo (42kg)	$\text{Costo} = 5.32 \text{ kWh} \times 0.08 \frac{\$}{\text{kWh}}$	Costo = \$0.43
Consumo en el proceso de secado de 300kg	$C. \text{ proceso} = \frac{\text{Potencia (W). tiempo de uso}}{1000}$	32.7 kWh
Costo (300kg)	$\text{Costo} = 32.7 \text{ kWh} \times 0.08 \frac{\$}{\text{kWh}}$	Costo = \$2.61

El costo de consumo de energía por cada proceso de 42.2 kg es de 43 centavos de dólar y de 300kg es de \$2.61.

5.10.1 Consumo de GLP en el proceso

Para determinar el consumo de GLP usado para el proceso se pesó el tanque de gas lleno y al finalizar la prueba de igual manera dando así

- Peso inicial del GLP 30kg
- Peso final del GLP 28.5kg
- Poder calorífico del GLP 11.867kcal/kg

Tabla 5.8 Cálculo del costo de consumo de GLP.

PARÁMETRO	ECUACIÓN	RESULTADO
Costo de 15 Kg de GLP con subsidio en Ecuador \$1.60	$\text{Costo por kg} = \frac{\text{Costo 15 kg GLP}}{\text{Cantidad util de GLP}}$	\$0.10
Costo de 15 Kg de GLP PVP subsidiado en ECUADOR \$3	$\text{Costo por kg} = \frac{\text{Costo 15 kg GLP}}{\text{Cantidad util de GLP}}$	\$0.20
Costo de 15 Kg de GLP precio sin subsidio en ECUADOR = \$15.1	$\text{Costo por kg} = \frac{\text{Costo 15 kg GLP}}{\text{Cantidad util de GLP}}$	\$1

Cada cilindro en Ecuador mantiene los valores subsidiados de 15kg de GLP a un valor referente de \$1.60, no obstante, este valor no se cumple totalmente ya que el P.V.P luego de la cadena de distribución a mayorista es de \$3, de todos modos, se considera un costo de operación con precio subsidiado y después de la cadena de mayorista, el consumo de GLP para el proceso de secado de 42.2kg es de \$0.30 pues según el peso inicial y final del producto tiene una diferencia de 1.5kg de

GLP consumidos en el proceso; del proceso de secado de 300kg tendrá consumo de 10.6kg de GLP y un costo de \$2.12.

5.10.2 Costos de operación del proceso de secado

Tabla 5.9 Costos de operación sin mano de obra

Tipo de proceso	Cantidad	Costo de operación
Secado de cacao a 7%	42.2kg	\$0.73
Secado de cacao a 7%	300kg	\$4.73

Luego de haber obtenido los costos de operación se debe añadir un costo por mano de obra de un trabajador el cual se encargará de poner en marcha la máquina, y de realizar las remociones de la semilla para que todas estas lleguen a cumplir con el secado adecuado.

Esto se obtiene en base al sueldo básico que en el Ecuador es de \$425, esto dividido para 26 días de trabajo y 8 horas laborables se tiene un costo de trabajador por hora de \$2.

5.10.3 Costo total de operación del proceso de secado

Tabla 5.10 Costo total de operación incluido mano de obra

Tipo de proceso	Cantidad	Costo de operación
Secado de cacao a 7%	42.2kg	\$6.93
Secado de cacao a 7%	300kg	\$48.73

Con los datos expuestos se puede determinar que se obtiene una rentabilidad económica muy relevante puesto que el costo total del proceso de secado de 300kg es de \$48.73 al usar la máquina de seca de cacao. El precio de los servicios de alquiler de las secadoras de cacao llega a costar hasta \$30, sin tomar en cuenta los gastos de transporte del producto. Estos establecimientos cuentan con maquinaria de capacidades muy grandes de hasta 300 qq por ende optan por ser centros de acopio.

5.10.4 Costo de depreciación de la máquina secadora de cacao rectangular

5.10.4.1 Depreciación anual por el método de línea recta

Tabla 5.11 Depreciación anual por el método de línea recta

Descripción	Ecuación	Resultado
<p>D_{anual} = depreciación anual. $V_{inicial}$ = valor del costo. $V_{salvamiento}$ = valor de salvamiento.</p>	$D_{anual} = \frac{V_{inicial} - V_{salvamiento}}{\text{años de depreciación}}$ $D_{anual} = \frac{2614.31 - (2600 \times 10\%)}{10 \text{ años}}$	$D_{anual} = \$243$

De acuerdo a la ley se deprecia al 10% y su vida útil es de 10 años porque es una maquina industrial.

Con el resultado obtenido se determina que la depreciación anual es de \$243

6 VALORACIÓN ECONÓMICA DEL TRABAJO

6.1 Presupuesto

A continuación, se detallará brevemente el aspecto financiero donde se fijará el costo de los diferentes materiales y equipos a utilizar en la propuesta tecnológica.

6.1.1 Costos directos

Gastos con relación directa a materiales esenciales para la construcción de la secadora.

Tabla 6.1 Rubros para la construcción de la cámara de secado y dispersor de gas.

Materiales	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Plancha de acero inoxidable 304 pulido	5	\$45	\$225
Plancha perforada en acero inoxidable 304	1	\$246.40	\$246.4
Tubo cuadrado galvanizado de 1/4	5	\$28	\$140
Autoperforantes de 1/2 cabeza (estrella)	100	\$0.02	\$2
Barrilla roscada de 3/8 en acero inoxidable	4	\$8	\$32
Tubo de 4" en acero inoxidable	5	\$20	\$100
Quemador	1	\$20	\$20
Mano de obra	1	\$600	\$600
Costo total			\$1365.40

Tabla 6.2 Rubros para la construcción del sistema de encendido y sensores.

Materiales	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Caja para conexiones	1	\$50	\$50
Arduino uno	1	\$17	\$17
Resistencias de 1k	4	\$0.04	\$0.16
LCD 128x64	1	\$14	\$14

Fuente de 24V a 20 ^a	1	\$45	\$45
Resistencias de 390 ohm	12	\$0.04	\$0.48
Borneras de 3p negra	2	\$0.25	\$0.50
Bornera de 2p roja	4	\$0.20	\$0.80
Bornera de 2p azul	4	\$0.20	\$0.80
Bornera de 2p verde	4	\$0.20	\$0.80
Paro de emergencia	1	\$5	\$5
Luz piloto	2	\$4	\$8
Pulsador NIA breaker	1	\$5.77	\$5.77
Porta relé	1	\$6.25	\$6.25
Int relay dinámico	1	\$13.85	\$13.85
Cable N° 18	15	\$0.30	\$4.50
Canaleta	1	\$7	\$7
Riel	1	\$9	\$9
Celda de carga tipo S 100kg	4	\$ 55	\$ 220
Amplificador de célula de carga digital, salida 4-20mA	2	\$116	\$ 232
Sonda de sensor de temperatura termopar 1/2" NPT conector de rosca con 3 cables	3	\$35	\$ 105
Caja de conexiones de celda de carga	1	\$40	\$ 40
Transmisor de temperatura, PT100 (0-50°C)	3	\$10	\$ 30
Transmisor de temperatura, PT100 (0-200°C)	5	\$12	\$60
Costo del envío	1	\$144	\$144

Sensor maf	1	\$105	\$105
Socket	1	\$6	\$6
Tubería de caucho de 4"	1	\$18	\$18
Costo total			\$1148.91

6.1.2 Costos indirectos

Costos indirectos que influenciaron en la construcción de la secadora.

Tabla 6.3 Rubros de transporte y varios.

Insumo	Detalle	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Varios	Cacao, combustible, peajes e imprevistos	1 días	\$100	\$100
Costo total				\$100

6.1.3 Costo total de implementación

El costo total de la implementación será la suma de los diferentes costos planteados con antelación a detalle.

Tabla 6.4 Rubros del costo total de implementación.

Detalle	Costo
Costo de materiales para la construcción de cámara de secado y dispersor de gas	\$1365.4
Costo de materiales para la construcción del sistema de encendido y eléctrico	\$1148.91
Rubros de transporte y varios	\$100
Costo total	\$2614.31

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

- La máquina de secado de cacao con intercambiador de calor se diseñó con las características necesarias: volumen máximo de 300kg, temperatura de secado de 60-70°C, flujo volumétrico del aire de $0.023m^3/s$.
- Al realizar un comparativo en la secadora de cacao con dispersor de gas y sin dispersor, se concluye que el más óptimo para el secado de cacao es la máquina con dispersor de gas puesto que genera una temperatura óptima en toda la cama para así obtener un secado adecuado.
- El tiempo de secado con el uso del dispersor de gas en un total de masa húmeda de cacao de 42.2kg fue de 3.10 horas con un consumo de GLP de 1.5kg, teniendo una masa seca de semilla con el 7% de humedad y un peso de 32.10kg.

7.2 Recomendaciones

- Proceder al secado de cacao en un grado ideal de humedad, el cacao tiene que estar fermentado antes de proceder al secado ya que se tiende a tener un tiempo de secado fuera de lo normal y a su vez la utilización de energía se incrementaría.
- Seleccionar los equipamientos adecuados para el funcionamiento de la máquina secadora de cacao rectangular, en este caso se recomienda utilizar un Blower centrífugo con un Motor de 50 CFM y un sistema de quemador (GLP) KOMAN de antorcha con una salida de 24000 BTU.
- Evitar el uso de motores que tengan acoplado en su eje una carga demasiado grande para su funcionamiento, puesto que el exceso de carga al motor puede provocar temperaturas muy altas en el mismo lo cual podría generar una falla mecánica y a su vez podría disminuir el tiempo de vida útil del motor.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Dubón, «Protocolo para el Beneficiado,» Abril 2016. [En línea]. Available: http://www.fhia.org.hn/descargas/Proyecto_de_Cacao_SECO/Protocolo_para_el_Beneficiado_y_Calidad_del_Cacao_2016.pdf. [Último acceso: Junio 2022].
- [2] N. M. Chinenye, «Effect of Drying Temperature and Drying Air Velocity on the Drying Rate and Drying Constant of Cocoa Bean,» Agricultural Engineering International, Umuahia, Abia State, Nigeria , 2009.
- [3] S. Matavaca, «Informe de la gira de observación “Ventanas” reconociendo la secadora rectangular para su utilización en el proceso de secado.,» CIENCIAS AGROPECUARIAS RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE, Guaranda, 2015.
- [4] J. A. C. CAVA, «DISEÑO DE UNA SECADORA DE CACAO PARA ALMACENAJE,» Junio 2015. [En línea]. Available: <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6199>. [Último acceso: Junio 2022].
- [5] P. Ecuador, «Cacao café y elaborados,» 12 Julio 2018. [En línea]. Available: <https://www.agricultura.gob.ec/cacao-ecuadoriano-es-reconocido-en-los-premios-internacionales-del-cacao-2019/>. [Último acceso: Junio 2022].
- [6] M. d. A. y. Ganadería, «Cacao ecuadoriano es reconocido en los “Premios Internacionales del Cacao 2019”,» 15 Noviembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.agricultura.gob.ec/cacao-ecuadoriano-es-reconocido-en-los-premios-internacionales-del-cacao-2019/>. [Último acceso: Junio 2022].
- [7] CAMAE, «Cultivar cacao, una nueva apuesta agrícola,» 26 Mayo 2022. [En línea]. Available: <http://www.camae.org/sin-categoria/cultivar-cacao-una-nueva-apuesta-agricola/>. [Último acceso: Junio 2022].
- [8] R. d. cacao, «CACAO NACIONAL EN LA TIERRA DEL CACAO,» Enero 2018. [En línea]. [Último acceso: Junio 2022].
- [9] C. L. Reyes, «TIPOS DE CACAO,» Agosto 2019. [En línea]. Available: <https://carmenlucia.gt/tipos-de-cacao/>. [Último acceso: Junio 2022].
- [10] E. diario, «Incursionan en la siembra de cacao CNN51,» 23 Octubre 2017. [En línea]. Available: <https://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/451835-incursionan-en-la-siembra-de-cacao-cnn51/>. [Último acceso: Junio 2022].

- [11] C. Movil, «Cosecha, fermentación y secado del cacao,» Marzo 2017. [En línea]. Available: <https://www.cacaomovil.com/site/guide/cosecha-fermentacion-y-secado-del-cacao/40/cual-es-el-principal-uso-que-se-le-da-al-cacao>. [Último acceso: Junio 2022].
- [12] J. Nogales, «Beneficio del cacao, métodos de fermentación,» Agosto 2018. [En línea]. [Último acceso: Junio 2022].
- [13] J. Nogales, «Métodos de secado de cacao,» Septiembre 2019. [En línea]. Available: <https://poscosechacacao.blogspot.com/2017/08/metodos-de-secado-de-cacao.html>. [Último acceso: Junio 2022].
- [14] J. Nogales, «Secado natural de cacao,» Septiembre 2019. [En línea]. Available: <https://poscosechacacao.blogspot.com/2017/08/secado-al-finalizar-la-fermentacion.html>. [Último acceso: Junio 2022].
- [15] J. Nogales, «Secado Natural en esterillas,» Septiembre 2019. [En línea]. Available: <https://poscosechacacao.blogspot.com/2017/08/metodos-de-secado-de-cacao.html>. [Último acceso: Junio 2022].
- [16] O. J. B. DIANA PAOLA GALINDO TORRES, «Secado natural tipo Elba,» Universidad EAN, Bogotá, 2013.
- [17] A. Cacao, «Secado a la sombra,» 11 Marzo 2011. [En línea]. Available: <http://apatitosocacao.blogspot.com/2012/03/>. [Último acceso: Junio 2022].
- [18] L. W. Relief, «Aprendiendo e innovando sobre la cosecha, fermentación y secado del cacao,» Febrero 2014. [En línea]. Available: http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/02/19_Guia_8_Beneficiado.pdf. [Último acceso: Junio 2022].
- [19] E. G, «Secado artificial de cacao. Estado del arte,» MAyo 2004. [En línea]. Available: <file:///C:/Users/PC/Desktop/TITULACI%C3%93N/Secado%20artificial%20de%20cacao%20Estado%20del%20arte.pdf>. [Último acceso: Junio 2022].
- [20] H. R. Garcia, «Diseño, construcción y evaluación de un secador de granos con aire impulsado por convección natural,» 2006. [En línea]. Available: <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/23414?locale-attribute=es>. [Último acceso: Junio 2022].
- [21] Ecirtec, «SECADOR ROTATIVO,» Enero 2016. [En línea]. Available: <https://es.ecirtec.com/equipamientos/secador-rotativo-sre-800-secadores-e-resfriadores-rotativos/>. [Último acceso: Junio 2022].

- [22] C. Industrial, «Secador de columnas,» Septiembre 2014. [En línea]. Available: <https://es.b2brazil.com/hotsite/consilos/secador-de-columnas>. [Último acceso: Junio 2022].
- [23] I. A. (. J. C. R. Ing. Agr. (PhD) Ricardo Enrique Bartosik, «Secado a Alta Temperatura: Alta Capacidad de Secado,» Octubre 2015. [En línea]. Available: <https://docplayer.es/74785880-Secado-a-alta-temperatura-alta-capacidad-de-secado.html>. [Último acceso: Junio 2022].
- [24] I. M. I. A. M. Pereira, «Secadores del tipo cascada o canaleta,» 2009. [En línea]. Available: <https://www.fao.org/3/x5027s/x5027S0c.htm#Secadores%20del%20tipo%20cascada%20o%20canaleta>. [Último acceso: Junio 2022].
- [25] E. C. L. Vidaña, «Caracterización y evaluación de la eficiencia térmica y de,» Diciembre 2011. [En línea]. Available: http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/LITER_CIIDIROAX/273/L%c3%b3pez%20Vida%c3%b1a%2c%20E.%20C..pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Último acceso: Junio 2022].
- [26] N. C. L. S. Javier Orna, «Diseño y construcción de una secadora automática para cacao a base de aire caliente tipo rotatorio para una capacidad de 500 kg,» Enfoque UTE revista, Quito, 2018.
- [27] INDUWILPAC, «Secadora Rectangular,» 2016. [En línea]. Available: www.induwilpac.com. [Último acceso: Junio 2022].
- [28] G. T. L. E. Guamushig Piray Patricio Hernán, «“Diseño e implementación de un secador híbrido de cacao fino de aroma para la finca “Santa María” ubicada en la provincia de Esmeraldas cantón Quinindé en la parroquia La unión.,» Septiembre 2020. [En línea]. Available: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/8068/1/PI-001769.pdf>. [Último acceso: Junio 2022].
- [29] S. E. d. Normalización, «NTE INEN 176 GRANOS DE CACAO. REQUISITOS,» Febrero 2018. [En línea]. Available: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_176-5.pdf. [Último acceso: Junio 2022].
- [30] J. A. Millán, «Cálculos Psicrométricos,» [En línea]. Available: <http://www.sc.edu.es/nmwmigaj/CartaPsy.htm>. [Último acceso: Junio 2022].
- [31] C. C. A. Fernando, «Diseño y construcción de un prototipo de máquina secadora de cacao para la empresa Cacao 3H ubicada en el cantón Cumandá,» 2016. [En línea]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/12081>.

- [32] Y. A. Cengel, Transferencia de calor y masa. Un enfoque práctico, México: Editorial Mexicana, Reg. Núm. 736, 2007.
- [33] Automation24, «Variadores de frecuencia: con un rango de potencia de 0,12 kW a 15 kW,» Interempresas Media, S.L.U. - Grupo Nova Àgora, 2019. [En línea]. Available: <https://www.interempresas.net/Robotica/FeriaVirtual/Producto-Variadores-de-frecuencia-Siemens-Sinamics-V20-161138.html>. [Último acceso: Junio 2022].
- [34] A. AVANCE, «Sensor MAF,» 04 Octubre 2019. [En línea]. Available: <https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/148-sensor-maf-sensor-tps/#:~:text=El%20Sensor%20MAF%20o%20Sensor,aire%20y%20colector%20de%20ad misi%C3%B3n..> [Último acceso: Junio 2022].
- [35] B. Contreras, «Qué es una celda de carga, cuáles son los diferentes tipos de sensores de fuerza,» Logicbus, 7 Diciembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.logicbus.com.mx/blog/que-es-una-celda-de-carga-cuales-son-los-diferentes-tipos-de-sensores-de-fuerza-y-como-funcionan-en-la-medicion-de-fuerza/>. [Último acceso: Junio 2022].
- [36] S. T. S.A, «Funcionamiento de la caja de suma,» 16 enero 2014. [En línea]. Available: <http://celdasdecarga.blogspot.com/2014/01/funcionamiento-de-la-caja-suma.html>. [Último acceso: Junio 2022].
- [37] H. Laurila, «Sensor de temperatura Pt100,» 09 enero 2020. [En línea]. Available: <https://blog.beamex.com/es/sensor-de-temperatura-pt100-lo-que-hay-que-saber>. [Último acceso: Junio 2022].

Document Information

Analyzed document: Tesis - defazbryan_chiluisaronald_10mo.docx (D143457625)
 Submitted: 2022-09-01 01:04:00
 Submitted by: Cristian Gallardo
 Submitter email: cristian.gallardo@utc.edu.ec
 Similarity: 4%
 Analysis address: cristian.gallardo.utc@analysis.arkund.com

Ph.D. Enrique Torres
 Tutor de Tesis

Documents included in the report

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / TESIS_PALLO_M_TAPIA_A_30_08_22.docx
 Document TESIS_PALLO_M_TAPIA_A_30_08_22.docx (D143415319) 52
 Submitted by: byron.corrales@utc.edu.ec
 Receiver: byron.corrales.utc@analysis.arkund.com

URL: <https://www.redalyc.org/journal/5722/572262061015/html/>
 Fetched: 2021 10-09 21:28:06 6

Proyecto.pdf
 Document Proyecto.pdf (D109736243) 3

Document

INTRODUCCIÓN 1.1 RESUMEN

El desarrollo de la presente propuesta tecnológica tuvo como objetivo determinar el análisis del consumo de energía en una secadora de grano rectangular con el uso de un intercambiador de calor en forma de dispersor de flujo calorífico misma que es usada para el proceso de secado del grano, el cual es producido en la costa ecuatoriana, tiene como finalidad disminuir el porcentaje de humedad existente en los granos de cacao obteniendo un ahorro de energía en su proceso y mediante el método experimental se realizó una serie de comparaciones para determinar si la hipótesis planteada es aceptada o negada, la variable de estudio es el control de los parámetros de secado de cacao. La población estuvo constituida por los alumnos de la Universidad Técnica de Cotopaxi, los instrumentos empleados para el desarrollo de la propuesta rectangular fue el acero inoxidable AISI 304, con los respectivos dispositivos tecnológicos de medida cuantitativa para la medición de datos, mediante la recopilación de estos datos se pudo realizar la evaluación del proceso de secado de cacao con el fin de verificar si el proceso es el apropiado, los resultados obtenidos del análisis fueron procesados mediante el uso de tablas y gráficos para visualizar el comportamiento del flujo de aire, la temperatura en la cámara de secado y el peso del grano durante el procedimiento. Como resultado se obtuvo una temperatura de secado de 60-70°C, peso final del grano con 7% de humedad de 30.10 kg en un tiempo de 3 horas y 10 minutos, con un consumo de 1.5kg de energía en 42.2kg de cacao, el propósito es conseguir una temperatura de secado no mayor a 70°C determinado por la INEN puesto que el producto tiende a perder sus condiciones para su almacenamiento.

Palabras clave: Dispositivos, análisis, medición, flujo, temperatura.

ABSTRACT

The development of this technological proposal aimed to determine the analysis of energy consumption in a rectangular cocoa dryer with the use of heat exchangers in the form of a gas distributor that is used for the drying process of the grain, which is produced on the Ecuadorian coast, aims to reduce the percentage of moisture present in cocoa beans by obtaining energy savings in their process and through the experimental method a series of comparisons were made to determine whether the hypothesis put forward is accepted or not, the study variable is the control of cocoa drying parameters. The population was constituted by the students of the Technical University of Cotopaxi, the instruments used for the development of the rectangular dryer was the stainless steel AISI 304, with the respective technological quantitative measurement devices for measuring and obtaining data, by collecting this data it was possible to carry out the evaluation of the cocoa drying process in order to verify whether the process is the appropriate one, the results obtained from the analysis were processed using tables and graphs to visualize the air flow behavior, temperature in the drying chamber and grain weight during the procedure. As a result, a drying temperature of 60-70°C was obtained, final weight of the grain with 7% humidity of 30.10 kg in a time of 3 hours and 10 minutes, with an energy consumption of 1.5kg in 42.2kg of cocoa, the purpose is to achieve a drying temperature not higher than 70°C determined by the INEN since the product tends to lose its conditions for storage.

Keywords: Devices, analysis, measurement, flow, temperature. 1.2 EL PROBLEMA 1.2.1 Planteamiento del problema

9. ANEXOS

Anexo A. Propiedades de metales sólidos.

845
APÉNDICE 1

TABLA A-3

Propiedades de metales sólidos (continuación)

Composición	Punto de fusión, K	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K), $k(\text{W/m} \cdot \text{K})/c_p(\text{J/kg} \cdot \text{K})$					
		ρ kg/m ³	c_p J/kg · K	k W/m · K	$\alpha \times 10^5$ m ² /s	100	200	400	600	800	1 000
Al carbono-manganeso-silicio (1% < Mn < 1.65% 0.1% < Si < 0.6%)	8 131	434	41.0	11.6				42.2	39.7	35.0	27.6
								487	559	685	1 090
Aceros al cromo (bajo):											
$\frac{1}{2}$ Cr- $\frac{1}{4}$ Mo-Si (0.18% C, 0.65% Cr, 0.23% Mo, 0.6% Si)	7 822	444	37.7	10.9				38.2	36.7	33.3	26.9
								492	575	688	969
1Cr- $\frac{1}{2}$ Mo (0.16% C, 1% Cr, 0.54% Mo, 0.39% Si)	7 858	442	42.3	12.2				42.0	39.1	34.5	27.4
								492	575	688	969
1Cr-V (0.2% C, 1.02% Cr, 0.15% V)	7 836	443	48.9	14.1				46.8	42.1	36.3	28.2
								492	575	688	969
Aceros inoxidables:											
AISI 302	8 055	480	15.1	3.91				17.3	20.0	22.8	25.4
								512	559	585	606
AISI 304	1 670	7 900	477	14.9	3.95	9.2	12.6	16.6	19.8	22.6	25.4
						272	402	515	557	582	611
AISI 316	8 238	468	13.4	3.48				15.2	18.3	21.3	24.2
								504	550	576	602
AISI 347	7 978	480	14.2	3.71				15.8	18.9	21.9	24.7
								513	559	585	606
Plomo	601	11 340	129	35.3	24.1	39.7	36.7	34.0	31.4		
						118	125	132	142		
Magnesio	923	1 740	1 024	156	87.6	169	159	153	149	146	
						649	934	1 074	1 170	1 267	
Molibdeno	2 894	10 240	251	138	53.7	179	143	134	126	118	112
						141	224	261	275	285	295
Níquel:											
Puro	1 728	8 900	444	90.7	23.0	164	107	80.2	65.6	67.6	71.8
						---	---	---	---	---	---

ANEXO B. Propiedades en los puntos de ebullición y congelación.

TABLA A-2

Propiedades en los puntos de ebullición y de congelación

Sustancia	Datos para la ebullición a 1 atm		Datos para la congelación		Propiedades del líquido		
	Punto normal de ebullición, °C	Calor latente de vaporización, h_{fg} , kJ/kg	Punto de congelación, °C	Calor latente de fusión, h_{if} , kJ/kg	Temp., °C	Densidad, ρ , kg/m ³	Calor específico, c_p , kJ/kg · K
Amoniaco	-33.3	1 357	-77.7	322.4	-33.3	682	4.43
					-20	665	4.51
					0	639	4.62
					25	603	4.78
Argón	-185.9	161.6	-189.3	28	-185.6	1 394	1.14
Benceno	80.2	394	5.5	126	20	879	1.72
Salmuera (20% de cloruro de sodio por masa)	103.9	—	-17.4	—	20	1 150	3.11
<i>n</i> -Butano	-0.5	385.2	-138.5	80.3	-0.5	601	2.31
Bióxido de carbono	-78.4*	230.5 (a 0°C)	-56.6	—	0	298	0.59
Etanol	78.2	838.3	-114.2	109	25	783	2.46
Etilico, alcohol	78.6	855	-156	108	20	789	2.84
Etilenglicol	198.1	800.1	-10.8	181.1	20	1 109	2.84
Glicerina	179.9	974	18.9	200.6	20	1 261	2.32
Helio	-268.9	22.8	—	—	-268.9	146.2	22.8
Hidrógeno	-252.8	445.7	-259.2	59.5	-252.8	70.7	10.0
Isobutano	-11.7	367.1	-160	105.7	-11.7	593.8	2.28
Queroseno	204-293	251	-24.9	—	20	820	2.00
Mercurio	356.7	294.7	-38.9	11.4	25	13 560	0.139
Metano	-161.5	510.4	-182.2	58.4	-161.5	423	3.49
					-100	301	5.78
Metanol	64.5	1 100	-97.7	99.2	25	787	2.55
Nitrógeno	-195.8	198.6	-210	25.3	-195.8	809	2.06
					-160	596	2.97
Octano	124.8	306.3	-57.5	180.7	20	703	2.10
Aceite (ligero)	—	—	—	—	25	910	1.80
Oxígeno	-183	212.7	-218.8	13.7	-183	1 141	1.71
Petróleo	—	230-384	—	—	20	640	2.0
					—	—	—
Propano	-42.1	427.8	-187.7	80.0	-42.1	581	2.25
					0	529	2.51
					50	449	3.12
Refrigerante-134a	-26.1	216.8	-96.6	—	-50	1 443	1.23
					-26.1	1 374	1.27
					0	1 295	1.34
					25	1 207	1.43
Agua	100	2 257	0.0	333.7	0	1 000	4.22
					25	997	4.18
					50	988	4.18
					75	975	4.19
					100	958	4.22

ANEXO C. Propiedades del aire a presión de 1 atm.

TABLA A-15

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., $T, ^\circ\text{C}$	Densidad, $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico, $c_p, \text{J/kg} \cdot \text{K}$	Conductividad térmica, $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Difusividad térmica, $\alpha, \text{m}^2/\text{s}^2$	Viscosidad dinámica, $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática, $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-5}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1 002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1 004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1 005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1 006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1 006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1 007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1 007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1 007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1 007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1 007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1 008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1 008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1 009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1 011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1 013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1 016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1 019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1 023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1 033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1 044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1 056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1 069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1 081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1 093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1 115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1 135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1 153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1 169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1 000	0.2772	1 184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1 500	0.1990	1 234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2 000	0.1553	1 264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

ANEXO D. Plancha de acero inoxidable AISI 304.

DESCRIPCIÓN

Norma: AISI 304

Especificaciones Generales del acero inoxidable 304:

ESPEORES	desde 0.40 – 15mm	
ACABADOS	2B – N4 – N1	
DIMENSIONES	1220 x 2440 mm (estándar)	
	1220 x otros (largos especial)	
DESCRIPCIÓN DE ACUERDO A LA NORMA	JIS	SUS 304
	ASTM	304
	DIN	4301



ANEXO E. Tubo de acero inoxidable AISI 304.

acero inoxidable

tubos milimétricos

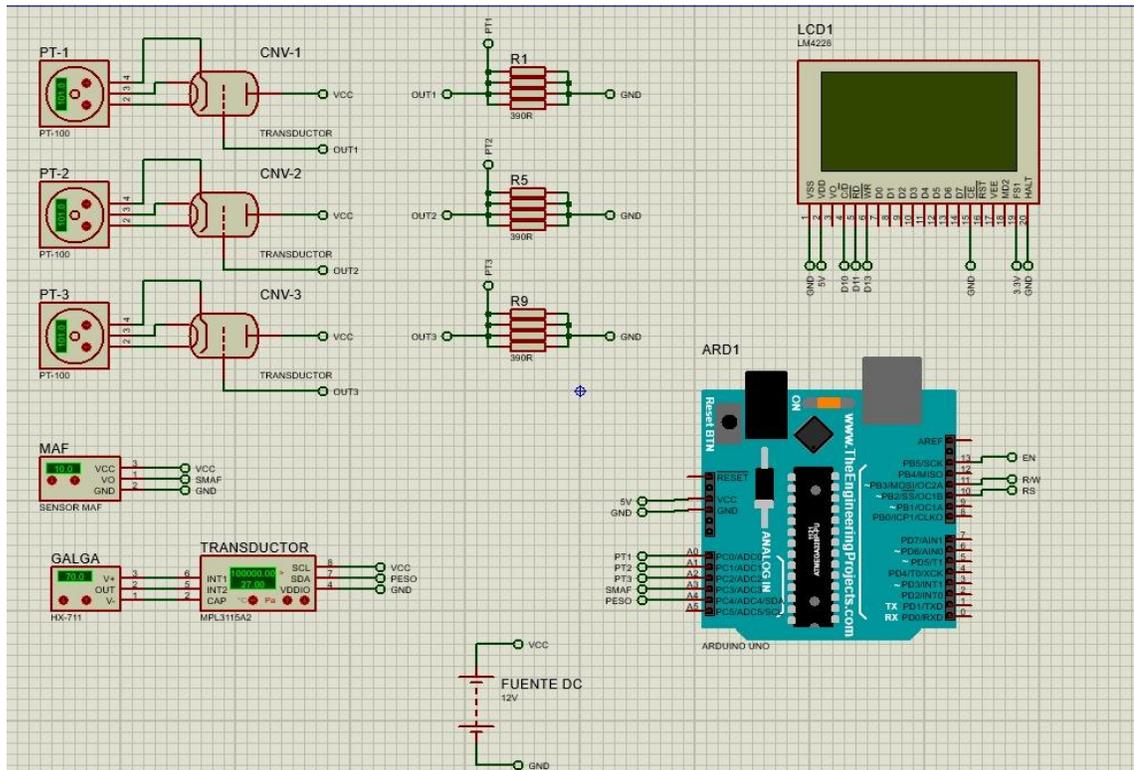
Tubo redondo con soldadura
Calidad AISI 304 y 316

diámetro mm	espesor mm	304		316	
		mate	brillo	mate	brillo
3	0.5	72600600			
4	0.5	72600610			
5	0.5	72600620			
6	1.0	72600630		72602090	
8	1.0	72600650	72601390		
10	1.0	72600670	72601400	72602145	72602940
12	1.0	72600690	72601420		72602960
12	1.2			72602160	
14	1.0	72600710	72601440	72602195	
15	1.5	72600720	72601450		72602970
16	1.0	72600730	72601460		72602977
16	1.5		72601470		72602980
18	1.0	72600750			
18	1.5	72600770	72601480	72602245	72603000
20	1.0	72600790			
20	1.5	72600810	72601500	72602250	72603040
21.3	2.0	72600820			
22	1.5				72603060
23	1.5	72600830	72601510		
25	1.5	72600850	72601520	72602310	72603080
26.9	2.0	72600860			
28	1.5	72600892	72601540	72602365	72603090
30	1.5	72600900	72601560	72602370	72603100
33	1.5	72600905	72601580		72603110
34	1.0	72600940			
34	1.5		72601600		72603130
35	1.5	72600960	72601610	72602410	72603140
38	1.5	72600980	72601620	72602412	72603160
40	1.0	72601010			

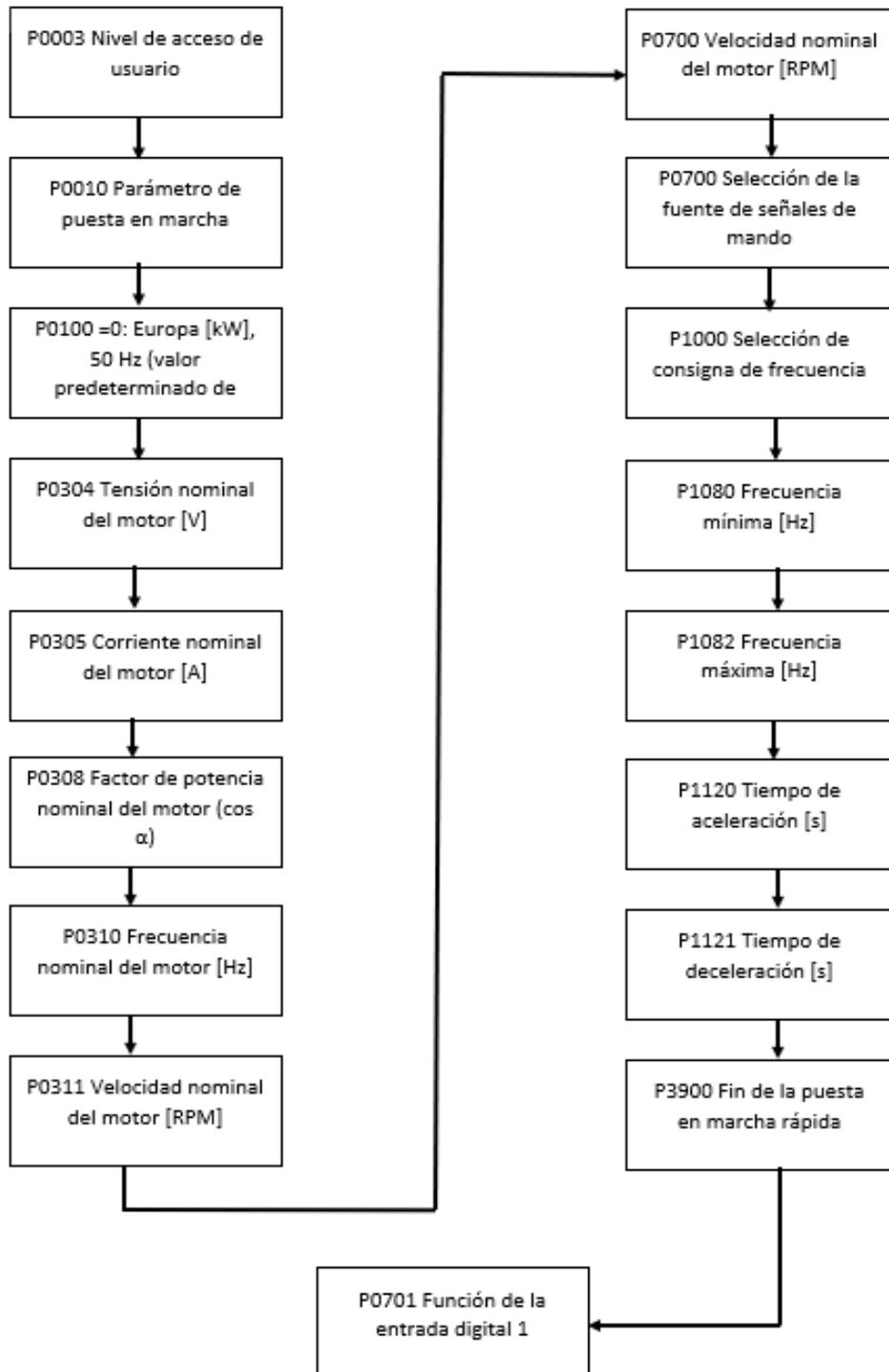
ANEXO F. Propiedades de los materiales aislantes.

Determinación		Origen	Conductividad (λ) W/(m.K)	Factor de resistencia a la difusión de vapor de agua (μ)	Inflamable ¹	Peso aproximado Epi ²	Formato	Medidas de protección en su instalación	Coste imperceptible producción (Mkg. ³)	Contenido de producto reciclado (k3) ⁴	Biodegradable ⁵
	Lanas minerales (MW)	Lana de roca (SW)	0,03 - 0,05	1	NO	λ	Panel, rollo y a garel	Ojos, sistema respiratorio y piel	15 - 25	1	No
		Lana de vidrio (GW)	0,03 - 0,05	1 - 1,3	NO	λ	Panel, rollo y a garel	Ojos, sistema respiratorio y piel	15 - 50	2	No
	Poliestireno expandido (EPS)		0,029 - 0,053	20 - 40	SI	λ	Panel y a garel	No	75 - 125	1	No
	Poliestireno extruido (XPS)		0,025 - 0,04	100 - 220	SI	λ < 15	Panel	Gaunas	75 - 125	1	No
	Poliuretano o Polisocianurato (PUR)		0,019 - 0,040	60 - 150	SI	λ < 10	Panel y espuma	Ojos, sistema respiratorio y piel	70 - 125	1	No
	Perlita Expandida (EPB)		0,040 - 0,060	3 - 8	NO	λ	Panel, rollo, espuma y a garel	Protección frente al polvo	5 - 20	0	No
	Vidrio celular (CG)		0,035 - 0,055	Infinita	NO	λ < 60	Panel y espuma	No	10 - 75	3	SI
	Lana de oveja (SHW)		0,035 - 0,050	1 - 2	SI	λ < 25	Rollo y a garel	No	10 - 40	0	SI

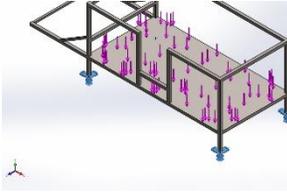
ANEXO G. Diagrama de conexión



ANEXO H. Organigrama.

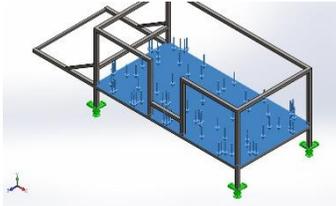


ANEXO I. Carga y sujeción.

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		<p align="center">Entidades: 4 cara(s) Tipo: Geometría fija</p>

Fuerzas resultantes

Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción (N)	-0,16362	2.941,85	-0,248878	2.941,85
Momento de reacción (N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		<p align="center">Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 300 kgf</p>

ANEXO J. Manual de funcionamiento.



**MANUAL DE FUNCIONALIDAD Y MANTENIMIENTO
IMPLEMENTACIÓN EXPERIMENTAL DE UN
SECADOR RECTANGULAR PARA REDUCCIÓN DEL
TIEMPO EN EL SECADO DE CACAO MEJORADO**



MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO

La máquina secadora de cacao ha sido fabricada para obtener el secado de cacao en el menor tiempo posible, tener un rendimiento y calidad en su correcto uso.

IMPORTANTE

Antes de poner en funcionamiento la secadora de cacao se debe leer claramente este manual de uso y mantenimiento, una mala manipulación podría ocasionar riesgos o daños a la salud del operador y fallas en la misma.

RESUMEN

En esta sección del proyecto se tratará sobre un manual de uso y mantenimiento adecuado de la maquina secador de cacao, donde el usuario conocerá lo que debe hacer o no debe hacer al momento de poner en funcionamiento la máquina, este manual de uso y mantenimiento va dirigido para salvaguardar la seguridad y evitar posibles averías de la misma.

1. INTRODUCCIÓN

El plan de mantenimiento del secado de cacao con el uso de un dispersor de gas, es planteado como un método estratégico y optimo en su funcionabilidad, lo que permite optimizar el uso de la máquina y su mantenimiento.

1.1 Planteamiento del problema

En el campo de la preservación industrial es esencial la ingeniería electromecánica, en conocimiento que después de haber construido y puesto a punto un mecanismo o maquinaria, explotado de tal manera que se asegure la vida útil de la misma. El alcance de una buena gestión de la situación industrial del mantenimiento se debe a que es una manera segura de responder la disponibilidad del activo y el control de costos de este durante la vida útil o el periodo de uso.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Diseñar un plan de mantenimiento preventivo para una secadora de cacao rectangular para optimizar su desempeño operacional, sin omitir la seguridad y procurando minimizar el impacto ambiental.

2.2 Objetivos específicos

Seleccionar las herramientas de mantenimiento preventivo, del equipo que más se adapten.

Diseñar el programa de mantenimiento anticipado de la máquina y de esta manera enfocarse a la mejoría del secador.

Establecer el sistema de información, incluyendo los indicadores de gestión necesarios, para asegurar la efectividad y el control del plan propuesto.

3. INFORMACIÓN DE SEGURIDAD

Este manual contiene información importante acerca del uso y mantenimiento de la máquina, lo cual ayudara al operario a prevenir posibles anomalías.

3.1. Descripción de la máquina

El secador de cacao en una máquina rectangular se encuentra recubierto de fibra de vidrio, una cama de malla perforada y láminas de acero inoxidable en el cual se produce el secado de los granos de cacao, en el interior de la cámara produce una temperatura que va desde 60°C en aumento hasta los 70°C, la temperatura del interior del secador se controla de manera manual, con la ayuda de un piranómetro podemos observar la temperatura adecuada para un secado adecuado y así evitar el cambio brusco de temperatura, este proceso se realiza a través de un (GLP), los cuales se encargaran de generar suficiente flujo de energía calorífica, el valor por debajo de 70°C, el grado de humedad del cacao debe oscilar en un rango de 7%, para lograr obtener un producto de calidad.

El cacao siempre tiene que estar en movimiento por el cual se realizó un rastrillo de madera de forma artesanal para su respectivo funcionamiento, el cacao se encuentra en constante movimiento

ya que podría entrar en una etapa de cocción y así dañar su calidad, con la implementación del intercambiador de calor tipo flauta se puede observar una distribución de temperatura en toda la cama, su funcionalidad es garantizar un secado adecuado del producto, una vez que el cacao llega a su punto óptimo de secado, abrir la puerta de vaciado del secador y su posterior almacenamiento.

3.2. Funcionamiento de la máquina

La máquina cuenta con un tablero de control donde se puede visualizar tres parámetros importantes del secador como es el flujo de aire, la temperatura y el peso, al momento de encender la máquina primero, encender el variador de frecuencia y el blower para su correcto funcionamiento, la máquina a su vez cuenta con un sistema de luz piloto en donde se observa si la máquina y el motor están en funcionamiento.

En caso de suceder algún inconveniente la máquina cuenta con sistema de paro de emergencia donde se puede parar la operacionalidad del blower y del variador de frecuencia que son las partes más importantes en el tablero de control.

3.3. PASOS PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL SECADOR RECTANGULAR DEL CACAO.

1. Alimentar el tablero de control a 220V.
2. Accionar el breaker que se encuentra en el interior del tablero.

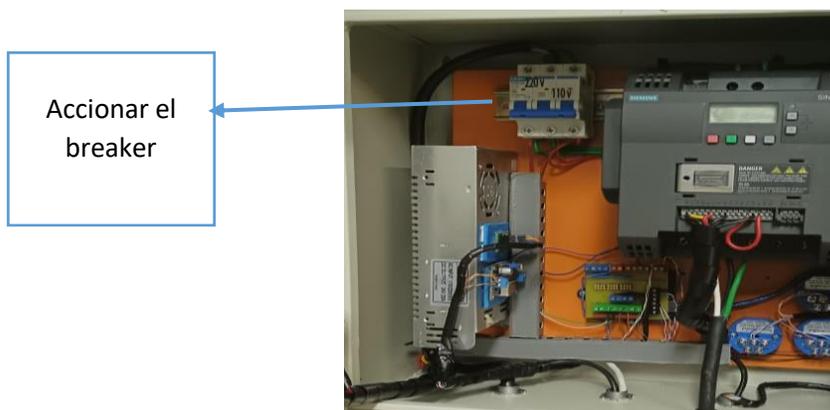


Figura 9.1 Accionar el breaker.

3. Conectar la válvula al cilindro y aperturar la misma.

4. Abrir la válvula del quemador a 1/8 de vuelta e inmediatamente pulsar el botón verde del chispero eléctrico.

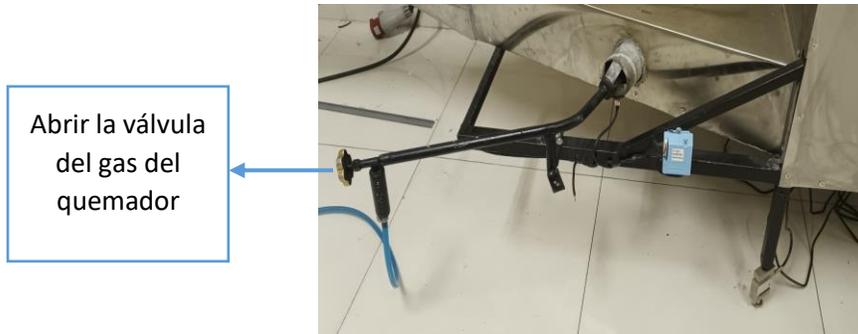


Figura 9.2 Válvula de gas del quemador.

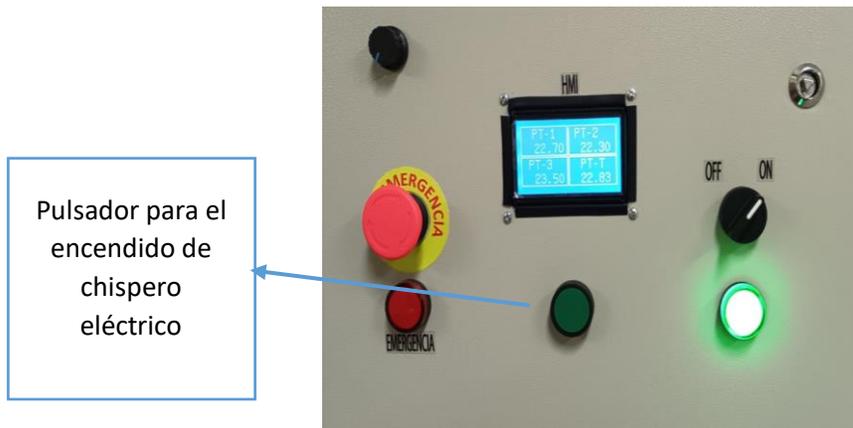


Figura 9.3 Pulsador para el chispero eléctrico.

5. Observar que el quemador se encuentre encendido y abrir el quemador 1/4 de vuelta.
6. Con el selector encender el blower.



Figura 9.4 Selector para el encendido del variador y del blower.

7. Con el potenciómetro regular la frecuencia hasta 15 Hz para un secado adecuado.

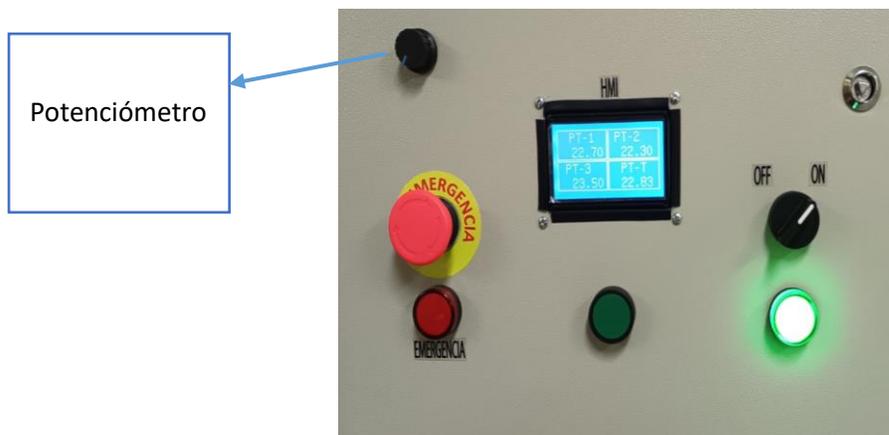


Figura 9.5 Potenciómetro

8. Colocar el cacao en una cantidad recomendada de 50kg.
9. El proceso de secado se realiza en 3 horas.
10. Observar en la pantalla HMI los parámetros necesarios.

Tabla 9.1 Parámetros de la pantalla HMI.

Peso	kg
Flujo masico	kg/s
PT-1	Temperatura 1 °C
PT-2	Temperatura 2 °C
PT-3	Temperatura 3 °C
PT-T	Promedio de las 3 temperaturas

11. Remover el cacao manualmente cada 10 minutos.
12. Retirar el cacao cuando cumpla su proceso de secado al 7% de humedad.
13. Cerrar la válvula del tanque para que el gas restante se consuma y cerrar la válvula del quemador.
14. Desactivar el blower del selector.
15. Desconectar el breaker.

16. Desconectar la alimentación de 220V.

3.4 Descripción general de los componentes de la máquina

Para la fabricación del plan de mantenimiento preventivo por medio del diagnóstico de la maquinaria y el costo de operación.



Figura 9.6 Descripción general de la máquina

3.4.1 Máquina secadora de cacao

Tabla 9.3 Máquina secadora de cacao.

N° de elemento	N° de pieza	Cantidad
1	Plancha de acero inoxidable 304 pulido	4
2	Plancha perforada en acero inoxidable 304	1
3	Tubo cuadrado galvanizado de ¼	5
4	Autoperforantes de ½ cabeza (estrella)	100
5	Barrilla roscada de 3/8 en acero inoxidable	2
6	Blower	1
7	Picaporte	1

4. MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL SECADOR

Tabla 9.3 Mantenimiento preventivo del secador.

Ítem	Descripción	Actividad
1	Limpieza de la cámara de secado.	Siempre al terminar su operabilidad
2	Calibrar el quemador.	Siempre cuando el flujo sea inapropiado
3	Limpieza del dispersor del gas.	Siempre al terminar su operabilidad.
4	Revisión del motor.	Después de 3 a 4 meses.
5	Revisión de la parte eléctrica.	Después de cada operabilidad.

4.1. FALLAS AL MOMENTO DEL SECADO DEL CACAO Y SU SOLUCIÓN

Tabla 9.4 Fallas en el secado y solución.

Ítem	Descripción	Causa	Solución
1	Problemas con el quemador.	No se encuentra con suficiente GLP.	Llenar con GLP.
2	Problemas con el motor.	Malas conexiones.	Revisar la fuente de energía.
3	Poco flujo.	Problema del variador de frecuencia.	Revisar en que frecuencia se encuentra trabajando el variador de frecuencia.
4	Sistema de remoción del cacao.	No existe removedor para el cacao.	Realizar un rastrillo artesanal.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Resulta totalmente factible secar granos de cacao de manera forzada o artificial, utilizando una secadora rectangular con intercambiador de calor y un flujo de aire constante el cual el secado de cacao finaliza en óptimas condiciones

Con la ayuda del intercambiador de calor tipo flauta se observa una temperatura uniforme en la cama y así reducir el tiempo de secado del cacao de manera considerable y sin dañar el producto final.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda no exceder el límite al cual está diseñado la máquina, ya que si se excede podría causar fallos en los sensores de peso.

Tener en cuenta la temperatura adecuada y un flujo constante para obtener un producto de calidad.



Latacunga, 31 de mayo del 2022

Ing Jorge Villarroel
Atiendo la solicitud

07/06/2022

Ing. Jorge Villarroel
ENCARGADO DEL TALLER DE CIYA
Presente.-

Yo Chiluisa Cofre Ronald Fabricio con cedula de identidad 050373113-5, Yo Defaz Defas Bryan Santiago con cedula de identidad 050397398-4 en calidad de estudiantes de la Carrera de Ingeniería Electromecánica; deseándole éxitos en las labores que usted desempeña por el bien universitario, le solicitamos muy comedidamente nos Preste el Variador de frecuencia, dicho elemento será utilizado para realizar la recolección de datos, los mismos que servirán para realizar nuestra tesis la cual esta denominada como "Análisis del consumo de energía en una secadora de cacao rectangular con el uso de intercambiadores de calor", la cual vamos a desarrollar en conjunto con nuestro tutor el PhD. Enrique Torres Tamayo.

Por la atención que le preste a la presente desde ya reiteramos nuestro más sincero agradecimiento.

Respetuosamente.

PhD. Enrique Torres Tamayo
C.I. 1757121940
TUTOR DE TESIS

Chiluisa Cofre Ronald Fabricio
C.I. 050373113-5
ESTUDIANTE

Defaz Defas Bryan Santiago
C.I. 050397398-4
ESTUDIANTE

ACTA DE ENTREGA – RECEPCIÓN

Latacunga, 7 julio 2022

A través de la presente y con autorización del Ing. Mauro Albarracín Decano de la facultad de CIYA se hace la entrega de los siguientes elementos y equipos:

1 Variador SIEMENS SINAMICS V20, 4HP, SN: SZVF4YEP003334, MODELO: SNS-A5E03262909.

ESTE EQUIPO PERTENECE AL MÓDULO N23. DEL LABORATORIO DE FLUIDOS Y SISTEMAS TÉRMICOS.

A los señores Chiluisa Ronald CI 0503731135 y Defaz Bryan CI 0503973984 en calidad de préstamo para que desarrollen el proyecto de titulación "Análisis del consumo de energía en una secadora de cacao rectangular con el uso de intercambiadores de calor", siendo su tutor el Ing. Enrique Torres, quien es responsable del buen uso y devolución de los equipos y elementos.

Los equipos entregados se encuentran en buenas condiciones y funcionando.



Firma de quien recibe
Nombre: Ronald Chiluisa

CI: 050373113 -3
0457455223



Bryan Defaz
050397398-4
0987923538

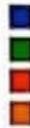


Firma de quien entrega
Nombre: Jorge Villacres

CI: 0502443491



UNIVERSIDAD
TÉCNICA DE
COTOPAXI



Formulario
de Solicitud

Latacunga, 26 de mayo del 2022

Ing. Jorge Villarroel
ENCARGADO DEL TALLER DE CIYA
Presente.-

Ing. Jorge Villarroel
Atender lo solicitado
27/05/2022

Yo Chiluisa Cofre Ronald Fabricio con cedula de identidad 050373113-5, Yo Defaz Defas Bryan Santiago con cedula de identidad 050397398-4 en calidad de estudiantes de la Carrera de Ingeniería Electromecánica; deseándole éxitos en las labores que usted desempeña por el bien universitario, le solicitamos muy comedidamente nos **Preste el Blower**, dicho elemento será utilizado para realizar la recolección de datos, los mismos que servirán para realizar nuestra tesis la cual esta denominada como "Análisis del consumo de energía de una secadora rectangular con el uso de intercambiadores de calor", la cual vamos a desarrollar en conjunto con nuestro tutor el PhD. Enrique Torres Tamayo.

Por la atención que le preste a la presente desde ya reiteramos nuestro más sincero agradecimiento.

Atentamente.

PhD. Enrique Torres Tamayo
C.I. 1757121940
TUTOR DE TESIS

Chiluisa Cofre Ronald Fabricio
C.I. 050373113-5
ESTUDIANTE

Defaz Defas Bryan Santiago
C.I. 050397398-4
ESTUDIANTE

ACTA DE ENTREGA – RECEPCIÓN

Latacunga, 30 de mayo 2022

A través de la presente y con autorización del Ing. Mauro Albarracín Decano de la facultad de CIYA se hace la entrega de los siguientes elementos y equipos que pertenecen al Laboratorio automatización y control del equipo 17. **MODULO HVAC, PARA EL ANÁLISIS, CONTROL Y MONITOREO DE VARIABLES DE CAUDAL Y TEMPERATURA, MEDIANTE SISTEMA SCADA:**

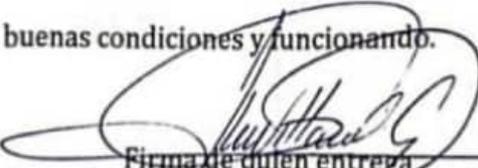
Blower 0,5 HP, tierra unida SL, incluye caja de tol galvanizado

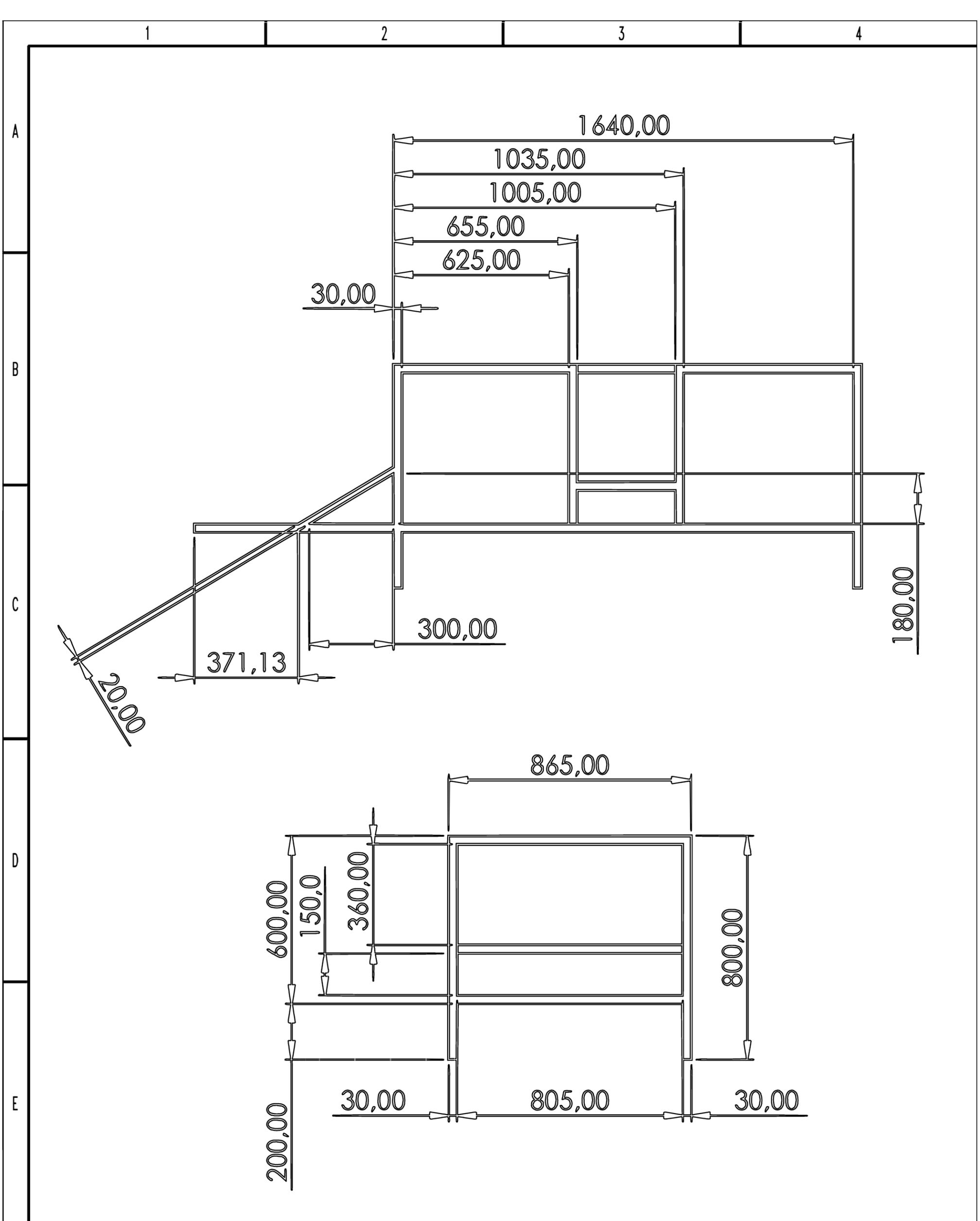
A los señores Chiluisa Ronal CI 0503731135 y Defaz Brayan CI 0503973984 para que desarrollen el proyecto de titulación "**Análisis del consumo de energía de una secadora rectangular con el uso de intercambiadores de calor**", siendo su tutor el Ing. Enrique Torres, quien es responsable del buen uso y devolución de los equipos y elementos.

Los equipos entregados se encuentran en buenas condiciones y funcionando.

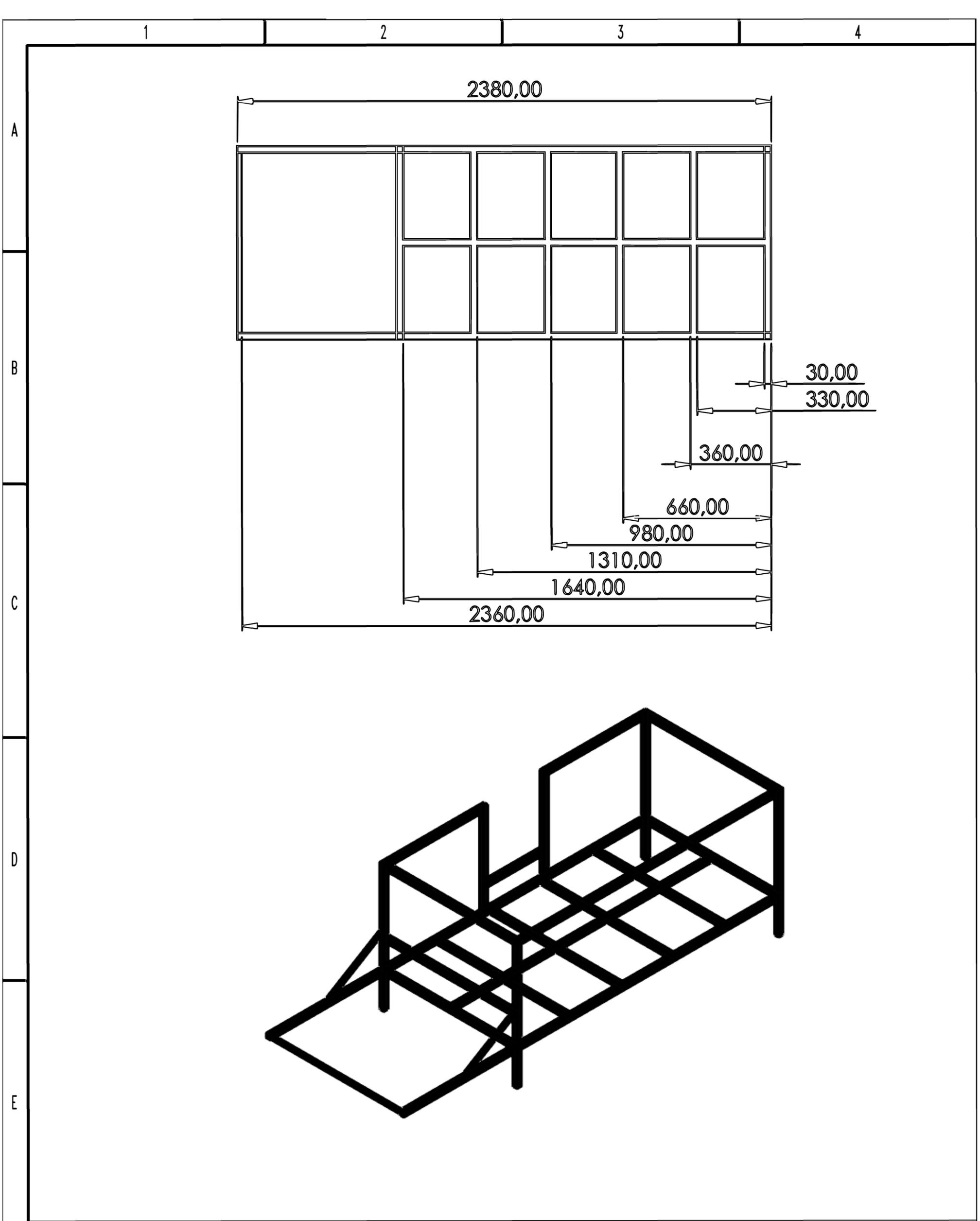

Firma de quien recibe
Nombre: Ronald Chiluisa
CI: 050373113-5
0981955225


Bryan Defaz
050397398-4
0987323530


Firma de quien entrega
Nombre: JORGE VILLARROZ
CI: 0502943491



				tolerancias	(Peso)	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	
					Nombre	ANÁLISIS DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN UNA SECADORA DE CACAO RECTANGULAR CON EL USO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR	Escala 1:2
				Dib.	Chiluisa Ronald		
					Defaz Bryan		
				UTC		Fig1. Estructura de la máquina	ISO E 
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustituye a:)	



				tolerancias	(Peso)	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	
					Nombre	ANÁLISIS DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN UNA SECADORA DE CACAO RECTANGULAR CON EL USO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR	Escala 1:2
				Dib.	Chiluisa Ronald Defaz Bryan		
				UTC		Fig.	ISO E
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustituye a:)	

1

2

3

4

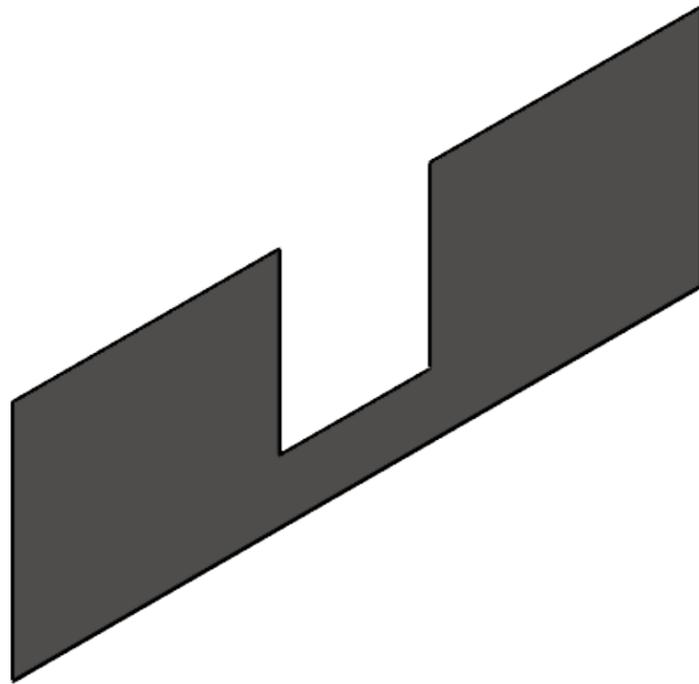
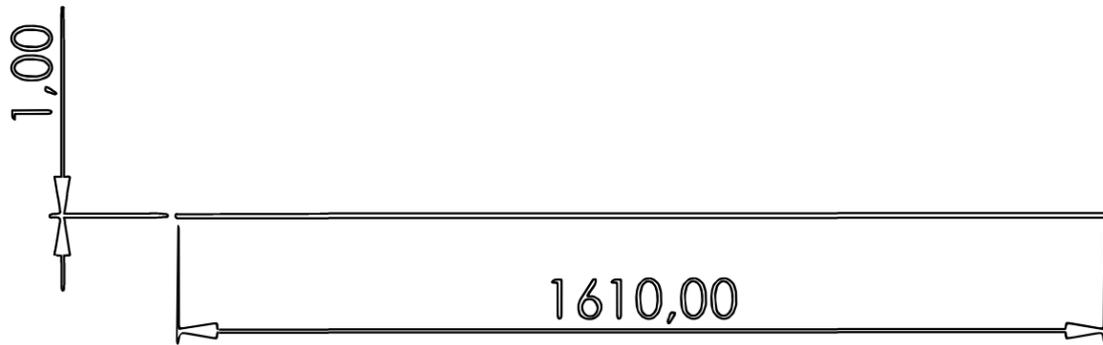
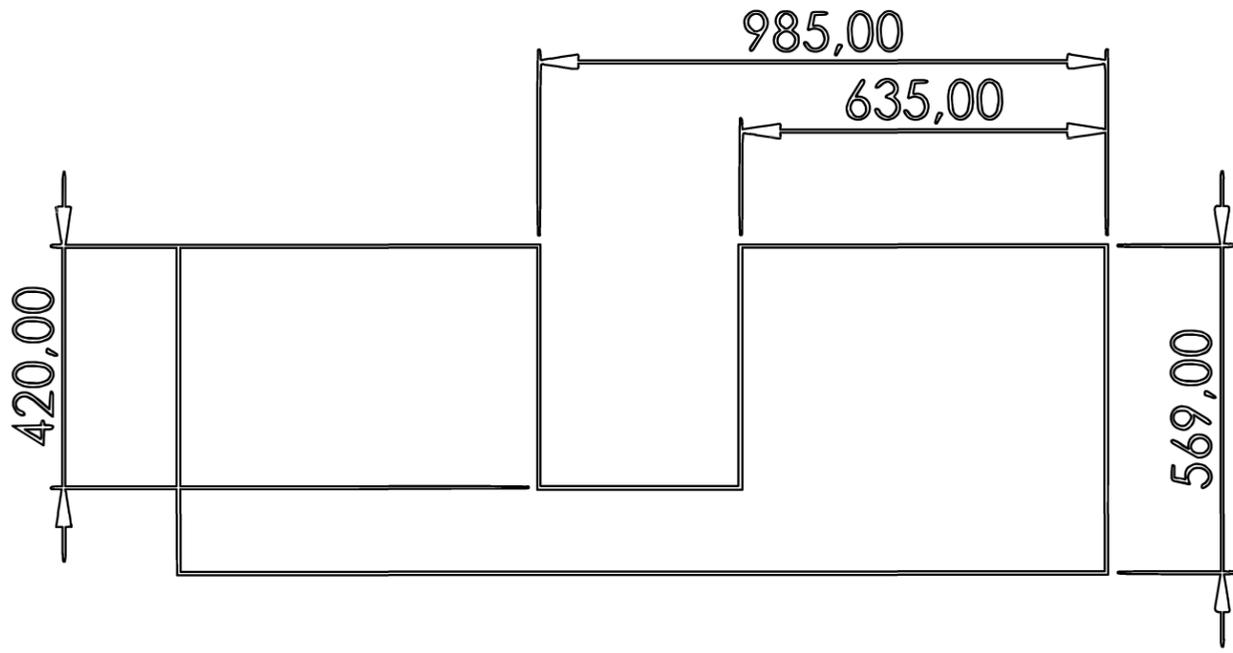
A

B

C

D

E



				tolerancias	(Peso)
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	UTC	

INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

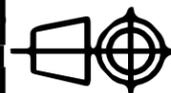
ANÁLISIS DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN UNA SECADORA DE CACAO RECTANGULAR CON EL USO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR

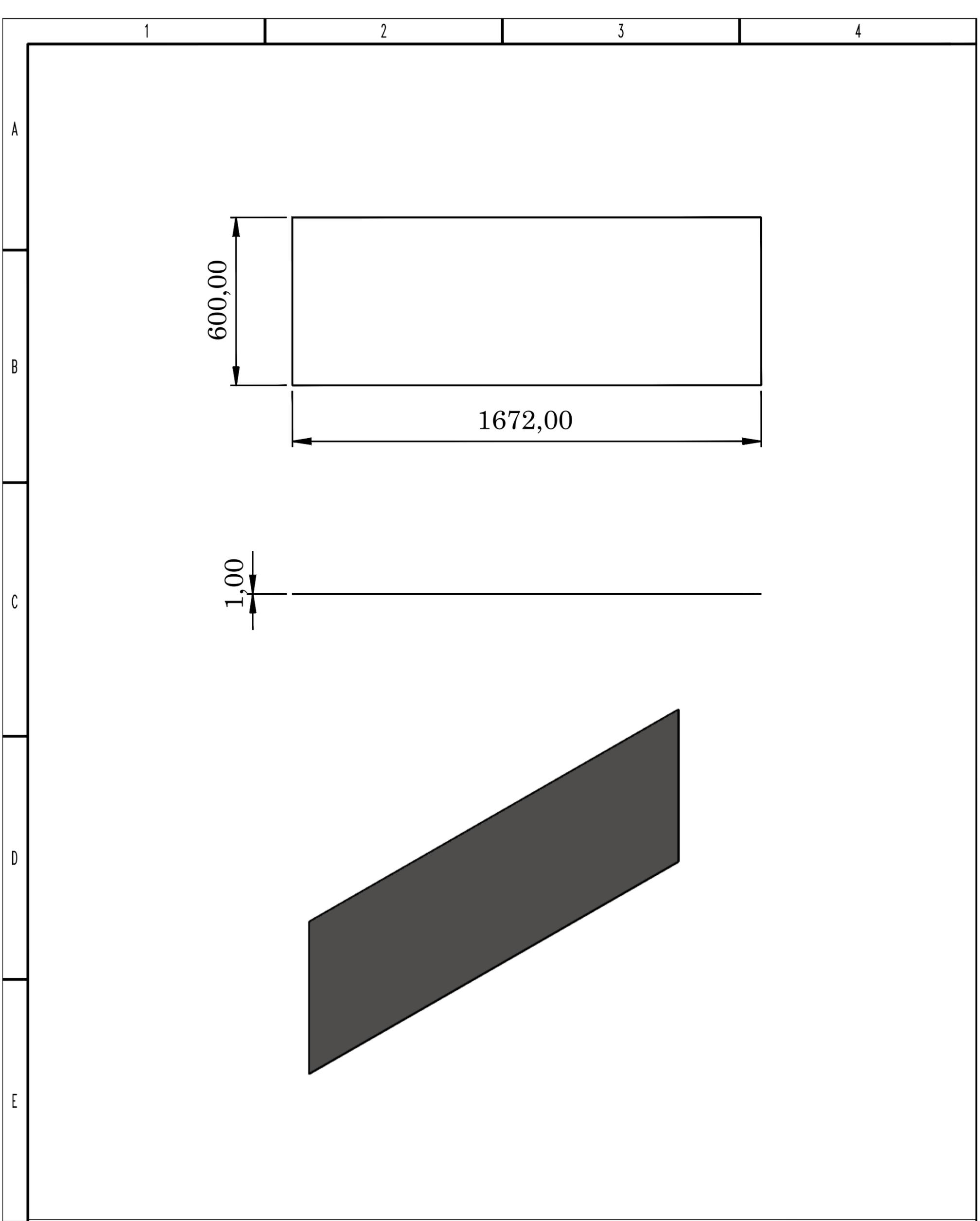
Escala
1:2

Fig.2 Recubrimiento frontal de la secadora

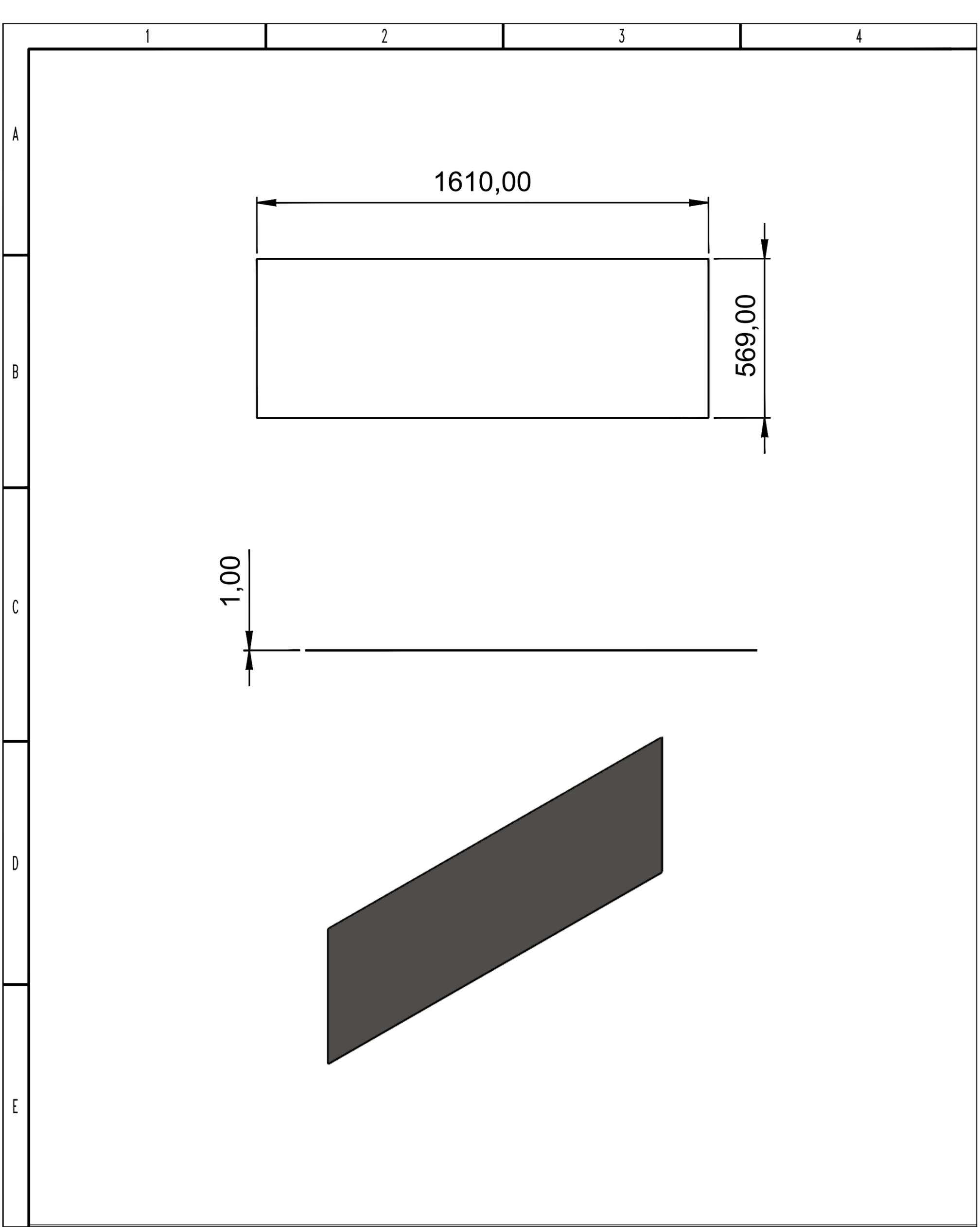
(Sustituye a:)

ISO E





				tolerancias	(Peso)	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	
						ANÁLISIS DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN UNA SECADORA DE CACAO RECTANGULAR CON EL USO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR	Escala 1:2
					Nombre		
				Dib.	Chiluisa Ronald Defaz Bryan		
				UTC		Fig. Recubrimiento Posterior parte exterior.	ISO E
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustituye a:)	



				tolerancias	(Peso)	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	
					Nombre	ANÁLISIS DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN UNA SECADORA DE CACAO RECTANGULAR CON EL USO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR	Escala 1:2
				Dib.	Chiluisa Ronald		
					Defaz Bryan		
				UTC		Fig. Recubrimiento Posterior.	ISO E 
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				
						(Sustituye a:)	

1

2

3

4

A

866,00

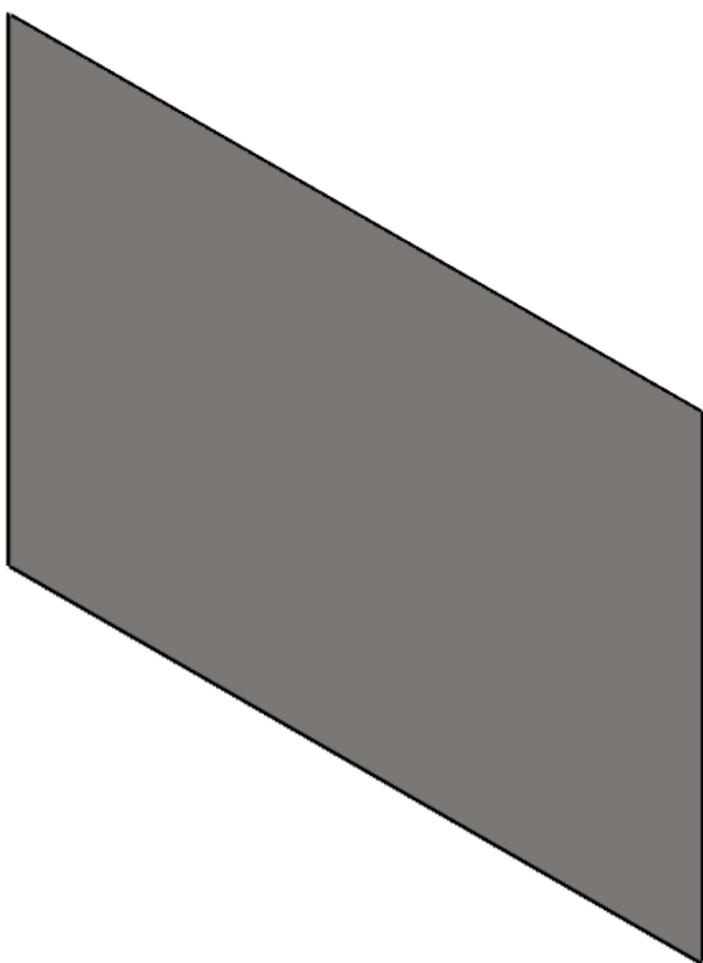
B

600,00

C

D

E



1,00

				tolerancias	(Peso)	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	
					Nombre	ANÁLISIS DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN UNA SECADORA DE CACAO RECTANGULAR CON EL USO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR	Escala 1:2
				Dib.	Chiluisa Ronald		
					Defaz Bryan		
				UTC		Fig. Recubrimiento de la parte derecha.	ISO E
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustituye a:)	

1

2

3

4

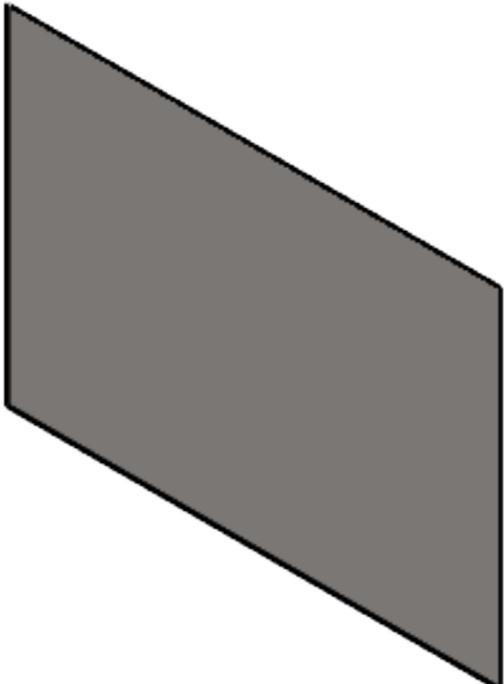
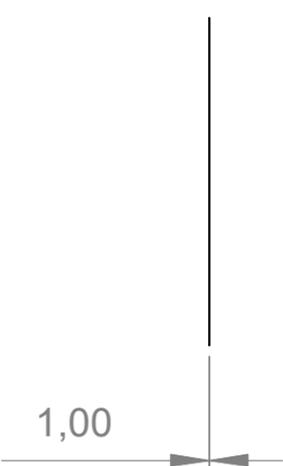
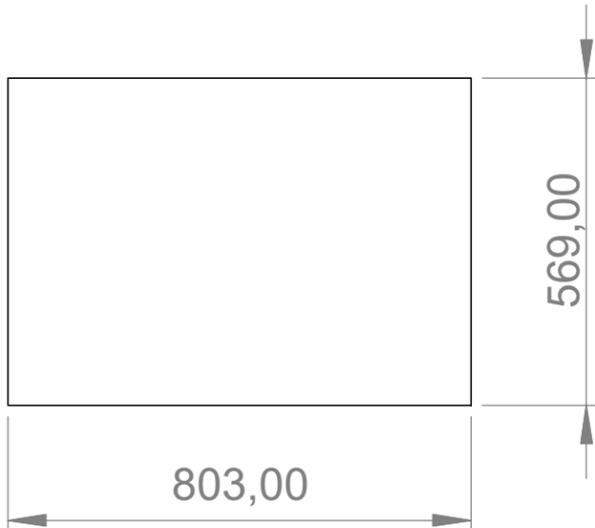
A

B

C

D

E



				tolerancias	(Peso)	INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA	
					Nombre	ANÁLISIS DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN UNA SECADORA DE CACAO RECTANGULAR CON EL USO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR	Escala 1:2
				Dib.	Chiluisa Ronald		
					Defaz Bryan		
				UTC		Fig. Recubrimiento interior de la parte derecha	ISO E
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				
						(Sustituye a:)	

1

2

3

4

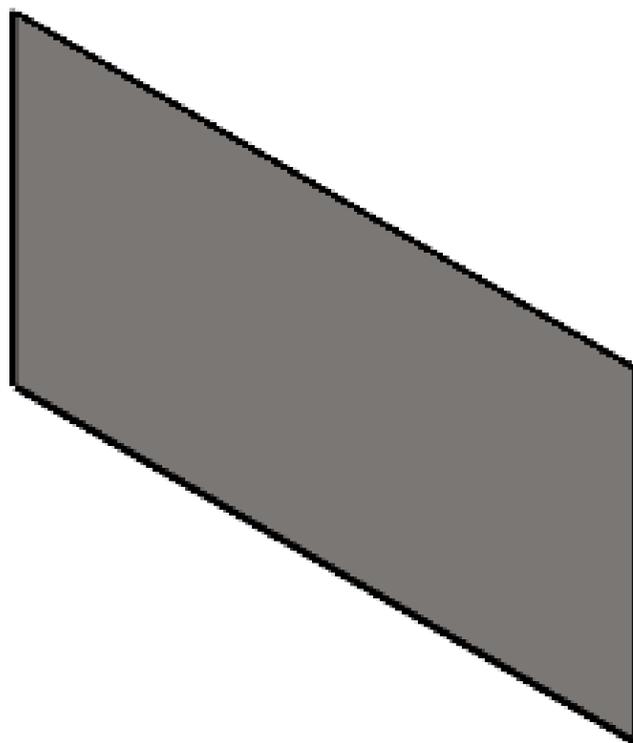
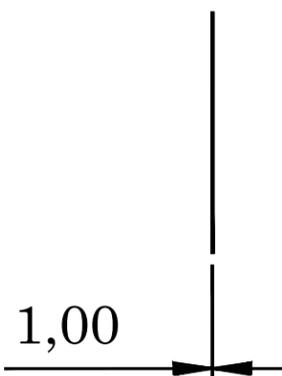
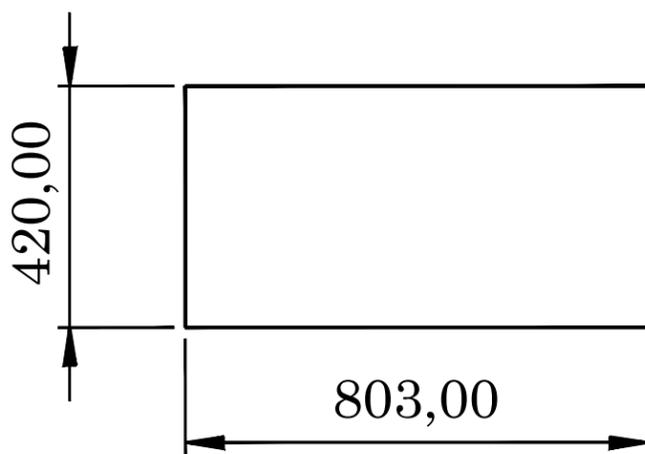
A

B

C

D

E



				tolerancias	(Peso)	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	
					Nombre	ANÁLISIS DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN UNA SECADORA DE CACAO RECTANGULAR CON EL USO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR	Escala 1:2
				Dib.	Chiluisa Ronald		
					Defaz Bryan		
				UTC		Fig. Recubrimiento interior de la parte izquierda	ISO E
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				
						(Sustituye a:)	

1

2

3

4

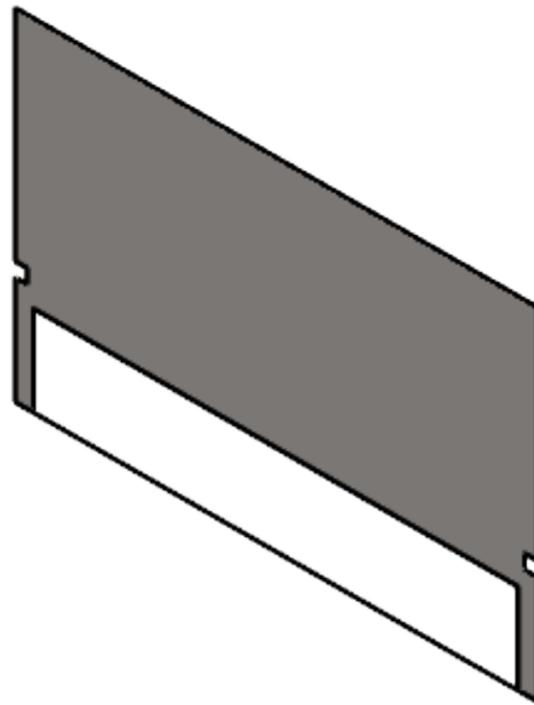
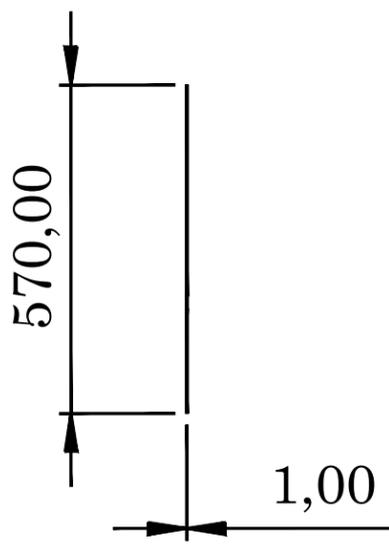
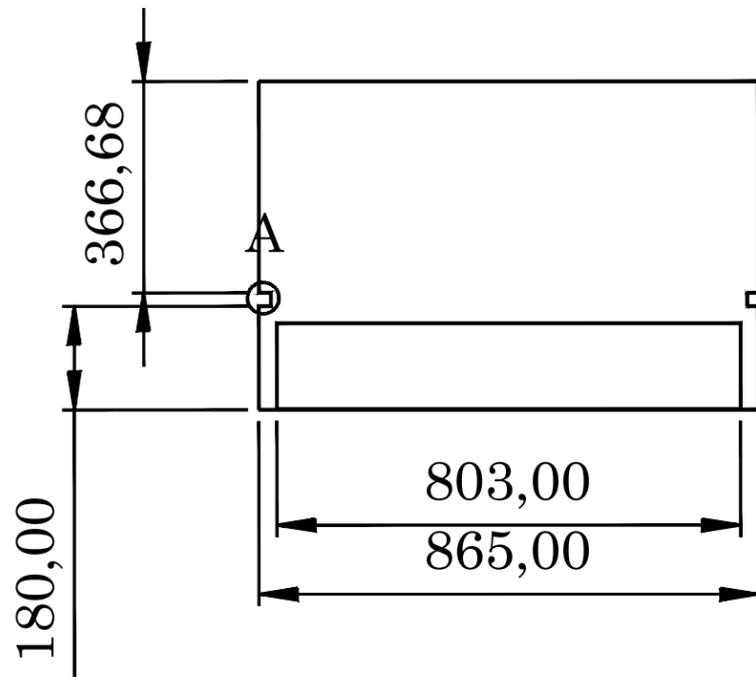
A

B

C

D

E



				tolerancias	(Peso)	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	
					Nombre	ANÁLISIS DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN UNA SECADORA DE CACAO RECTANGULAR CON EL USO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR	Escala 1:2
				Dib.	Chiluisa Ronald		
					Defaz Bryan		
				UTC		Fig. Recubrimiento interior de la parte izquierda	ISO E
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustituye a:)	

1

2

3

4

A

B

C

865,00

1670,00

1,00

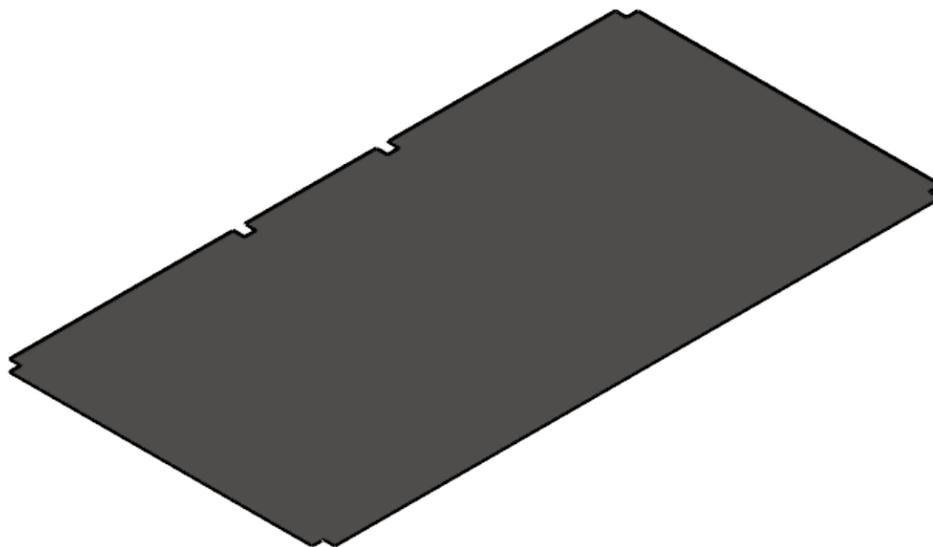
30,00

30,00

C

D

E



				tolerancias	(Peso)
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	UTC	

INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

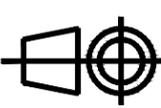
ANÁLISIS DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN UNA SECADORA DE CACAO RECTANGULAR CON EL USO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR

Escala
1:2

Fig. Recubrimiento en la parte del piso de la cama

ISO E

(Sustituye a:)



1

2

3

4

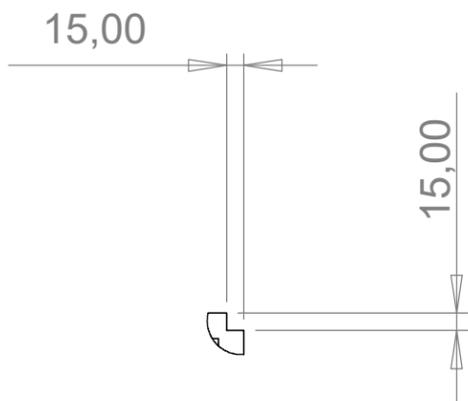
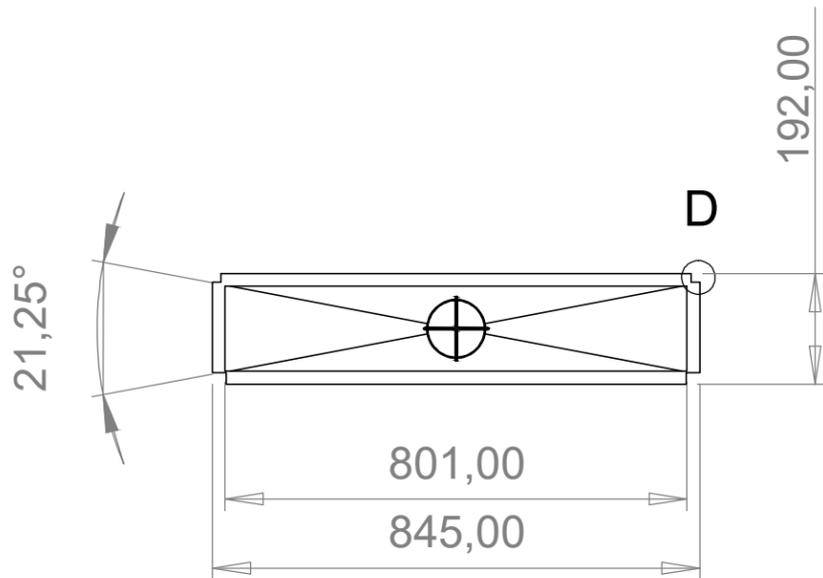
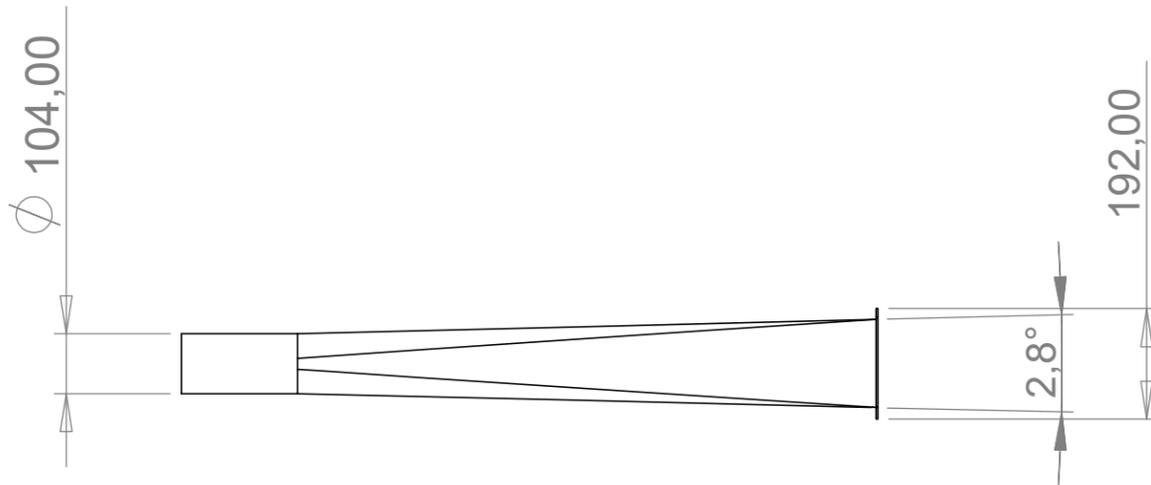
A

B

C

D

E



INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

ANÁLISIS DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN UNA SECADORA DE CACAO RECTANGULAR CON EL USO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR

Escala
1:2

UTC

Fig. Estructura del difusor

ISO E

(Sustituye a:)



tolerancias

(Peso)

Nombre

Dib.

Chiluisa Ronald

Defaz Bryan

Fecha

Nombre

Modificación

Edición

1

2

3

4

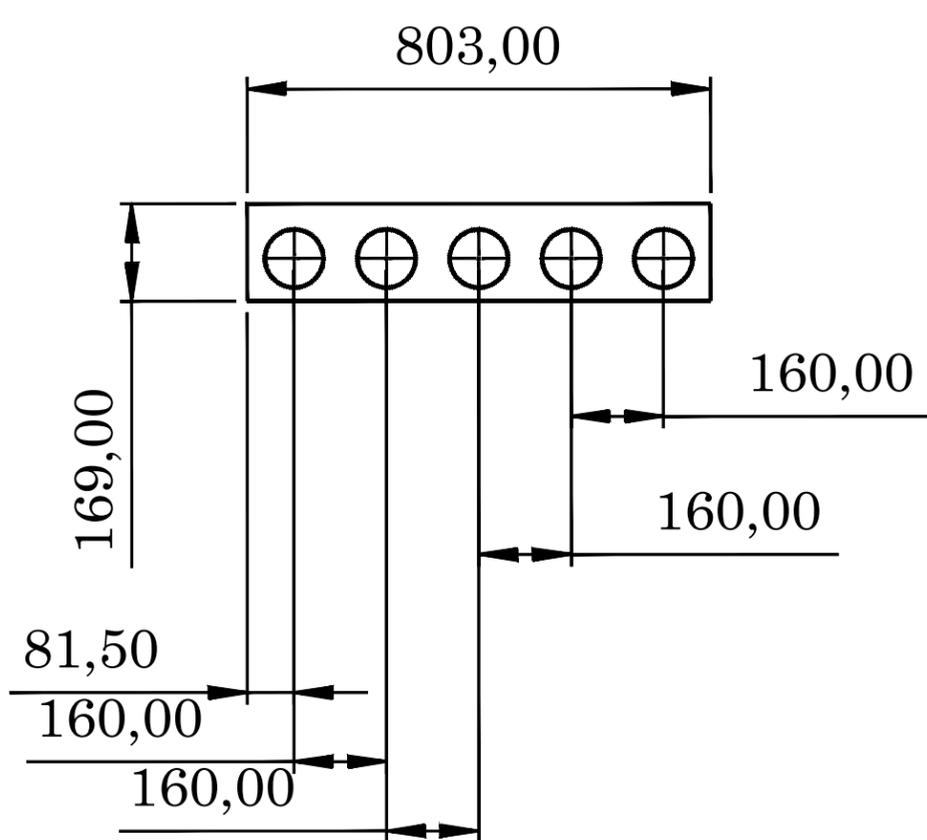
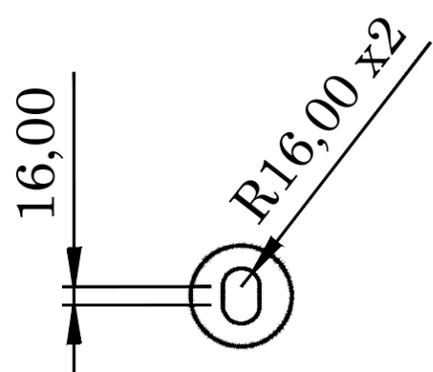
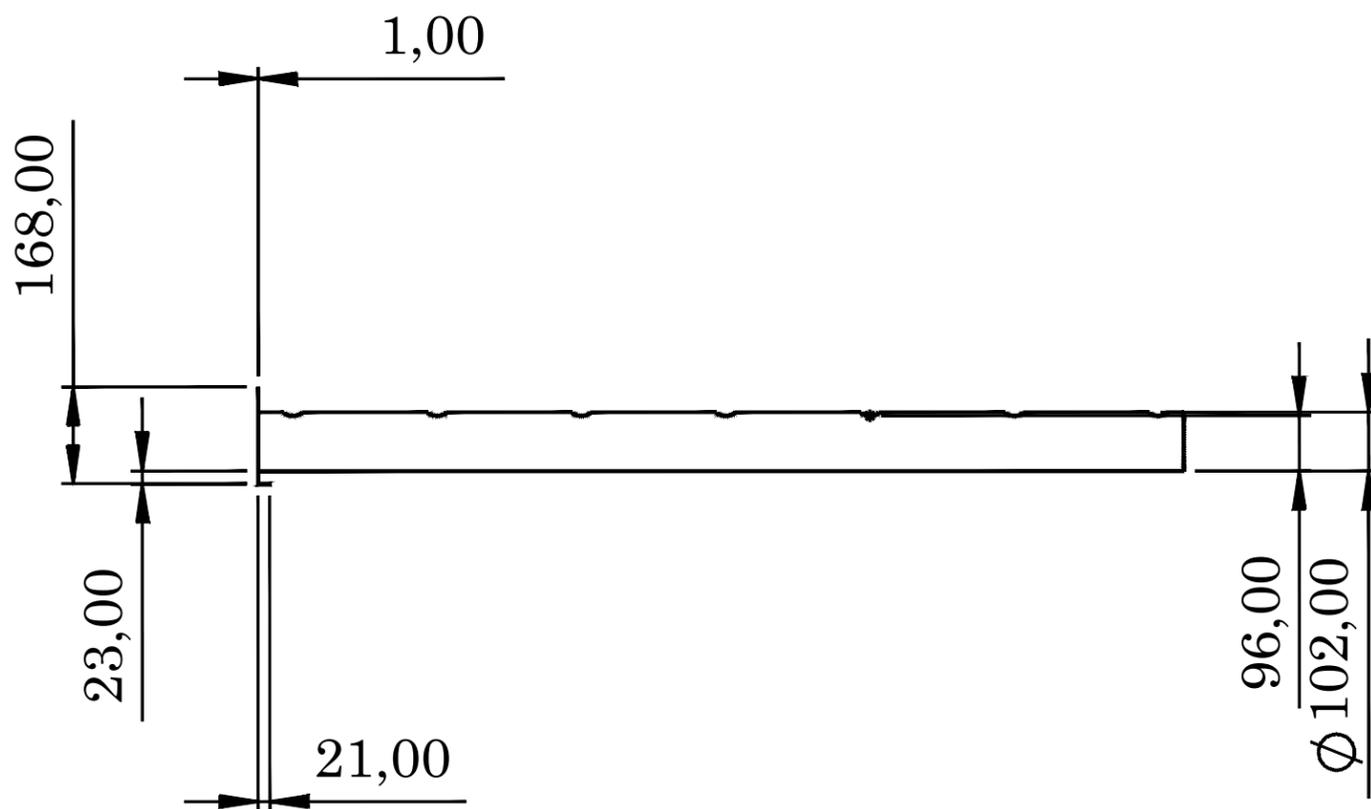
A

B

C

D

E



				tolerancias	(Peso)	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	
					Nombre	ANÁLISIS DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN UNA SECADORA DE CACAO RECTANGULAR CON EL USO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR	Escala 1:2
				Dib.	Chiluisa Ronald		
					Defaz Bryan		
				UTC		Fig. Estructura del dispersor de gas	ISO E
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustituye a:)	

