

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN
MECATRÓNICA TEMA:**

**CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA SECADORA DE
PELLETS DE BALANCEADO**

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

**AUTOR: DIANA CRISTINA CHAMORRO
SANGOQUIZA**

DIRECTOR: Ing. OCTAVIO ARIAS

Ibarra, Junio de 2012



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional determina la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información.

DATOS DEL CONTACTO	
Cédula de Identidad	1002330942
Apellidos y Nombres	Chamorro Sangoquiza Diana Cristina
Dirección	El Olivo. Nelson Dávila 2-81
Email	dianys15@hotmail.com
Teléfono Fijo	063012063
Teléfono Móvil	0983125612

DATOS DE LA OBRA	
Título	CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA SECADORA DE PELLETS DE BALANCEADO
Autor	Chamorro Sangoquiza Diana Cristina
Fecha	30 de Octubre de 2012
Programa	Pregrado
Título por el que se aspira	Ingeniería en Mecatrónica
Director	Ing. Octavio Arias

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Chamorro Sangoquiza Diana Cristina, con cédula de identidad Nro. 1003220942, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en forma digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad de material y como apoyo a la educación, investigación y extensión, en concordancia con la ley de Educación Superior Artículo 143.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL
NORTE

Yo, **Chamorro Sangoquiza Diana Cristina**, con cédula de identidad Nro. 1003220942, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, Artículos 4,5 y 6, en calidad de autor del trabajo de grado denominado. **“CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA SECADORA DE PELLETS DE BALANCEADO”**, que ha sido desarrollado para optar por el título de: **Ingeniero en Mecatrónica**, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en el formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Firma

Nombre: Chamorro Sangoquiza Diana Cristina

Cédula: 1003220942

Ibarra a los 30 días del mes de Octubre del 2012

DECLARACIÓN

Yo, DIANA CRISTINA CHAMORRO SANGOQUIZA, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado calificación profesional; y certifica la verdad de las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Diana Cristina Chamorro Sangoquiza

CERTIFICACIÓN

En calidad de Director de Trabajo de Grado, presentado por la señorita Diana Cristina Chamorro Sangoquiza, para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica, certifico que dicho trabajo fue realizado por mi supervisión.

Ing. Octavio Arias

DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A mis padres y hermanos por su apoyo incondicional.

A mi compañera de tesis, Erika Granda

Al Ing. Octavio Arias por guiarnos en este trabajo.

Al colegio Eugenio Espejo por darnos la oportunidad de realizar el proyecto en sus instalaciones especialmente al Dr. German Chamorro rector del establecimiento.

A todas las personas que de una u otra forma colaboraron y me brindaron ayuda para que este trabajo se lleve a cabo.

Dianys Ch.

DEDICATORIA

Con mucho cariño a mis padres, Susana y Germán que has sido mi fuente de energía y mi apoyo incondicional en todas las facetas de mi vida.

A Gina, Mayra, Viviana y Daniel por su comprensión, ayuda en momentos difíciles siendo un pilar muy importante.

A mi sobrinito Matheo, que con su carisma ha pintado una sonrisa en mi rostro.

Dianys Ch.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PAGINA
DECLARACIÓN.....	IV
CERTIFICACIÓN.....	V
AGRADECIMIENTO	VI
DEDICATORIA.....	VII
ÍNDICE GENERAL	VIII
RESUMEN.....	XIV
SUMARY.....	XV
PRESENTACIÓN	XVI
CAPITULO I	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.1.1. METODOLOGÍA.....	1
1.2. CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO.	2
1.2.1. IMPORTANCIA DEL SECADO EN GENERAL.....	3
1.3. SECADO DE SÓLIDOS.....	4
1.4. PARÁMETROS INVOLUCRADOS EN EL SECADO.....	4
1.4.1. TRANSFERENCIA DE CALOR.....	5
1.5. FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE SECADO.....	13
1.6. CLASIFICACIÓN DE LOS SECADORES.....	15
1.6.1. Secadores Rotatorios.....	17
1.7. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	21
1.7.1. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS EXISTENTES	21
1.7.2. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS.....	22
1.7.3. ALTERNATIVA B: SECADOR CONTINUO DE TÚNEL.....	23
1.7.4. FACTORES PARA LA EVALUACIÓN DE LA ALTERNATIVA	25
1.7.5. EVALUACION DE ALTERNATIVAS.....	26
1.7.6. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS	30
CAPITULO II.....	31
DISEÑO DEL SECADOR DE PELLETS	31
2.1. DISEÑO MECÁNICO DEL SECADOR.....	31
2.1.1. DETALLE DEL PROCESO DE SECADO.....	31

2.1.2.	<i>CÁLCULOS PRELIMINARES DE DISEÑO.....</i>	<i>31</i>
2.1.3.	<i>PARÁMETROS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL SECADOR .</i>	<i>32</i>
2.1.4.	<i>DIMENSIONAMIENTO DEL SECADOR ROTATORIO</i>	<i>33</i>
2.1.5.	<i>TIEMPO DE RETENCIÓN.....</i>	<i>35</i>
2.1.6.	<i>ÁNGULO DE INCLINACIÓN Y ROTACIÓN DEL CILINDRO.....</i>	<i>36</i>
2.1.7.	<i>SELECCIÓN DEL ESPESOR DEL CILINDRO</i>	<i>37</i>
2.1.8.	<i>SELECCIÓN DEL MOTOR DE GIRO DEL CILINDRO.....</i>	<i>39</i>
2.1.9.	<i>DISEÑO DEL EJE DE TRANSMISIÓN DEL CILINDRO DE SECADO</i> <i>46</i>	
2.1.10.	<i>SELECCIÓN DE LOS RODAMIENTOS.....</i>	<i>52</i>
2.1.11.	<i>DIMENSIONAMIENTO DE LA CHAVETA</i>	<i>54</i>
2.1.12.	<i>DISEÑO DE LOS ELEVADORES.....</i>	<i>56</i>
2.2.	<i>DISEÑO ENERGÉTICO</i>	<i>57</i>
2.2.1.	<i>CALOR CONSUMIDO POR EL SISTEMA.....</i>	<i>57</i>
2.2.2.	<i>CALOR CONSUMIDO POR EL PELLET.....</i>	<i>57</i>
2.2.3.	<i>SELECCIÓN DEL ESPESOR ÓPTIMO DEL AISLAMIENTO</i>	<i>58</i>
2.3.	<i>DISEÑO DEL CONTROL DE TEMPERTURA</i>	<i>62</i>
2.3.1.	<i>CÁLCULOS PARA LA POTENCIA REQUERIDA DEL SISTEMA.....</i>	<i>64</i>
2.3.2.	<i>ELEMENTO PRIMARIO DE CONTROL.....</i>	<i>64</i>
2.3.3.	<i>SENSOR PT100.....</i>	<i>66</i>
2.4.	<i>DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONTROL.....</i>	<i>67</i>
2.4.1.	<i>CARACTERISTICAS DEL PLC.....</i>	<i>68</i>
2.4.2.	<i>PANTALLA LOGO TD.....</i>	<i>69</i>
2.4.3.	<i>MÓDULO DE AMPLIACIÓN.....</i>	<i>70</i>
CAPITULO III		73
3.1.	<i>CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA DE ESTUDIO.....</i>	<i>73</i>
3.1.1.	<i>ETAPAS DE CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO</i>	<i>75</i>
3.1.2.	<i>DIAGRAMA DE FLUJO DE CONSTRUCCIÓN.....</i>	<i>75</i>
3.1.3.	<i>CÁMARA DE SECADO.....</i>	<i>76</i>
3.1.4.	<i>EJE MOTRIZ.....</i>	<i>78</i>
3.1.5.	<i>SISTEMA ESTRUCTURAL.....</i>	<i>79</i>
3.1.6.	<i>ALIMENTACION Y DESALOJO DEL PRODUCTO</i>	<i>80</i>
3.1.7.	<i>CONSTRUCCION DE LA CAJA DE CONTROL.....</i>	<i>81</i>
3.1.8.	<i>MONTAJE.....</i>	<i>82</i>
3.1.9.	<i>SELECCIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN.....</i>	<i>84</i>
3.2.	<i>CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE</i> <i>CONTROL</i>	<i>85</i>
3.2.1.	<i>PROGRAMA DEL PLC LOGO.....</i>	<i>85</i>
3.2.2.	<i>DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA EN EL LOGO.</i>	<i>86</i>
3.3.	<i>CONSTRUCCIÓN DE LAS INSTALACIONES Y ALIMENTACIÓN</i>	<i>87</i>

3.3.1.	CONEXIONES ELECTRICAS DEL VENTILADOR	87
3.3.2.	CONEXIONES ELECTRICAS DE LAS RESISTENCIAS	88
3.3.3.	CONEXIONES ELECTRICAS DEL MOTOR DEL CILINDRO	89
3.3.4.	CONEXIÓN DEL SENSOR DE TEMPERATURA.....	91
CAPÍTULO IV.....		93
4.1.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	93
4.1.1.	CONCLUSIONES.....	93
4.1.2.	RECOMENDACIONES.....	94
BIBLIOGRAFÍA		95
ANEXOS		97

ANEXO A. DIAGRAMA DE CONECCIÓN VARIADOR ALTIVAR 11

ANEXO B. FUENTE DE ALIMENTACIÓN 24V LOGO!

ANEXO C. ESTRUCTURA LOGO

ANEXO D. DATOS TÉCNICOS LOGO! 12/24RC

ANEXO E. DATOS TÉCNICOS LOGO! 12/24RC

ANEXO F. DATOS TÉCNICOS LOGO! 12/24RC

ANEXO G. DATOS TÉCNICOS LOGO! 12/24RC

ANEXO H. DATOS TÉCNICOS MÓDULO DE AMPLIACIÓN

ANEXO I. DATOS TÉCNICOS MÓDULO DE AMPLIACIÓN

ANEXO J. DATOS TÉCNICOS LOGO! TD

ANEXO K. VALORES NORMALIZADOS CABLES A.W.G

ANEXO L. DATOS TÉCNICOS MÓDULO DE AMPLIACIÓN

ANEXO M. DATOS TÉCNICOS MÓDULO DE AMPLIACIÓN

ANEXO N. PROGRAMA IMPLEMENTADO EN LOGO SOFT

ANEXO O. MANUAL DE USUARIO DE LA MÁQUINA

ANEXO P. PRUBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA SECADORA

ANEXO Q. PLANOS

ÍNDICE DE FIGURAS, DIAGRAMAS Y GRÁFICOS

FIGURAS

FIGURA 1. ESQUEMA DE LOS MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.....	6
FIGURA 2. MECANISMO DE CONDUCCIÓN.....	6
FIGURA 3. MECANISMO DE CONVECCIÓN.....	7
FIGURA 4. PARTES DE LA CORAZA DE UN SECADOR ROTATORIO DIRECTO (CE RAYMONDVBARLLETSNOWCO.).....	17
FIGURA 5. PARTE INTERNA DE UN SECADOR ROTATORIO DIRECTO (CE RAYMONDVBARLLETSNOWCO.).....	18
FIGURA 6. SECADOR ROTATORIO EN FLUJO PARALELO.....	18
FIGURA 7. SECADOR ROTATORIO DIRECTO EN CONTRAFLUJO.....	19
FIGURA 8. SECADOR ROTATORIO INDIRECTO.....	20
FIGURA 9. ESQUEMA DE LAS PARTES PRINCIPALES QUE CONFORMAN DEL SECADOR ROTATORIO DE MALLA (SECCIÓN TRANSVERSAL).....	21
FIGURA 10. SECADOR DE TAMBOR CON FLUJO DE AIRE.....	22
FIGURA 11. SECADOR CONTINUÓ DE TÚNEL.....	24
FIGURA 12. COLOCACIÓN DE LOS VOLANTES SOLIDARIOS.....	41
FIGURA 13: UBICACIÓN DEL PELLET EN EL INTERIOR DEL SECADOR...	43
FIGURA 14: DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DEL EJE.....	46
FIGURA 15. DIAGRAMAS DE FUERZA CORTANTE EN EL EJE.....	48
FIGURA 16. DIAGRAMAS DE MOMENTO FLECTOR EN EL EJE.....	48
FIGURA 17. CHAVETA DEL EJE.....	54
FIGURA 18. DIAGRAMA DE LA CARGA SOBRE LOS ELEVADORES.....	56
FIGURA 19. PARTES Y TEMPERATURAS DEL CILINDRO DE SECADO.....	60
FIGURA 20. CIRCUITO TÉRMICO DEL FLUJO DE CALOR PERDIDO.....	60
FIGURA 22. CONEXIÓN ESTRELLA DE RESISTENCIAS.....	63
FIGURA 23. SENSOR PT100 TRES HILOS.....	66
FIGURA 24. SENSOR PT100 TRES HILOS.....	66
FIGURA 25. PLC DC 12/24 V LOGO.....	68
FIGURA 26. FUENTE DE 24VC.....	69

FIGURA 27. PANTALLA LOGO TD	69
FIGURA 28. MÓDULOS DE EXPANSIÓN ANALÓGICOS (AM2 RTD).....	70
FIGURA 29. MÓDULOS DE EXPANSIÓN SALIDAS A RELAY (MD8 24).....	71
FIGURA 30. CONSTRUCCIÓN DE LA CÁMARA DE SECADO.....	77
FIGURA 31. EJE MOTRIZ, CATALINA Y CHUMACERA	78
FIGURA 32. ESTRUCTURA DEL CILINDRO	80
FIGURA 33. CONSTRUCCIÓN DE LA CAJA DE CONTROL	81
FIGURA 34. MONTAJE DEL SECADOR ROTATORIO.....	84
FIGURA 35: VENTILADOR DE ALABES CON CARCASA.....	85
FIGURA 36: CAJA DE CONTROL IMPLEMENTADA	85
FIGURA 37: ACOUPLE DE MOTOR A EL VENTILADOR.....	87
FIGURA 38. CONEXIONES DE LAS RESISTENCIAS.....	88
FIGURA 39: VALORES DEL VARIADOR DE VELOCIDAD	89
FIGURA 40. VARIADOR ALTIVAR 11	91
FIGURA 41. PARÁMETROS DE LA PT100.....	91
FIGURA 42. DIAGRAMA DE CONEXIONES DE LA PT100.....	92

DIAGRAMAS

DIAGRAMA 1. CLASIFICACIÓN DE LOS SECADORES SEGÚN SU TIPO DE PRODUCCIÓN	16
DIAGRAMA 2: CONTROL DE TEMPERATURA	67
DIAGRAMA 3. DIAGRAMA DE FLUJO, CONSTRUCCIÓN DE CÁMARA DE SECADO.....	76
DIAGRAMA 4. DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA MOTRIZ.....	78
DIAGRAMA 5. DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA ESTRUCTURAL	79
DIAGRAMA 6. DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN Y DESALOJO DEL PRODUCTO.....	80
DIAGRAMA 7. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA CAJA DE CONTROL.....	81

TABLA

TABLA 1. ALTERNATIVAS DEL SECADOR.....	25
TABLA 2. CRITERIOS DE EVALUACIÓN	25
TABLA 3. CRITERIOS DE EVALUACIÓN	27
TABLA 4. EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DEL CRITERIO COSTO .	28
TABLA 5. EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DEL CRITERIO FACILIDAD DE CONSTRUCCIÓN	28
TABLA 6. EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DEL CRITERIO FACILIDAD DE OPERACIÓN	28
TABLA 7. EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DEL CRITERIO MANTENIMIENTO	29
TABLA 8. EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DEL CRITERIO VERSATILIDAD.....	29
TABLA 9. EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DEL CRITERIO SEGURIDAD.....	29
TABLA 10. EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS.....	30
TABLA 11. DIÁMETRO Y LONGITUD QUE CUMPLEN LOS REQUERIMIENTOS DE PRODUCCIÓN	34
TABLA 12. TIEMPO DE PERMANENCIA, ÁNGULO DE INCLINACIÓN Y VELOCIDAD DE GIRO DEL CILINDRO DE SECADO.....	36
TABLA 13. COMPARACIÓN DE SENSORES DE TEMPERATURA	65
TABLA 14. TIPOS Y DESIGNACIONES DE MÁQUINAS HERRAMIENTAS Y EQUIPOS.....	73
TABLA 15. OPERACIONES TECNOLÓGICAS.....	74
TABLA 16. SIMBOLOGÍA ESTÁNDAR PARA DIAGRAMA DE FLUJO	75
TABLA 17. ACTIVIDADES PARA EL MONTAJE.....	82

CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA SECADORA DE PELLETS DE BALANCEADO

Autor: Diana Chamorro

Tutor: Ing. Octavio Arias

Año: 2012

RESUMEN

El trabajo detallado a continuación se fundamenta en la transferencia de calor y la necesidad de solucionar el problema de alto contenido de humedad en los pellets después de su formación, pretendiendo mejorar el proceso de secado por medio de la automatización industrial.

Se realizó el diseño mecánico del secador para posteriormente implementar los elementos de control: tanto sensores y actuadores. Efectuando un debido proceso para que realice las operaciones necesarias.

Para un buen funcionamiento de la máquina secadora de pellets automatizada, se implementó un sistema donde se puede manipular la variable de temperatura dándonos la opción de elegir el set point de operación. La misma que será procesada por el sistema de control el cual está encargado de enviar las señales a los actuadores dependiendo de su estado.

Al tener un control automático de la máquina secadora, se logra reducir la humedad al 12% que es el valor aceptable para el almacenamiento adecuado mejorando la calidad del producto.

CONSTRUCTION OF PELLETS DRYING MACHINE

Author: Diana Chamorro

Tutor: Ing. Octavio Arias

Year: 2012

SUMMARY

The work detailed below is based on heat transfer and the need to solve the problem of high moisture content in the pellets after its formation, trying to improve the drying process through automation.

Was performed the mechanical design of the drying, to subsequently implement control elements, both sensors and actuators. Performing due process to carry out the necessary operation.

For proper operation of automated pellet drying machine, was implemented a system where can be manipulated the temperature variable, giving us the option to choose the operating set point. It will be processed by the control system which is responsible for sending signals to the actuators depending on its state.

By having an automatic control of the drying machine, moisture is reduced to 12% which is an acceptable value for proper storage, improving product quality.

PRESENTACIÓN

La construcción de la máquina secadora de pellets de balanceados, está estructurado en cuatro capítulos: Marco teórico donde se detalla conceptos generales y aspectos intervinientes en el proceso de secado, diseño del secador, construcción y montaje de la máquina, conclusiones y recomendaciones.

El primer capítulo, se detalla especificaciones del producto a secar, fundamento teórico e información utilizada en la elaboración de la máquina, como transferencia de calor, tipos de secadores, selección del secador.

El segundo capítulo, presenta el diseño mecánico, diseño energético, diseño de control, así como el diseño de temperaturas requeridas para el buen funcionamiento de la máquina.

En el tercer capítulo, se realiza en forma detallada los pasos seguidos para la construcción y el montaje de los todos los componentes de la máquina.

En el cuarto capítulo, se detalla las conclusiones y recomendaciones así como también el manual de usuario de la máquina.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES

Los moradores de la cuenca baja del río Mira, en la mayoría son dedicados al sector pecuario, el comercio de los mismos sirve de sustento para sus familias lo que hace indispensable la adquisición de productos balanceados para las diferentes especies animales.

El colegio Eugenio Espejo de la comunidad de San Juan de Lachas, está a cargo de la planta de balanceados Espejo. Esta planta sirve para abastecer a todos los sectores de balanceado en polvo y morochillo molido haciendo que la producción en la planta sea de gran importancia para el sector.

Los pellets deben ser tratados mediante el proceso de secado como parte complementaria de la producción para lograr calidad del producto final, los pellets que se produce en la actualidad tiene que pasar un secado manual al aire libre lo cual es un problema ya que el tiempo empleado es muy largo, existe la alta probabilidad de que se proliferen los microorganismos produciendo pérdida de calidad y proteínas.

Con estos antecedentes se plantea integrar el proceso de secado de pellets, con la instalación de un secador rotatorio automatizado.

1.1.1. METODOLOGÍA

Se diseñará un secador para pellets con lo que se continuará con el proceso de elaboración de balanceado en pellets que cubrirá las necesidades de producción de la zona. El secador de pellets constará de un cilindro rotatorio, sistema de obtención de aire seco, control de las variables mediante un PLC.

La implementación del secador giratorio para pellets contempla las siguientes fases:

1. Análisis de alternativas de los secadores.
2. Diseño de los elementos constitutivos del secador.

3. Elaboración de los planos de construcción.
4. Elaboración de la parte mecánica del secador
5. Elaboración de las instalaciones para obtener aire seco.
6. Elaboración del sistema de control.
7. Pruebas de la parte mecánica y de control.
8. Conclusiones y recomendaciones.

1.2. CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO.

El diseño de la máquina será realizado para secar balanceado en forma de pellet, destinado a animales específicamente, por lo que es necesario especificar algunas características del producto:

1. El balanceado es una mezcla de alimentos naturales pre cocidos, que contiene todos los ingredientes nutricionales necesarios para cada especie animal y su correspondiente raza, edad, peso corporal, estado fisiológico, etc.
2. Pellet es una denominación genérica, no española, utilizada para referirse a pequeñas porciones de material aglomerado o comprimido.
3. Para obtener pellet se requiere que los diferentes macro y micro componentes pasen por los diferentes procesos.
 - Molido.
 - Mezclado.
 - Peletizado.
 - Secado.

La máquina peletizadora está encargada de la elaboración de los pellets a partir de los materiales en polvo ya sea de macro componentes como la harina de cebada, morochillo, sorgo, trigo, harina de pescado, aceite de palma, melaza y de micro componentes, sal premezcla lisina metionina etc., los mismos que primero pasan por la mezcladora para luego seguir el proceso de peletizado que es donde se agrega la cantidad necesaria de vapor, acondicionando la mezcla para la formación del pellet, los mismos que varían dependiendo para que especie de animal se desea elaborar.

Los pellets deben ser secados porque provienen de un proceso de dosificación de vapor, lo que hace que se tenga el producto con altos niveles de humedad haciendo que los microorganismos se proliferen a grandes velocidades. Por esta razón es necesario realizar el secado de los pellets reduciendo el valor de la humedad hasta niveles que no perjudique las propiedades del producto, y puedan ser almacenados ya que las características que tiene el producto comercial presentan un contenido de humedad inferior al del proceso.

El pellet al estar formado por componentes que en su gran mayoría contienen alto porcentaje de almidón, es conveniente llevarle a un proceso de calentamiento para que estos sean asimilables en los organismos de los animales y así sea de mayor utilidad el consumo del mismo.

La finalidad del proceso de reducción de humedad es de alargar la vida del producto en su almacenamiento, evitando la proliferación de microorganismos sin deteriorar su calidad.

1.2.1. IMPORTANCIA DEL SECADO EN GENERAL

La importancia del secado de los productos radica en que algunos productos que en la mayoría son agrícolas, preserven y mejoren sus propiedades, dándoles mayor valor si éstos son para la exportación, o también mejorando la prolongación del tiempo de almacenamiento que necesitan, y reduciendo las pérdidas durante el mismo.

El proceso de secado se lleva a cabo desde hace miles de años. El propósito principal del secado, en el caso específico de los alimentos, es el de preservarlos de la manera más natural posible. El secado conlleva a la deshidratación en los alimentos, los cuales al no tener un contenido de humedad significativo inhibe el crecimiento bacteriano. Los alimentos deshidratados adecuadamente pueden durar meses sin que su almacenamiento refrigerado sea necesario.

Los tratamientos de los productos son importantes, como es el secado que es un tema de gran importancia, éste se lo realiza en alimentos, plantas, granos, etc., para evitar la descomposición por enzimas o fermentos, disminuir el

volumen, poder realizar el almacenamiento de granos, facilitar el transporte, como parte de un proceso de producción, para lograr homogeneidad de un producto, impide el desarrollo de microorganismos y reacciones de oxidación y de hidrólisis.

En la cadena de transformación y conservación de productos el secado ocupa un lugar importante ya que se realiza sobre un gran número de productos. El objetivo de secar los productos es conseguir un producto en las condiciones óptimas de estabilidad, y mejorar sus propiedades nutricionales y organolépticas.

1.3. SECADO DE SÓLIDOS

Consiste en separar pequeñas cantidades de agua u otro líquido de un material sólido con el fin de reducir el contenido de líquido residual hasta un valor aceptablemente mediante el aporte de calor. El secado es habitualmente la etapa final de una serie de operaciones.

Es necesario conocer el proceso de secado para así determinar las condiciones óptimas del secado.

El secado es muy importante en muchas industrias, las razones pueden ser una de éstas:

- Facilitar el manejo posterior del producto
- Permitir el empleo satisfactorio del mismo
- Reducir el costo del embarque
- Preservar los productos durante el almacenamiento y transporte
- Aumentar el valor o utilidad de productos residuales

1.4. PARÁMETROS INVOLUCRADOS EN EL SECADO

El tiempo total de secado depende cantidad de humedad que tiene al principio los pellets, la velocidad de secado y el porcentaje de humedad deseado.

A su vez la velocidad de secado depende de la intensidad de la corriente del aire, de la temperatura del mismo y de la cantidad de pellets a secar, es más rápida al inicio pero luego va disminuyendo a medida que avanza el proceso.

Se supone que un buen conocimiento de factores que intervienen en el proceso de secado y su control, se podrá realizar un mejor manejo y utilización de las instalaciones para obtener un proceso completamente eficiente.

Es importante mencionar que en el secado interactúan varios factores que hacen posible que éste proceso se lleve a cabo, la importancia de cada uno de ellos depende del material que se está secando, tales como:

- Transferencia de calor
- Procesos psicométricos
- Atmósfera de secado
- Condiciones externas
- Tipos de grano

1.4.1. TRANSFERENCIA DE CALOR

Transferencia de calor, en física, proceso por el que se intercambia energía en forma de calor entre distintos cuerpos, o entre diferentes partes de un mismo cuerpo que están a distinta temperatura. El calor se transfiere mediante convección, radiación o conducción. Aunque estos tres procesos pueden tener lugar simultáneamente, puede ocurrir que uno de los mecanismos predomine sobre los otros dos.

1.4.1.1. Mecanismos de transferencia de calor

La transferencia de calor siempre se produce del sistema de temperatura más elevada hacia el de temperatura más baja. La transferencia de calor se detiene cuando los dos sistemas alcanzan la misma temperatura. La energía no se transfiere de un sistema de temperatura baja a otro de temperatura más alta si no se realiza trabajo.

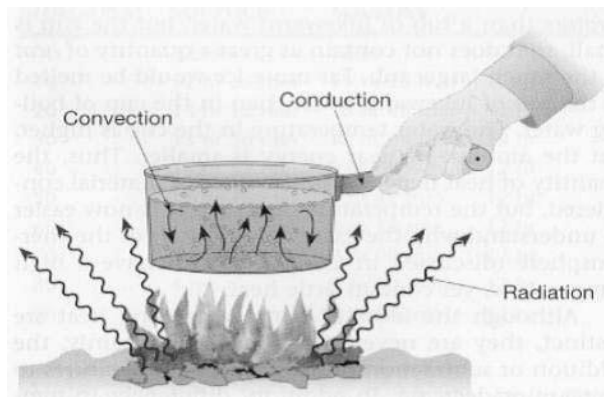
- **Calor.**

El calor se define como la energía cinética total de todos los átomos o moléculas de una sustancia.

- **Temperatura.**

La temperatura es una medida de la energía cinética promedio de los átomos y moléculas individuales de una sustancia.

Figura 1. Esquema de los mecanismos de transferencia de calor.



Fuente: Frank p. Incropera, Fundamentos de Transferencia de Calor

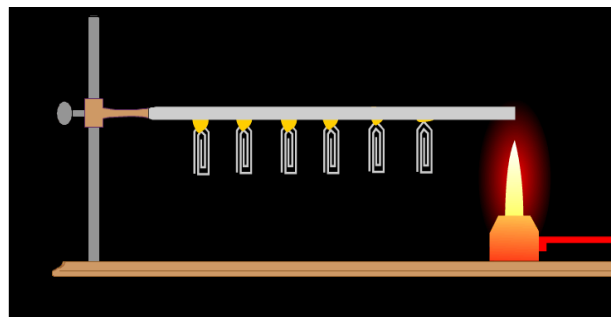
Los mecanismos de transferencia de calor pueden ser:

- Transferencia de calor por conducción.
- Transferencia de calor por convección
- Transferencia de calor por radiación

CONDUCCIÓN

Es un mecanismo de transferencia de calor, que se presenta a nivel molecular y por contacto de éste, donde las moléculas con mayor energía (mayor temperatura) ceden calor a los de menor energía (menor temperatura), tal como muestra la figura 2.

Figura 2. Mecanismo de conducción



Fuente: Métodos de transferencia de calor,
<http://trayectofisyk.blogspot.com/2010/05/tranferencia-de-calor.html>

$$q'' = -k \frac{dt}{dx} \quad \text{Ecuación: 1}$$

Donde:

k = Coeficiente de transferencia de calor por convección en $[W / m k]$

$\frac{dt}{dx}$ = Gradiente de temperatura en la dirección x

q'' = Flujo de calor por unidad de área $[W / m^2]$

CONVECCIÓN

Es un mecanismo de transferencia de calor, que se presenta entre una superficie y un fluido en movimiento, los que se encuentran a diferentes temperaturas.

Existen dos tipos de convección:

- **CONVECCIÓN NATURAL**

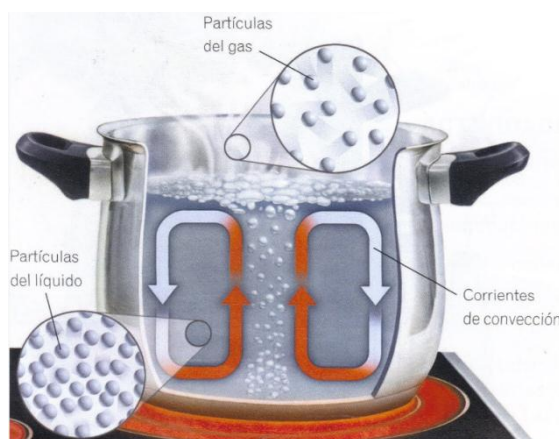
Cuando el movimiento es producido por el cambio de densidad que experimenta por las diferencia de temperaturas.

- **CONVECCIÓN FORZADA**

Cuando el movimiento es provocado por un agente externo al sistema, lo cual provoca el movimiento del fluido.

Éste mecanismo se muestra en la figura 3.

Figura 3. Mecanismo de convección



Fuente: Calor y luz, <http://www.noemi-g-noemi.blogspot.com/2010/06/5.html>

$$q'' = hc(T_s - T_\infty) \quad \text{Ecuación: 2}$$

Donde:

$hc =$ Coeficiente convectivo $[W / m^2 K]$

$T_s =$ Temperatura superficial $[^\circ C]$

$T_\infty =$ Temperatura media del fluido $[^\circ C]$

RADIACIÓN

Cualquier cuerpo que tenga temperatura emite calor, es decir es la temperatura emitida por la materia que se encuentra a una temperatura infinita.

La ecuación (3) que gobierna éste mecanismo es:

$$q'' = \varepsilon E_b(T_s^*) - \beta \sigma(T_s^{*4} - T_{alr}^{*4}) \quad \text{Ecuación: 3}$$

Donde:

q'' Flujo de calor por unidad de área $[W / m^2]$

ε : Emisividad [Adimensional]

β : Absortividad [Adimensional]

σ : Constante de Stefan Boltzmann $[5.67 \times 10^{-8} W/m^2.k^4]$

E_b : Potencia emisiva superficial $[W / m^2]$

T_s^* : Irradiación $[w / m^2]$

T_s^{*4} : Temperatura de la superficie $[^\circ K]$

T_{alr}^{*4} : Temperatura de los alrededores $[^\circ K]$

1.4.2. PROCESOS PSICROMETRICOS.

La psicometría es una rama de la ciencia que trata de las propiedades termodinámicas del aire húmedo y del efecto de la humedad atmosférica sobre el confort humano y sobre los materiales.

El fluido utilizado en el secado es precisamente aire, el cual deberá obtener una mayor cantidad de agua a la salida, por motivo de una transferencia de humedad del sólido al aire.

La cantidad de masa de agua que puede contener el aire depende directamente de la temperatura a la que se encuentre, por ejemplo el aire puede contener mayor cantidad de agua a medida que se eleva su temperatura.

Aplicaciones:

- Enfriamiento de agua con aire (torres de enfriamiento)
- Acondicionamiento de aire (humidificación/des- humidificación)
- Secado de granos

El contenido de humedad de una materia suele expresarse como porcentaje en peso respecto al material seco. Un sólido expuesto al aire a una determinada humedad y temperatura pierde o gana agua hasta alcanzar unas condiciones de equilibrio; el grado de humedad, en el equilibrio, depende de las características del material.

- **Humedad**

La humedad del solido usualmente se expresa como el contenido de agua en kg por unidad de masa de material seco o “mojado”, la humedad se expresa en base volumétrica se usa muy raramente. Es importante tener en cuenta cual base se está utilizando en cuestiones de diseño.

$$humedad = \frac{masa\ de\ agua}{masa\ de\ alimento} \quad \text{Ecuación: 4}$$

- **Humedad en base seca**, es la cantidad de agua que tiene el grano en relación solamente a la cantidad de materia seca. Esta humedad será siempre mayor que la anterior.

$$H_{bs} = \frac{m_w}{m_s} \quad \text{Ecuación: 5}$$

Donde:

H_{bs} : Humedad en base seca

m_s : masa de materia seca

m_w : masa de agua

- **Humedad en base húmeda**, es la cantidad de agua que tiene el grano en total, o sea, sobre su peso de materia seca más agua. Es el dato que dan los humidímetros comunes usados en el comercio.

$$H_{bh} = \frac{m_w}{m_w + m_s} = \frac{m_w}{m_t} \quad \text{Ecuación: 6}$$

Donde:

H_{bh} : Humedad en base húmeda

m_w : masa de agua

m_t : masa total

- **Humedad Absoluta del aire (X_w)**

Es la relación entre la masa de vapor de agua y la masa de aire seco contenidos en una muestra de aire, es decir, la masa de vapor de agua por unidad de masa de aire seco. Se expresa en kg/kg o g/kg de aire seco.

$$X_w = \frac{m_{H_2O}}{m_{Dry\ air}} = \frac{m_v}{m_A} \left[kg \frac{water}{kg} dry\ air \right] \quad \text{Ecuación: 7}$$

- **Humedad Específica del aire (ω).**

La humedad específica o absoluta del aire se define como la masa de vapor de agua contenido en una masa unitaria de aire seco, ecuación 8.

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} \left(kg \text{ de vapor de } \frac{agua}{vapor} \text{ aire seco} \right) \quad \text{Ecuación: 8}$$

- **Humedad Relativa (hr).**

Es el cociente entre la presión parcial del vapor y su presión de saturación a la misma temperatura, expresado en (%):

$$hr = \frac{P_v}{P_g} = \frac{m_v}{m_g} \quad \text{Ecuación: 9}$$

- **Temperatura de bulbo húmedo (tbh)**

El mecanismo del secado a velocidad constante está dado por la evaporación desde una superficie líquida y la presencia del sólido no afecta a este mecanismo., Sin embargo, el sólido puede alterar las propiedades de la superficie líquida y con ello la velocidad de evaporación es a veces distinta a la obtenida con el líquido puro. Este efecto del sólido es relativamente pequeño y habitualmente la reducción en la velocidad de evaporación no es mayor del 20%.

La velocidad de secado está determinada por la velocidad de difusión del vapor a través de la película gaseosa que recubre la superficie del secado hacia la corriente de gas, y una vez alcanzado el equilibrio, con la presencia de una cantidad relativamente grande de gas de secado, las condiciones son aproximadamente las que definen la temperatura de bulbo húmedo.

Cualquier punto de la superficie tiende entonces a adquirir la temperatura del bulbo húmedo correspondiente a la temperatura, humedad y cantidad del gas de secado. Si la cantidad de gas y sus características en el punto dado permanecen constantes, la temperatura superficial o de bulbo húmedo también es constante.

De acuerdo con ello la presión parcial y humedad en la superficie es también la presión parcial de saturación y la humedad de saturación a la temperatura de bulbo húmedo.

- **Temperatura de bulbo seco (tbs)**

Es la temperatura que marca un termómetro cuando se lo expone al aire ambiente, siendo éste una mezcla de aire y vapor de agua.

- **Punto de rocío o temperatura de saturación**

El punto de rocío o temperatura de rocío es la temperatura a la que empieza a condensarse el vapor de agua contenido en el aire, produciendo rocío, neblina o, en caso de que la temperatura sea lo suficientemente baja, escarcha.

- **Humedad de un sólido**

Es el peso de agua que acompaña a la unidad de peso de sólido seco.

- **Humedad de equilibrio.**

Es la humedad alcanzada por un sólido en equilibrio con una masa de aire a una determinada temperatura y humedad. También, es el límite de humedad que puede alcanzar un sólido en contacto con una masa de aire. Si la humedad del sólido es mayor que la humedad de equilibrio, el sólido se seca; si es menor, el sólido capta agua hasta la humedad de equilibrio.

- **Humedad libre.**

Es el exceso de humedad de un sólido, respecto a la humedad de equilibrio, en contacto con una determinada masa de aire. Es la humedad que puede perder un sólido después de un contacto prolongado con el aire.

- **Humedad ligada.**

Es la humedad de equilibrio de un sólido en contacto con una masa de aire de humedad relativa del 100 %. También, la humedad mínima necesaria para que el sólido deje de comportarse como higroscópico.

- **Humedad desligada.**

Es la diferencia entre la humedad del sólido y la humedad ligada, ó la humedad libre del sólido en contacto con aire saturado. El sólido se comporta como sólido húmedo.

1.4.3. ATMÓSFERA DE SECADO

Entre todos los procesos que se aplican para el secado demanda mayor consumo energético, como se sabe la energía es un producto caro. El agua debe evaporarse para que los pellets disminuyan la cantidad de humedad a niveles que posibiliten el almacenamiento seguro.

El exceso de humedad luego se realizar el proceso de formulación del pellets es una de las causas principales de la alta proliferación de micro organismos

haciendo que el producto pierda sus propiedades, de ahí el objetivo inmediato después de la formación del pellets será lograr el contenido de humedad.

En general los pellets vienen de un proceso de formación en el cual es inyectado vapor lo que hace que tenga un alto contenido de humedad, haciendo indispensable continuar con el proceso de secado para reducir la humedad.

En sí el pellet es una nueva forma de presentación del balanceado para animales, lo que le hace más comercial, sin embargo para la conservación es necesario que la cantidad de humedad sea mantenida dentro de ciertos límites. El aporte calórico puede ser realizado mediante diferentes mecanismos de transferencia de calor:

- **Por conducción:** Esta se realiza entre una superficie caliente que está en contacto con el producto a secar
- **Por convección:** Este se realiza entre el producto y un medio de calentamiento.
- **Por radiación:** Esta es producida cuando existe una generación interna de calor en el producto debida a la exposición de éste a rayos infrarrojos, microondas o calentamiento dieléctrico.

En todos los casos es necesario llevar el producto a la temperatura de ebullición del agua.

1.5. FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE SECADO

Los factores que intervienen en el proceso se los denominan a los que sin estar directamente relacionados intervienen directamente sobre la eficacia del secado

1.5.1. TEMPERATURA DEL AIRE

Cuanto mayor sea la temperatura mayor será la velocidad de secado. Al hablar de este parámetro no sólo nos referimos a la temperatura ambiente sino también a la del soporte y a la del entorno del sistema.

1.5.2. CONTENIDO DE HUMEDAD EN LOS GRANOS

Para saber hasta cuando secar un producto hay que tomar en cuenta que el material, contienen en su masa total una cantidad de agua y una cantidad de materia seca.

1.5.3. TEMPERATURA SUPERFICIAL

Es la temperatura de la superficie de la especie a secar. Esta temperatura en el secado y en sistemas considerados como aire-agua se lo considera igual a la temperatura de bulbo húmedo del aire.

1.5.4. VELOCIDAD DEL AIRE

Otro factor muy importante es la velocidad con la que ingrese el aire caliente, ya que de esta también dependerá el tiempo de secado, el menos tiempo de exposición, es decir, mayor velocidad, disminuye la eficacia del secado.

1.5.5. TEMPERATURA DE SECADO

En el secado de productos es importante realizar el estudio de los elementos que componen estos productos y su comportamiento a diferentes temperaturas para poder determinar la temperatura máxima admisible para el secado sin que ésta afecte en una mayor parte a sus componentes.

1.5.6. CURVAS DE SECADO

Son curvas construidas a partir de datos experimentales que dan información sobre la velocidad de secado de un alimento bajo determinadas condiciones.

Se obtienen preferiblemente en un equipo que reproduzca lo más fielmente posible el equipo de proceso usando condiciones de aire que se asemejen a las que se usan en el mismo.

La información obtenida de estas curvas es útil para propósitos de:

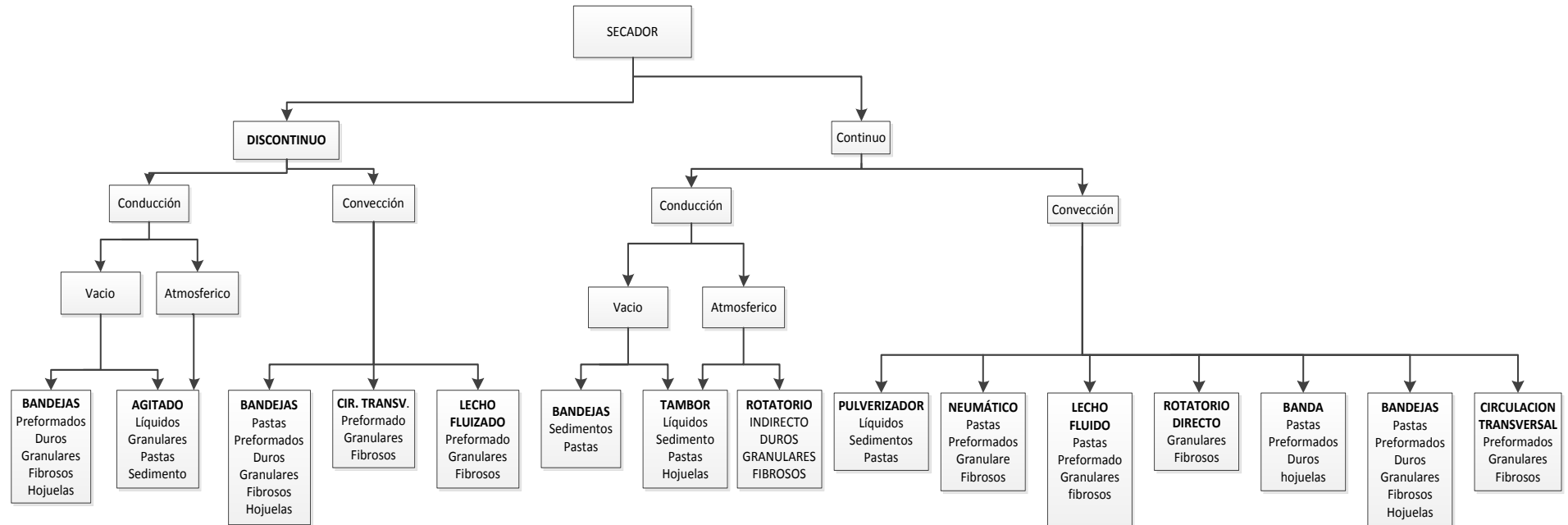
- Estimar el tamaño del secador
- Establecer las condiciones de operación
- Calcular, estimar o aún predecir el tiempo de secado

1.6. CLASIFICACIÓN DE LOS SECADORES

Se puede ver como existen varios métodos de secado, es importante notar que hay variaciones muy particulares en cada método, que se encuentra al estudiar uno en particular.

A continuación se ha realizado la siguiente clasificación de los secadores según el tipo de producción.

Diagrama 1. Clasificación de los secadores según su tipo de producción



Fuente: Nonhebel G “El secado de sólidos en la industria Química” España Ed. Reverté. 1979

En nuestro caso de estudio en particular nos encargaremos de estudiar más afondo los secadores rotatorios, siendo este tipo planteado en el anteproyecto a estudiar, para realizar la elección correcta dependiendo de nuestras necesidades.

1.6.1. Secadores Rotatorios

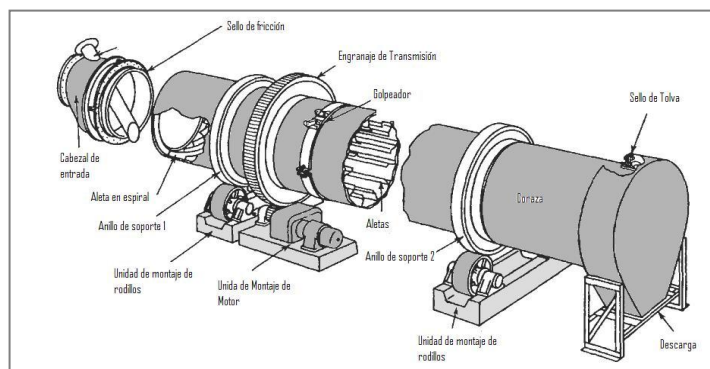
Los secadores rotatorios al usados en su mayoría para productos que no sean frágiles sensibles al calor, es por ello que son los más usados en la industria.

Consta de una coraza cilíndrica, usualmente construida de plancha de acero, dentro de la cual el material a secar ingresa por un lado y se descarga ‘seco’ del otro, ya que poseen una cierta inclinación que hace el desalojo más fácil. También consta de una configuración de aletas que levantan el material para secarlo como cascada. Diversos fabricantes de secadores tienen su propio diseño patentado de aletas, aunque ya existen diversos gráficos en donde se observan dichas configuraciones. El Secado puede ser directo o indirecto:

1.6.1.1. Secado Directo

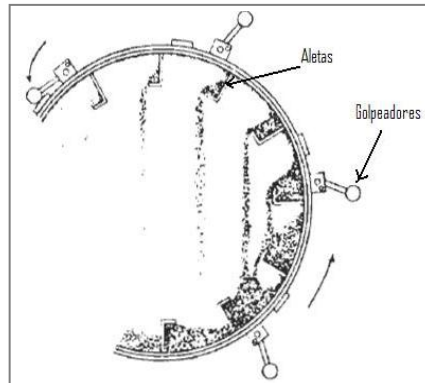
En este los gases calientes están en flujo paralelo o contraflujo con respecto al sentido de dirección del material. La transferencia de calor es por convección.

Figura 4. Partes de la coraza de un secador Rotatorio directo (CE RaymondvBarletSnowCo.)



Fuente: Secador Rotatorio, <http://spanish.alibaba.com/product-gs/rotary-dryer-with-iso9001-2008-295763545.html>

Figura 5. Parte interna de un secador Rotatorio directo (CE RaymondvBarletSnowCo.)

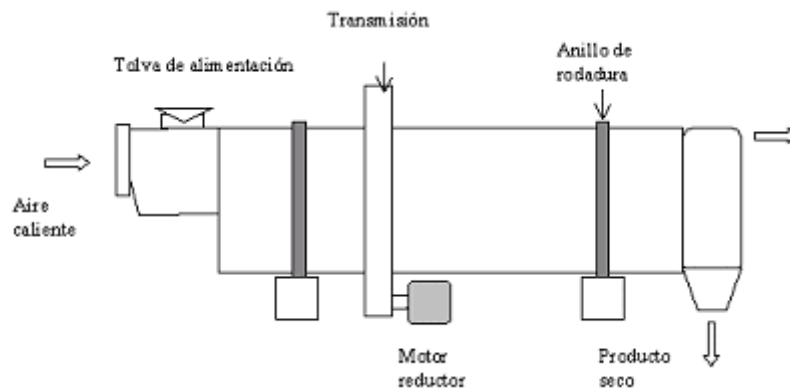


Fuente: Hardinge Co, Secador de aire caliente

Secador Rotatorio Directo en flujo paralelo

En este tipo de secador el material a secar avanza paralelamente a los gases y se lo utiliza principalmente para minerales, fertilizantes, pulpa de remolacha, los concentrados de flotación, el carbón / coque, fosfatos, alimentos para animales, el germen, como se muestra en la Figura 6.

Figura 6. Secador Rotatorio en flujo paralelo

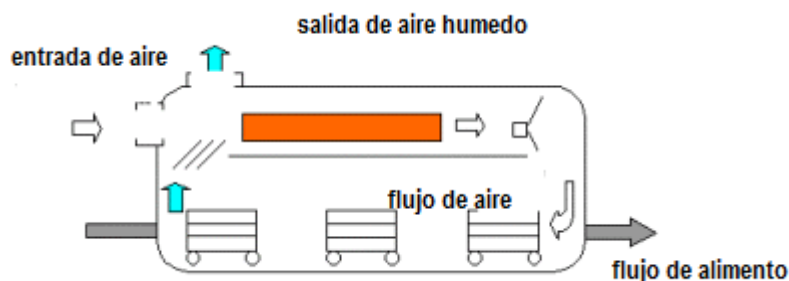


Fuente: Carlos Eduardo Orrego, Procesamiento de Alimentos

Secador Rotatorio Directo en Contraflujo

El material a secar avanza en sentido opuesto al de los gases y se lo utiliza principalmente para el gel de sílice, el azúcar, sales químicas y cristalinas productos (gama baja temperatura) de nitrato de amonio, minerales, pigmentos, la eliminación de los reactivos de flotación.

Figura 7. Secador Rotatorio Directo en Contraflujo



Fuente: Carlos Eduardo Orrego, Procesamiento de Alimentos

La decisión de diseñar para un flujo en paralelo depende de los siguientes factores:

- Sensibilidad al calor por parte del producto.
- Contribución al efecto de arrastre de la velocidad de flujo.
- Bajo contenido de humedad de los polvos de sólido.

En operación en contraflujo, la diferencia de temperatura (gas - sólido) en la salida del secador es mínima, por lo que el material deberá llegar casi a la misma temperatura del gas de salida. A su favor la operación en contraflujo asegura una distribución más uniforme de la diferencia de temperatura. Consecuentemente, la eficiencia en el secador es maximizada. Para operar en contraflujo se debe tener en cuenta:

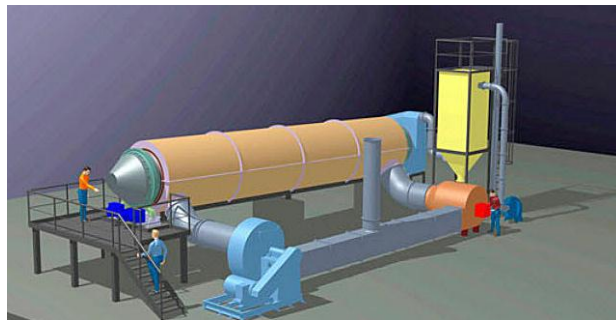
- Compatibilidad del producto con altas temperaturas.
- Inhibición del efecto de arrastre producto de la velocidad de flujo.
- Mal control de la temperatura del producto final.
- Arrastres de partículas húmedas.

En resumen si el material resiste altas temperaturas se usará contraflujo, de no ser así la operación en paralelo es la más aceptable aunque se sacrifique un poco de la eficiencia térmica.

1.6.1.2. Secado Indirecto

Se obtiene mediante un intercambiador de calor de uno o más corazas en el cual el calor es transferido por conducción hacia el material secar. Los gases producidos nunca están en contacto con el material. Como se muestra en la figura 8.

Figura 8. Secador Rotatorio Indirecto



Fuente: Allgaier, Secador de tambor indirecto

<http://www.directindustry.es/prod/allgaier/secadores-de-tambor-indirectos-13878-805207.html>

Secador Tipo Louvre

Los secadores Rotatorios Tipo Louvre disminuyen el estancamiento de los productos por la forma en que el material se mueve dentro de la secadora.

En un secador de este tipo el secado se realiza haciendo pasar el material procesado a través de un cilindro giratorio horizontal, instalado en el interior con una serie de aletas o persianas de modo que el secado por aire pasa a través de un lecho móvil del material a ser secado. La rotación del tambor imparte una acción móvil a la cama, en la cual material entra en contacto con el aire de secado sin levantarse a través de la corriente de aire de secado, lo cual es su diferencia principal con un secador Rotatorio directo normal.

Debido a este contacto íntimo entre el material y la eficiencia de secado del aire de la secadora rotativa del Louvre es significativamente mayor que la que alcanzan normalmente con secador convencional en cascada Rotatorio.

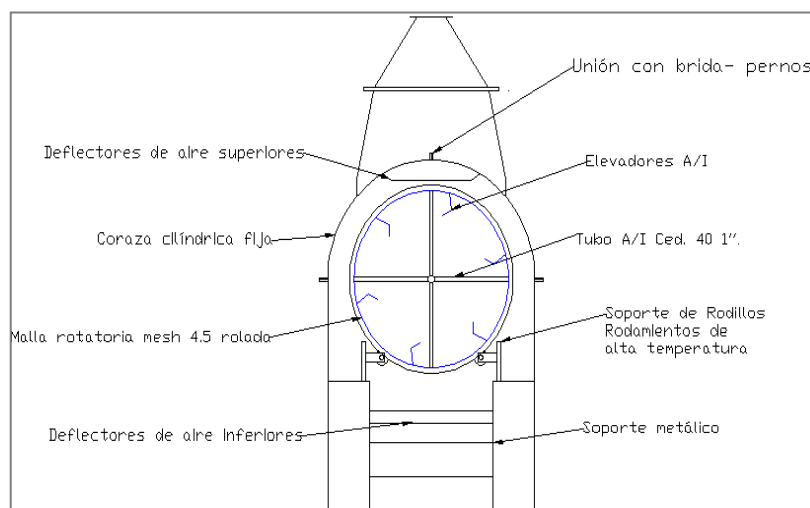
Secador Rotatorio de Malla

Consta principalmente de una coraza cilíndrica fija, dentro de ella gira una malla de forma tubular donde se encuentra el producto a secar. El aire caliente entra a un plenum para ser detectado hacia la malla logrando así una mejor distribución de temperatura y mayor eficiencia de secado. Por lo general es más efectivo cuando la relación longitud sobre diámetro es pequeña.

Las paredes del plenum son hechas de planchas de acero recubiertas con aislamiento de lana de vidrio con excepción del piso que contiene ladrillos refractarios.

El avance del material dentro de la malla no lo ocasiona la velocidad del gas y dependerá más de la inclinación y de la configuración de las aletas.

Figura 9. Esquema de las partes principales que conforman el secador rotatorio de malla (Sección transversal)



Fuente: Secador de malla, <http://spanish.alibaba.com/product-gs/rotary-dryer-with.html>

1.7. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

1.7.1. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS EXISTENTES

De acuerdo a la necesidad requerida del secador, tenemos que dar una solución para poder realizar la actividad de secado de pellets.

1.7.2. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS.

En el estudio de alternativas se analizarán los equipos convenientes para el objetivo planteado.

1.7.2.1. Alternativa A. Secador rotatorio de flujo paralelo

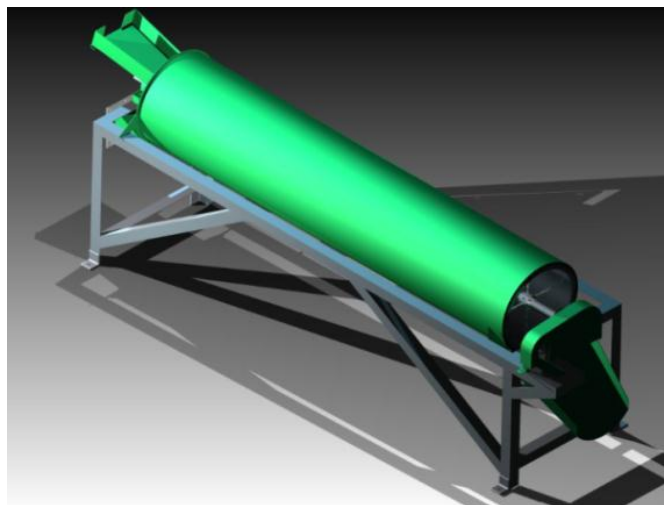
Descripción

El secador rotatorio gira en torno a su eje longitudinal con una velocidad de acuerdo al producto a tratar y el tamaño del cilindro, el producto húmedo ingresa dentro del cilindro por medio de un transportador en el cual es secado por los gases calientes que son obtenidos por diferentes medios de calentamiento como: combustión, resistencia eléctrica, vapor sobrecalentado, etc. El gas desecado puede ser introducido en el cilindro en el mismo sentido de circulación del producto o en sentido contrario.

El secado se produce por la energía entregada de los gases al producto y por el arrastre de vapor extraído, para luego obtener el material seco por la tova de salida.

En la figura 10 se muestra un esquema del secador rotatorio con flujo de aire

Figura 10. Secador de tambor con flujo de aire



Autor: Diana Chamorro

Características

- Procesos de secado a gran escala ton/hora
- Proceso continuo
- Contacto directo
- Transferencia de calor por convección
- Fuente de calentamiento alternativa

Ventajas

- Gran producción de secado ton/hora
- Fácil desplazamiento del producto
- Secado rápido por mejores coeficientes de transferencia de calor (convección)
- Producto seco más homogéneo que en el de bandejas

Desventajas

- Requerimientos de espacio físico considerables.
- Mayor costo de mantenimiento que un secador de lecho fluido.
- Mayor control en la velocidad de alimentación y giro del cilindro.
- Alto consumo energético

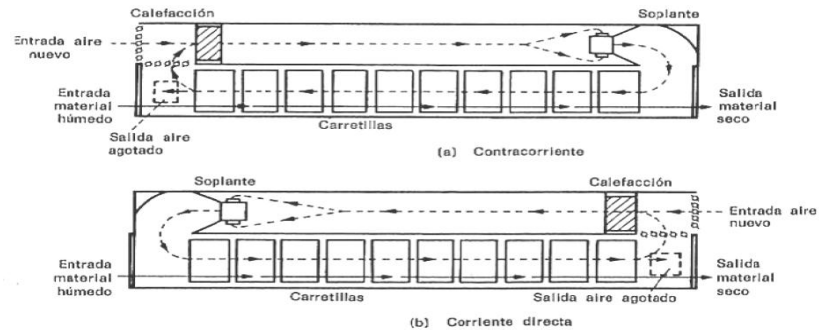
1.7.3. ALTERNATIVA B: SECADOR CONTINUO DE TÚNEL.

Descripción

Este tipo de secador, son muy comunes en el secado de sólidos. Pueden configurarse en paralelo y contra corriente siendo la primera la más suave para el producto mientras que, en la segunda, el contacto del aire más caliente con el producto seco propicia el endurecimiento de su superficie.

Pueden alcanzar hasta 24m de longitud y consisten en una cabina en la que hay un mecanismo de rieles que mueven carros con producto a lo largo de ella. El proceso es entonces semi continuo.

Figura 11. Secador continuo de túnel



Fuente: Diana Chamorro

Ventajas

- Materiales fáciles de encontrar en el mercado.
- Bajo costo energético.
- Simplicidad tecnológica.
- Fácil operación.

Desventajas

- Longitudes muy largas
- Costo relativo alto

Para la selección de la alternativa adecuada que cumpla con los objetivos especificados en este proyecto, se emplea el Método ordinal corregido de criterios ponderados¹.

Este método se basa en unas tablas donde cada criterio se confronta con los restantes criterios y se asignan los valores siguientes:

- 1 Si el criterio de las filas es superior (o mejor; $>$) que el de las columnas
- 0,5 Si el criterio de las filas es equivalente ($=$) al de las columnas

¹ Carles Riba, Diseño Concurrente, P. 57

- 0 Si el criterio de las filas es inferior (o peor; $<$) que el de las columnas

Luego, para cada criterio, se suman los valores asignados en relación a los restantes criterios, al que se le añade una unidad (para evitar que el criterio o solución menos favorable tenga una valoración nula); después, en otra columna se calculan los valores ponderados para cada criterio. Finalmente, la evaluación total para cada solución resulta de la suma de productos de sus pesos específicos por el del respectivo criterio.

En la construcción del secador de pellets, las soluciones o alternativas se presentan en la tabla 1 Alternativas del secador.

Tabla 1. Alternativas del secador

CÓDIGO	ALTERNATIVA
A.	SECADOR ROTATORIO DE FLUJO PARALELO
B.	SECADOR CONTINUO DE TÚNEL

Autor: Diana Chamorro

1.7.4. FACTORES PARA LA EVALUACIÓN DE LA ALTERNATIVA

Para evaluar las alternativas anteriormente propuestas se toman en cuenta varios criterios que sean tomados en base a los objetivos de este proyecto y los secadores más usados en las industrias.

Tabla 2. Criterios de evaluación

CRITERIOS
Costos
Facilidad de construcción y montaje
Facilidad de mantenimiento
Facilidad de operación
Versatilidad
Seguridad

Autor: Diana Chamorro

Costo

La máquina está dirigida a la pequeña industria, por lo que el costo de construcción es uno de los criterios más importantes a tomarse en cuenta. Para saber el costo total de la máquina, se toma en cuenta.

- El costo de los materiales a emplearse en la construcción del secador
- El costo de alquiler de la maquinaria a emplearse durante su construcción y montaje que se lo realiza de acuerdo a los valores que están vigentes actualmente en el mercado.

Facilidad de construcción y montaje

Es importante ya que el valor final de la máquina difiere tomando en cuenta la existencia de piezas complejas o sencillas de rápida construcción, la utilización de herramientas sofisticadas y mano de obra calificada.

Facilidad de mantenimiento

La evaluación se realiza en base las siguientes condiciones:

- La utilización de herramientas de fácil adquisición.
- Facilidad de montaje y desmontaje para el mantenimiento.
- Facilidad de adquisición de repuesto en el mercado nacional.

Facilidad de operación

Se evalúa la operación que presenta la máquina, de esta manera se garantiza el buen uso de la misma y por ende el alargamiento de su vida útil.

Versatilidad

Se evalúa la versatilidad que presenta la máquina, este criterio es importante debido a que la máquina está dirigida a la pequeña industria.

Seguridad Se evalúa la capacidad que tenga la máquina para brindar las condiciones adecuadas de operación y bienestar al operario.

1.7.5. EVALUACION DE ALTERNATIVAS

En la tabla 3 se procede a la evaluación del peso específico de cada criterio.

Tabla 3. Criterios de evaluación

Costo > Facilidad de construcción > Facilidad de operación = Mantenimiento > Versatilidad = Seguridad

Criterio	Costo	Facilidad de construcción	Facilidad de operación	Mantenimiento	Versatilidad	Seguridad	$\sum +$ 1	PESO PONDERADO
Costo	1	1	1	1	1	1	6	0.272
Facilidad de construcción	0	1	1	1	1	1	5	0.227
Facilidad de operación	0	0	0.5	0.5	1	1	3.5	0.159
Mantenimiento	0	0	0.5	1	1	1	3.5	0.159
Versatilidad	0	0	0	0	0.5	0.5	1.5	0.068
Seguridad	0	0	0	0	0.5	0.5	1.5	0.068
TOTAL							21	1

Fuente: Diana Chamorro

Luego de haber realizado la evaluación del peso específico de cada criterio se procede a la evaluación de los pesos específicos de los criterios en las distintas alternativas, en las siguientes tablas.

Tabla 4. Evaluación del peso específico del criterio Costo

SOLUCIÓN A > SOLUCIÓN B				
Costo	Solución A	Solución B	$\sum + 1$	Ponderada
Solución A		1	2	0.667
Solución B	0		1	0.333
		TOTAL	3	1

Autor: Diana Chamorro

Tabla 5. Evaluación del peso específico del criterio Facilidad de construcción

SOLUCIÓN A > SOLUCIÓN B				
Facilidad de construcción	Solución A	Solución B	$\sum + 1$	Ponderada
Solución A		1	2	0.667
Solución B	0		1	0.333
		TOTAL	3	1

Autor: Diana Chamorro

Tabla 6. Evaluación del peso específico del criterio Facilidad de operación

SOLUCIÓN A = SOLUCIÓN B				
Facilidad de operación	Solución A	Solución B	$\sum + 1$	Ponderada
Solución A		0.5	1.5	0.5
Solución B	0.5		1.5	0.5
		TOTAL	3	1

Autor: Diana Chamorro

Tabla 7. Evaluación del peso específico del criterio Mantenimiento

SOLUCIÓN A > SOLUCIÓN B				
Mantenimiento	Solución A	Solución B	$\Sigma + 1$	Ponderada
Solución A		1	2	0.667
Solución B	0		1	0.333
		TOTAL	3	1

Autor: Diana Chamorro

Tabla 8. Evaluación del peso específico del criterio Versatilidad

SOLUCIÓN A = SOLUCIÓN B				
Versatilidad	Solución A	Solución B	$\Sigma + 1$	Ponderada
Solución A		0.5	1.5	0.5
Solución B	0.5		1.5	0.5
		TOTAL	3	1

Autor: Diana Chamorro

Tabla 9. Evaluación del peso específico del criterio Seguridad

SOLUCIÓN A > SOLUCIÓN B				
Seguridad	Solución A	Solución B	$\Sigma + 1$	Ponderada
Solución A		0.5	1.5	0.5
Solución B	0.5		1.5	0.5
		TOTAL	3	1

Autor: Diana Chamorro

Tabla 10. Evaluación de las alternativas.

EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS								
Criterio	Costo	F. de Construcción	F. de operación	Mantenimiento	Versatilidad	Seguridad	Σ	Prioridad
Solución A	0.1814	0.1514	0.0795	0.1060	0.034	0.034	0,586	1
Solución B	0.0905	0.0755	0.0795	0.0529	0.034	0.034	0,366	2

Autor: Diana Chamorro

1.7.6. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

Al culminar con todos los pasos previos al método ordinal corregido de criterios ponderados se llega a la conclusión, que en base a los datos mostrados en la tabla 10, que la mejor alternativa para cubrir los requerimientos es el secador rotatorio, para su debida operación se realiza el control con un PLC.

CAPITULO II

DISEÑO DEL SECADOR DE PELLETS

2.1. DISEÑO MECÁNICO DEL SECADOR

2.1.1. DETALLE DEL PROCESO DE SECADO

El secado se produce por la energía entregada de los gases al producto y por el arrastre de vapor extraído, para luego obtener el material seco.

Para el dimensionamiento de los sistemas que conforman el secador se los divide en:

- Cámara de secado
- Aislante térmico
- Sistema motriz
- Sistema de control
- Estructura mecánica
- Sistema térmico

A continuación se hace un estudio de cada uno de los elementos mecánicos a seleccionar o dimensionar.

2.1.2. CÁLCULOS PRELIMINARES DE DISEÑO

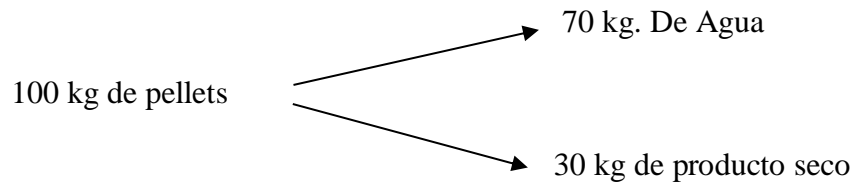
Se refiere a cálculos preliminares, a todos aquellos que se debe realizar para la obtención de todos los datos requeridos para el balance de energía.

Los cálculos preliminares son:

Cálculo de humedad en base seca

Se conoce la humedad en base seca en la entrada y salida del secador, ya que es más práctica y es la más usada. Se la puede calcular mediante fórmulas directas o bajo el siguiente análisis que brinda un mejor entendimiento:

Si se tiene 100 kg de pellets a 70% humedad en base húmeda, entonces se puede descomponerlo así:

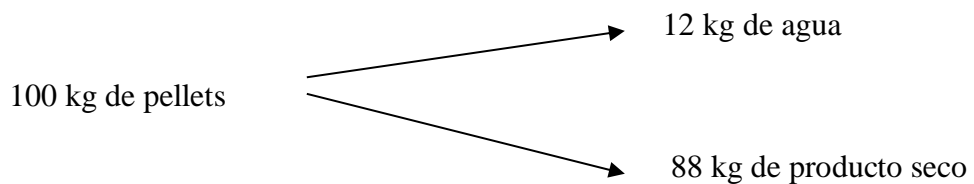


La humedad en base seca H_{bs} se puede hallar aplicando la ecuación 5, entonces se tiene:

$$H_{bs} = \frac{m_w}{m_s} = \frac{70}{30} = X_1$$

$$X_1 = 2,33$$

Se hace el mismo análisis para la salida con una humedad en base seca del 12%, se tiene:



La humedad en base seca a la salida H_{bs} , aplicando la ecuación 5:

$$H_{bs} = \frac{m_w}{m_s} = \frac{12}{88}$$

$$H_{bs} = 0.136 = X_2$$

2.1.3. PARÁMETROS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL SECADOR

Los parámetros para el dimensionamiento se los obtienen en base a las especificaciones, necesidades y demás ítems desarrollados en la teoría expuesta anteriormente.

2.1.3.1. Parámetros para diseño mecánico

De donde se tiene:

- Capacidad promedio = 16000 kg/mes
- Humedad de entrada del pellet = 2,33 kg agua/kg producto
- Humedad a la salida del pellet = 0,1363 kg agua/kg producto

- Temperatura máxima del aire de secado = $100^{\circ}\text{C} = 212^{\circ}\text{F}$
- Densidad del aire = 1 kg/m^3
- Capacidad calórica del aire $Cp_{\text{aire}} = 0,24 \frac{\text{Btu}}{\text{lbR}} = 1,005 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$
- Temperatura de bulbo húmedo = $18^{\circ}\text{C} = 64,4^{\circ}\text{F}$

2.1.4. DIMENSIONAMIENTO DEL SECADOR ROTATORIO

Para encontrar el flujo promedio del producto por hora se considera que al mes se trabajan 4 semanas los 5 días y por 8 horas diarias.

$$\dot{m}_p = 16000 \frac{\text{kg}}{\text{mes}} * \frac{1 \text{ mes}}{4 * 5 * 8 \text{ horas}}$$

$$\dot{m}_p = 100 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

El dimensionamiento del cilindro de secado se lo realiza tomando en cuenta las condiciones extremas, es decir que en cualquier instante el cilindro contiene toda la capacidad nominal de 100 [kg].

Debido a que la máquina seca en forma continua, esta no da lugar a llegar a las condiciones extremas.

Las dimensiones del cilindro de secado están en función directa de la capacidad o cantidad de producto a tratar. Para permitir que exista un acelerado tratamiento será indispensable tener un volumen del cilindro de secado mayor a la ocupada por el producto.

El volumen que ocupa el pellet es igual a la relación de su masa por la densidad del pellet, es decir:

$$V = \frac{m}{\rho_{\text{pellet}}} \quad \text{Ecuación: 10}$$

Donde:

m: Masa del pellet [kg]

ρ_{pellet}: Densidad del pellet = 650 [kg/m³]

V: Volumen nominal

$$V = \frac{100\text{kg}}{650\text{kg/m}^3}$$

$$V = 0,1538[\text{m}^3]$$

Como el volumen de la cámara de secado es cilíndrico tenemos.

$$V = \frac{\pi D^2 L}{4}$$

Para una adecuada selección de estos secadores se recomienda

$$\frac{L}{D} = 4 \text{ a } 15^2$$

Tabla 11. Diámetro y longitud que cumplen los requerimientos de producción

VOLUMEN (m³)	DIAMETRO (m)	LONGITUD(m)	L/D
0,00392699	0,1	0,5	5
0,03141593	0,2	1	5
0,10602875	0,3	1,5	5
0,25132741	0,4	2	5
0,49087385	0,5	2,5	5
0,84823002	0,6	3	5

Autor: Diana Chamorro

De la tabla anterior tenemos el diámetro y la longitud necesarios para nuestra producción, además la fracción de relación entre la longitud y el diámetro está dentro del rango establecido.

² Bioenergy international Polonia, [http:// www.amatex.es/pdf/amatex_en_%20bioenergy.pdf](http://www.amatex.es/pdf/amatex_en_%20bioenergy.pdf)

Se decide desarrollar el cilindro del secador con un diámetro de 0,38m ya que en el mercado se encuentra planchas desde 1,22m X 2,44m y no justifica emplear dos planchas para aumentar 2cm en el perímetro del cilindro.

$$D = 0,38\text{m}$$

$$L = 2\text{m}$$

2.1.5. TIEMPO DE RETENCIÓN³

El tiempo de retención del sólido en el secador debe ser igual al tiempo requerido de secado si el sólido va a salir al contenido con la humedad requerida. En la realidad se reconoce que el tiempo de retención de cada partícula puede diferir apreciablemente del tiempo de retención calculado, esto puede hacer que la cantidad de producto no sea uniforme.

El tiempo de retención se calcula con la ecuación (11), en base al volumen ocupado por el sólido en todo momento la cual depende de la fracción f de llenado que se utiliza usualmente en estos secadores de 10% a 15%.

Por lo que o más conveniente se tiene:

$$\text{Diámetro} = 0,38 \text{ m}$$

$$\text{Longitud} = 2 \text{ m}$$

$$t = \frac{60 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot L \cdot f \cdot \delta_p}{4 \cdot m_p} \text{ [min]}$$

Ecuación: 11

Donde:

$$m_p: \text{Flujo másico del producto en } 100 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

$$D: \text{Diámetro del cilindro } 0,388 \text{ [m]}$$

$$L: \text{Longitud del cilindro } 2 \text{ [m]}$$

$$\delta_p: \text{Densidad del pellet, } 650 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

³NONHEBEL G.; El Secado de Sólidos en la Industria Química; Reverté; Barcelona; pág. 237

f: Fracción de llenado del 10%

$$t = \frac{60 * \pi * 0,38^2 * 2 * 0,10 * 650}{4 * 100} [\text{min}]$$

$$t = 8,846 [\text{min}]$$

2.1.6. ÁNGULO DE INCLINACIÓN Y ROTACIÓN DEL CILINDRO

Con lo anteriormente descrito y con la ecuación 12 que incorpora los parámetros principales anteriormente mencionados, se puede encontrar el tiempo de permanencia adecuado para que el pellet llegue hasta la humedad requerida.

$$t = \frac{L}{N.D.\tan\theta} \quad \text{Ecuación: 12}^4$$

Donde:

t: tiempo de permanencia del pellet [min]

N: Velocidad de giro del cilindro de secado [rpm]

θ: Angulo de inclinación [°]

En la tabla 12 se indica los diferentes valores que pueden tomar los diferentes parámetros.

Tabla 12. Tiempo de permanencia, ángulo de inclinación y velocidad de giro del cilindro de secado.

Tiempo (min)	RPM	θ
8,846	15	2.158
	16	2.023
	17	1.904

⁴ Handbook of Industrial Drying; Mujumdar Arun, MarcelDekker Inc. New York, 1995, PP. 171,175

	18	1.799
	19	1.704
	20	1.619
	21	1.542

Autor: Diana Chamorro

Para continuar con el diseño de la tabla anterior se toma los siguientes datos.

N: 20[rpm]

θ : 1,079°

2.1.7. SELECCIÓN DEL ESPESOR DEL CILINDRO

El material seleccionado al tratarse de un proceso consecutivo en el cual las anteriores máquinas están hechas de hierro fundido o dulce, se decide realizar el secador del material SAE 36, el cual tiene las siguientes propiedades mecánicas.

Para seleccionar el espesor óptimo se tiene en cuenta lo siguiente.

Resistencia de fluencia: $s_y = 393,3 \text{ [MPa]} = 4010,4 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right]^5$

Esfuerzo último: $s_{ut} = 292,2 \text{ [MPa]} = 2979,5 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right]^6$

La presión que soporta el cilindro en su interior está dada por la siguiente fórmula:

$$P = \frac{P_p}{A_{\text{pellet}}}$$

Ecuación: 13

⁵ <http://www.es.scribd.com/doc/44500095/Existen-Dos-Formas-de-Identificar-Los-Aceros>

Donde:

P : Presión que ejerce el pellet sobre las paredes del cilindro, Kg/mm²

P_p : Peso del pellet, Kg

A_{pellet} : Área comprendida por el pellet en el interior del cilindro.

Para calcular el área se emplea la siguiente fórmula:

$$A = \pi \cdot D \cdot L \quad \text{Ecuación: 14}$$

$$A = 2,386 \text{ m}^2$$

$$P = \frac{100\text{kg}}{23860\text{cm}^2} = 4,191 * 10^{-3} \text{ kg/cm}^2$$

Tomando al cilindro como de pared delgada, entonces los esfuerzos a los que está sometido son los siguientes:

$$\sigma_{\text{tra}} = \frac{P \cdot D}{2 \cdot t} \quad \text{Ecuación: 15}$$

$$\sigma_{\text{lon}} = \frac{P \cdot D}{4 \cdot t} \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde:

σ_{tra} : Esfuerzo circunferencial o de aro, [kg/cm²]

σ_{lon} : Esfuerzo longitudinal, [kg/cm²]

D : Diámetro interior del cilindro, [mm]

P : Presión que ejerce el pellet sobre las paredes del cilindro, [kg/cm²]

t : Espesor del material

Si se considera que el espesor del material de 2 [mm] para la cámara de secado los esfuerzos son los siguientes.

$$\sigma_{\text{tra}} = \frac{4,191 * 10^{-3} * 38}{2 * 0,2} = 0,398 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right]$$

$$\mu = s_y / \sigma_{\text{tra}} \quad \text{Ecuación: 17}$$

Donde:

μ : Factor de seguridad

$$\mu = 4010,4/0,398 = 10072,436$$

$$\sigma_{lon} = \frac{4,191 * 10^{-3} * 38}{4 * 0,2} = 0,199 \left[\frac{Kg}{cm^2} \right]$$

$$\mu = 2979,5/0,199 = 14966,498$$

Se puede observar que los esfuerzos son muy bajos y el material seleccionado de 2[mm] de espesor sobrepasa cualquier requerimiento.

2.1.8. SELECCIÓN DEL MOTOR DE GIRO DEL CILINDRO

Para la selección del motor es necesario conocer la cantidad de inercia que debe vencer para que produzca el momento adecuado y el cilindro de secado gire.

La cantidad de inercia a vencer es la conformada por:

- La inercia del eje del secador
- La inercia de los volantes solidarios
- La inercia de la pellet
- La inercia del cilindro de secado

Para determinar el momento del cilindro de secado se emplea la ecuación

$$\Sigma M = \Sigma I * \alpha \quad \text{Ecuación: 18}$$

Donde:

M : momento [$N * m$]

I : Inercia de todos los elementos del sistema [$kg * m^2$]

α : Aceleración angular [rad/s^2]

La inercia total del sistema es la suma de todas las inercias de los diferentes elementos del cilindro de secado.

$$\Sigma I = I_{eje} + I_{cilindro} + I_{pellet} + I_{volantes} \quad \text{Ecuación: 19}$$

2.1.8.1. Inercia del eje

Para determinar la inercia del eje se emplea la ecuación 18 y se asume que el diámetro es 1 1/2 (in) de acero de transmisión AISI 1018 que es más utilizado para este tipo de aplicaciones. Luego será recalculado este valor.

$$I_{\text{eje}} = \frac{\pi d^4 L_e \rho_{at}}{32} \quad \text{Ecuación: 20}^7$$

Donde:

$$d: \text{diámetro asumido para el eje} = 38,1[\text{mm}] = 381 * 10^{-3}[\text{m}]$$

$$L_e: \text{longitud del eje}, 2,50[\text{mm}] = 2,30[\text{m}]$$

$$\rho_{at}: \text{densidad del acero AISI 1018}, = 7854 [\text{kg}/\text{m}^3]^8$$

$$I_{\text{eje}} = 3,697 * 10^{-3} [\text{kg} \cdot \text{m}^2]$$

2.1.8.2. Inercia del cilindro de secado.

La inercia del cilindro se obtendrá de la ecuación 19 cuya geometría es un tubo circular.

$$I_{\text{cilindro}} = \frac{\pi * L * \rho_{SAE36} * (d_{ext}^4 - d_{int}^4)}{64} \quad \text{Ecuación: 21}^9$$

Donde:

$$L: \text{longitud del cilindro}, 200\text{mm} = 2\text{m}$$

$$\rho_{SAE36} = \text{densidad del acero SAE 36} = 7832 [\text{kg}/\text{m}^3]^{10}$$

$$d_{ext}^4: \text{diámetro externo del cilindro de secado}, 0,384\text{mm} = 0,384\text{m}$$

$$d_{int}^4: \text{diámetro interno del cilindro de secado}, 380\text{mm} = 0,38\text{m}$$

Remplazando en la ecuación 19 se tiene

$$I_{\text{cilindro}} = 0,685 [\text{kg} \cdot \text{m}^2]$$

⁷ Meriam, Estática, 2da. Edición, P. 443

⁸ Incropera De Witt, Fundamentos de Transferencia de Calor, cuarta edición, P. 827.

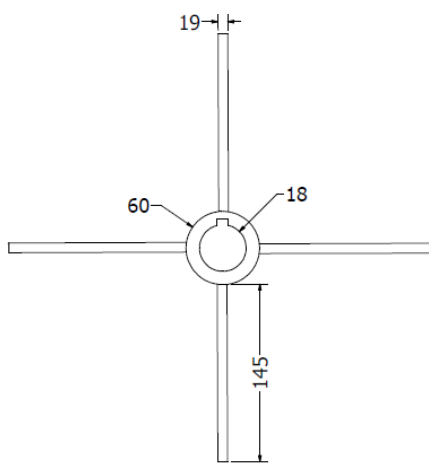
⁹ Estática, Meriam, 2da. Edición, pag 443

¹⁰ M. R. Valenzuela, Apuntes de transferencia de calor, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Anexos Tabla A-1

2.1.8.3. Inercia de los volantes de la cámara de secado

Tomando en cuenta que el cilindro de secado gira con el eje debe existir sobre estos elementos volantes solidarios a este par de elementos como se indica en la siguiente figura 12.

Figura 12. Colocación de los volantes solidarios



Autor: Diana Chamorro

Se coloca 3 volantes de los cuales la inercia es la siguiente:

$$I_{volantes} = 3 * (I_{Horq} + I_{barra}) \quad \text{Ecuación: 22}$$

Donde:

I_{Horq} : inercia de la horquilla [$kg m^2$]

I_{barrra} : inercia de la barra [$kg m^2$]

La inercia de la horquilla se tiene de la siguiente ecuación:

$$I_{Horq} = \frac{\pi * L_{horq} * \rho_{at} * (a_{ext}^4 - a_{int}^4)}{64} \quad \text{Ecuación: 23}^{11}$$

¹¹ Meriam, Estática, 2da. Edición, P. 443

Donde:

ρ_{at} : Densidad acero transmisión, AISI 1018, 7854[kg/m³]¹²

d_{ext} : Diámetro externo de la horquilla, 60 [mm] = 0,06[m]

d_{int} : Diámetro interno de la horquilla, 38,1 [mm] = 0,0381 [m]

L_{horq} : Longitud de la horquilla, 43mm= 0,043m

Remplazando tenemos:

$$I_{Horq} = 1,80 * 10^{-4} [kg.m^2]$$

Por cada horquilla existen 4 barras solidarias al cilindro de secado por lo que su inercia se calcula con la siguiente fórmula.

$$I_{barra} = 4 * \left(\frac{\rho_{at} * \pi * L_{barra} * d_{barra}^4}{16} + \frac{\rho_{at} * \pi * L_{barra}^3 * d_{barra}^2}{12} \right) \quad \text{Ecuación: 24}^{13}$$

Donde:

L_{barra} : Longitud de la barra, 165mm =0,165m

ρ_{at} : Densidad acero de transmisión AISI 1018, 7854 kg/m³

d_{barra} : Diámetro de la barra, 19mm= 0,019m

$$I_{barra} = 0,0134 [kg.m^2]$$

Remplazando en la ecuación 20 se tiene:

$$I_{volantes} = 3 * (1,799 * 10^{-4} + 0,0134)$$

$$I_{volantes} = 0,04094 [kg.m^2]$$

2.1.8.4. Inercia del pellet en el interior del cilindro de secado

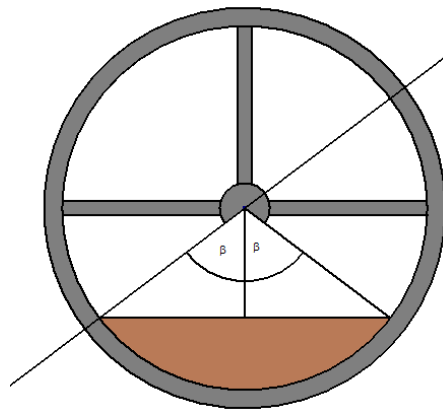
Las condiciones con las cuales se realiza los cálculos son en los casos extremos con la finalidad de encontrar un factor de seguridad que de un buen funcionamiento y no existan fallas.

¹²Incropera De Witt, Fundamentos de Transferencia de Calor, cuarta edición, P. 827.

¹³ Meriam, Estática, 2da. Edición, P. 443

En este caso calcularemos cuando el cilindro este en reposo, ya que ahí el motor requerirá la mayor potencia, también se debe obtener la el volumen ocupado por el pellet en el interior del cilindro de secado, como se indica en la siguiente figura 13.

Figura 13: Ubicación del pellet en el interior del secador



Autor: Diana Chamorro

Si se considera que solo el 40% del perímetro está ocupado por el pellet, se obtiene la ecuación.

$$p = 0,4 * \pi * D_i \quad \text{Ecuación: 25}$$

Donde:

p: *perímetro ocupado por el pellet*

D_i: *diametro interno del cilindro de secado, 380mm = 0,38m*

De lo que se tiene:

$$\mathbf{p = 0,477 \text{ m}}$$

Teniendo calculado el perímetro se podrá determinar el ángulo alfa del segmento circular mediante la ecuación 24

$$2\beta = \frac{p \cdot 360}{\pi \cdot D_{int}} \quad \text{Ecuación: 26}^{14}$$

$$\beta = 72^\circ = \mathbf{1,256 \text{ [rad]}}$$

Conociendo el ángulo se puede determinar el momento de inercia del área que ocupa el pellet con respecto al eje.

Este momento de inercia se denomina momento polar de inercia, y se obtiene de las siguientes ecuaciones 26, 27 y 28

$$I_p = I_x + I_y \quad \text{Ecuación: 27}^{15}$$

$$I_x = \frac{r^4}{4} (\beta - \text{sen}\beta * \text{cos}\beta + 2\text{sen}^3\beta * \text{cos}\beta) \quad \text{Ecuación: 28}$$

$$I_y = \frac{r^4}{12} (3\beta - 3\text{sen}\beta * \text{cos}\beta + 2\text{sen}^3\beta * \text{cos}\beta) \quad \text{Ecuación: 29}$$

Remplazando los valores se tiene que:

$$\mathbf{I_p = 6,4 * 10^{-4} [m^4]}$$

Obteniendo el momento polar de inercia, se procede a calcular la inercia que ocupa el pellet.

$$I_{\text{pellet}} = \rho_{\text{pellet}} * L * I_p \quad \text{Ecuación: 30}$$

Por lo que la inercia del pellet es:

$$\mathbf{I_{\text{pellet}} = 0,832 [kg/m^2]}$$

Para luego tener la sumatoria de las inercias se reemplaza en la ecuación 18

$$\Sigma I = 3,697 * 10^{-3} + 0,6857 + 0,04049 + 0,831$$

$$\mathbf{\Sigma I = 1,562 [kg \cdot m^2]}$$

Con la inercia total, se procede a desarrollar la ecuación 17, con el objetivo de encontrar el momento que realiza el motor sobre el eje. Sin duda se

¹⁴ Hermann Jutz, Tablas para la industria metalúrgica, P. 41

¹⁵ Gere J. Mecánica de materiales, Apéndice C, P. 760

debe considerar que por medio de la observación y experimentación del secado de pellets ocurren momentos de torsión opuestos al del motor.

Desarrollando la ecuación 17 se tiene:

$$M_T - M_o = \Sigma I * \alpha$$

Donde:

M_T : Momento de torsión que realiza el motor al eje, [Nm]

M_o : Momento opuesto a causa del deslizamiento del pellet [Nm]

$$M_o = m \cdot g \cdot r_{int}$$

Ecuación: 31

Donde:

m : Masa del pellet, 100kg

r_{int} : Radio interno del cilindro de secado, 190mm=0,19m

g : Gravedad, 9,8 m/s²

De lo que se tiene:

$$M_o = 186,2[\text{Nm}]$$

Para calcular la aceleración angular se toma en cuenta las 20 rpm

$$20 * \pi * 2/60 = 2,094 \text{ rad/s}$$

Aplicando la ecuación 17 se tiene:

$$M_T = 217,45[\text{Nm}]$$

De donde se tiene que la potencia teórica del motor es de:

$$P_{motor} = M_T * n_2$$

Ecuación: 32

Donde:

P_{motor} : Potencia motor [W]

M_T : Momento torsor o par de torsión 217,45[Nm]

n_2 : Velocidad angular del cilindro de secado, 2,094[rad/s]

Por lo que se tiene:

$$P_{\text{motor}} = 455,42[\text{W}] \text{ o } 0,61[\text{Hp}]$$

En vista que en el mercado no se encuentra el motor de esta potencia se toma un motor de 1HP trifásico ya que se requiere de esta alimentación por lo que será comandado por un variador de frecuencia. De aquí en adelante se tomara esta potencia para los siguientes cálculos.

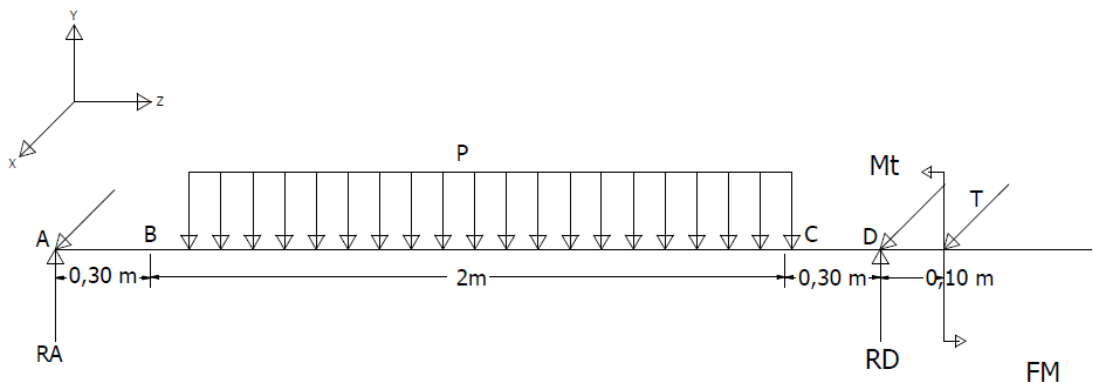
2.1.9. DISEÑO DEL EJE DE TRANSMISIÓN DEL CILINDRO DE SECADO

Para el secador planteado se tiene que en el eje de trasmisión se encuentra sometido a torsión constante y a flexión alternante.

Para obtener las dimensiones del eje se empleara el método de SODERBERG, ya que este procedimiento se emplea para dimensionar un elemento de máquina, el cual debe soportar un esfuerzo constante, y un alternante.

Se inicia realizando el diagrama de cuerpo libre, para determinar las cargas que actúan sobre el eje, como se indica en la figura 14.

Figura 14: Diagrama de cuerpo libre del eje



Autor: Diana Chamorro

Donde:

R_A : Carga sobre el rodamiento A, [N]

R_D :Carga sobre el rodamiento D, [N]

M_t :Momento torsor, [Nm]

T :Tensión transmitida por el motor, [N]

p : Peso del cilindro de secado y pellet distribuido por unidad de longitud [N/m]

Tomando en cuenta que la carga del pellet se distribuye de forma uniforme el peso de este como el cilindro de secado está dado por la siguiente ecuación:

$$p = \rho_{\text{pellet}} * A_{\text{cil}} + \frac{P_p}{L} \quad \text{Ecuación: 33}$$

Donde:

ρ_{pellet} : Densidad del pellet, [650 kg/m³]

A_{cil} :Area transversal del cilindro de secado, 0,004

P_p : Peso del pellet, [100kg]

L : Longitud del cilindro de secado, 200mm, [2m]

$$p = 650 * 0,0003 + \frac{100}{2} = 50,204 \frac{\text{kg}}{\text{m}} = \mathbf{492,001[N/m]}$$

Por lo que el peso total de la cámara de secado es:

$$P_T = 492,001\text{Nm} * 2\text{m} = \mathbf{984,002 N}$$

Por lo que el momento torsor se determina mediante la ecuación 31.

$$M_T = \frac{P_{\text{Motor}}}{n_2} = \frac{745,699}{2,094} = \mathbf{356,112[N.m]}$$

Para la transmisión de potencia se lo realiza por medio de una cadena por lo que se tiene.

$$T = \frac{M_t}{d/2} \quad \text{Ecuación: 34}^{16}$$

¹⁶ Robert Mott, Diseño de elementos de máquina pág. 289

Donde:

T : Tensión transmitida al eje

M_t : Momento torsor en el eje, 356,112 N

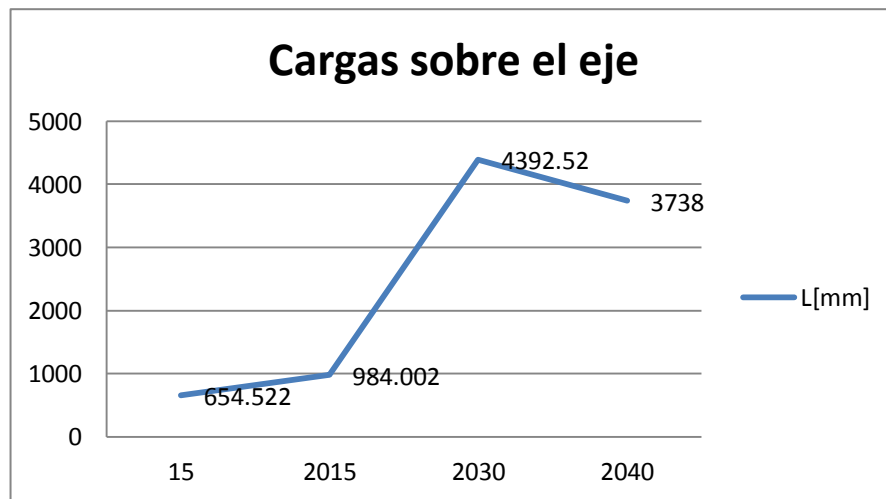
d : Diámetro del piñón conducido 0,1905 m, 7,5 in

$$T = 3738,711N$$

Para hallar las reacciones R_A y R_D se realiza la sumatoria de momentos.

Con la ayuda de Inventor tenemos los siguientes diagramas del eje:

Figura 15. Diagramas de fuerza cortante en el eje



Autor: Diana Chamorro

$$\Sigma MA = 0$$

$$\Sigma MA = 1.15 * 984.002 - RB * 2.30 + 3738 * 240$$

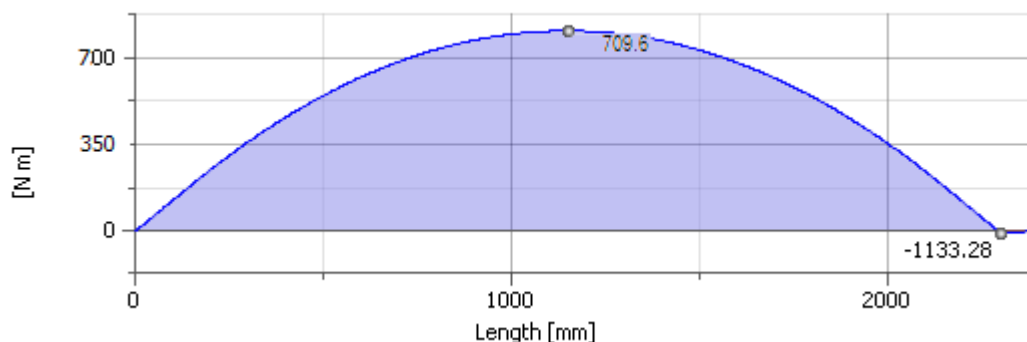
$$R_B = 4392,52N$$

$$\Sigma MB = 0$$

$$\Sigma MA = 3738 * 10 + 984.002 * 1.15 - RA * 240$$

$$R_A = 654,522N$$

Figura 16. Diagramas de momento flector en el eje



Autor: Diana Chamorro

Como se puede apreciar en la graficas anteriores obtenidas con la ayuda de programa Inventor 2010, el momento flector máximo es de:

$$\mathbf{M_{max} = 709.6 [N.m]}$$

Conociendo las cargas a la que está sometido el eje de transmisión, se debe seleccionar eje hipotético que existe en el mercado y que cumpla los requerimientos.

Acero de transmisión: SAE 1018 laminado en frío

$$d_{eje} = 38,1 [mm] = 1,5 [pulg] \text{ Eje hipotético}$$

$$S_y = 32 [Kpsi] = 220.63 [MPa]$$

$$S_{ut} = 58[Kpsi] = 400 [MPa]$$

Con estos datos, se calcula el esfuerzo por flexión:

$$\sigma_x = \frac{M_{max}C}{I} \quad \text{Ecuación 35}$$

$$I = \frac{\pi d_{eje}^4}{64} \quad \text{Ecuación 36}^{17}$$

Donde:

M_{max} : Momento flector máximo, 1402,46[N.m]

¹⁷ Gere J., Mecánica de materiales, Apéndice C, pág. 760.

d_{eje} : Diámetro del eje, 38 [mm] = 0,0381[m].

C: Distancia al eje neutro eje/2, 19[mm]=0,019[m]

I: Momento de Inercia, [m⁴].

$$I = 1,034 * 10^{-7} [m^4]$$

$$\sigma_x = 130,66 MPa$$

Éste esfuerzo de flexión varía de compresión a tensión y viceversa, en el transcurso de que el eje gira, es decir es un esfuerzo sinusoidal con inversión completa, por lo que se tiene

$$\sigma_x = \sigma_a$$

$$\sigma_m = 0$$

Para calcular el esfuerzo por torsión usaremos la siguiente formula:

$$\tau_{max} = \frac{M_T d_{eje}}{J} \quad \text{Ecuación 37}^{18}$$

$$J = \frac{\pi d_{eje}^4}{32} \quad \text{Ecuación 38}$$

Donde:

M_T : Momento torsor, 508,661 [N.m]

d_{eje} : Diámetro del eje, 38,1 [mm] = 0,0381[m].

J: Momento polar de inercia, m⁴

$$J = 2,068 * 10^{-7} [m^4]$$

$$\tau_{max} = 65,586 [MPa]$$

El esfuerzo torsional es constante en el tiempo, por lo tanto:

$$\tau_a = 0$$

¹⁸ Robert Mott, Diseño de elementos de máquinas, Segunda edición, PP. 68,78,149.

La resistencia por durabilidad de un material es su capacidad para soportar cargas que generen fatiga, y si el número de ciclos es infinito, al nivel de carga se le asigna la deformación límite de durabilidad.¹⁹

Por lo que el eje se diseña por resistencia a la durabilidad, para lo cual se emplea la siguiente ecuación.

$$s'_n = S_n C_s C_m C_{st} \quad \text{Ecuación 39}^{20}$$

Donde:

s'_n : Resistencia por durabilidad

S_n : resistencia por durabilidad modificada

C_s : factor tamaño

C_m : Factor material

C_{st} : Factor tipo de tensión

Para hallar la resistencia por durabilidad modificada se emplea la figura 5-9 que es de 220MPa = 32Kpsi

Para el factor tamaño se tiene

$$C_s = 0,9$$

El factor material se tiene para acero fundido.

$$C_m = 0,8$$

Diseñando para el tipo de tensión se tiene

$$C_{st} = 0,58$$

Que es cuando el eje a esta sometido esfuerzo de corte por torsión

$$s'_n = 220MPa * 0,9 * 0,8 * 0,58$$

$$s'_n = \mathbf{91,872MPa}$$

²⁰ Robert Mott, Diseño de elementos de máquinas, Segunda edición, PP. 145,149.

$$n = \frac{2}{\sqrt[3]{\left(\frac{2\tau_a + 2\tau_m}{S_e + S_y}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_a + \sigma_m}{S_e + S_y}\right)^2}}$$

Ecuación: 40²¹

Remplazando los valores se tiene:

$$n = 1,49$$

Por lo que se decide construir este eje, ya que cumple con muestras necesidades de diseño.

2.1.10. SELECCIÓN DE LOS RODAMIENTOS

Para determinar el rodamiento en una determinada aplicación, se debe tomar en cuenta la capacidad de carga a la que va estar sometido, la cual tendrá que ser comparada con las cargas que va a soportar, las revoluciones por minuto a las que va a estar sometido, así como también las exigencias de duración y confiabilidad en su trabajo.

Los rodamientos se pueden clasificar en dos tipos básicamente de bolas y rodillos, los dos están diseñados para soportar cargas axiales y radiales o una combinación de ambas.²²

Un rodamiento de bolas se compone de cuatro partes:

- Anillo interior
- Anillo exterior
- Bolas
- Jaula o separador

El manual de la SKF establece para los rodamientos rígidos de bolas cargados estáticamente la Ecuación 41.

El método de carga estática se usa cuando los rodamientos:

²¹ Shigley J., Diseño en ingeniería mecánica, 6^{ta} edición, pág. 322

²² SKF.; Catálogo general.

- Giran velocidades muy bajas.
- Están trabajando a movimiento lentos de oscilando, ó
- Están estacionarios bajo carga durante cierto tiempo.

$$P_o = 0.6F_r + 0.5F_a \quad \text{Ecuación: 41}$$

Donde:

P_o : Carga estática equivalente, [N]

F_r : Carga Radial, [N]

F_a : Carga axial, [N]

Como se dijo anteriormente la carga axial es despreciable por lo que para realizar los cálculos se tomará como carga equivalente la reacción de mayor valor en los apoyos del cilindro.

Por lo que se tiene:

$$F_r = F_B = 4392,52N$$

Remplazando estos valores en la ecuación 45 se tiene:

$$P_o = 2635.512N$$

Como $P_o < F_r$ entonces tenemos que $P_o = F_r$

El rodamiento será ubicado en un eje de 1 ½ in por lo que se selecciona rodamiento de bolas SKF 6303, el cual soporta una capacidad de carga estática $C_o = 16000[N]$ ²³

Cuando el rodamiento trabaja en bajas revoluciones se utiliza la carga estática C_o .

Con la siguiente ecuación se calcula el factor de seguridad del rodamiento.

$$S_o = \frac{C_o}{P_o} \quad \text{Ecuación: 42}$$

²³ Catálogo general, SKF, P. 188

$$S_o = \frac{16000}{2635.512} = 6.071$$

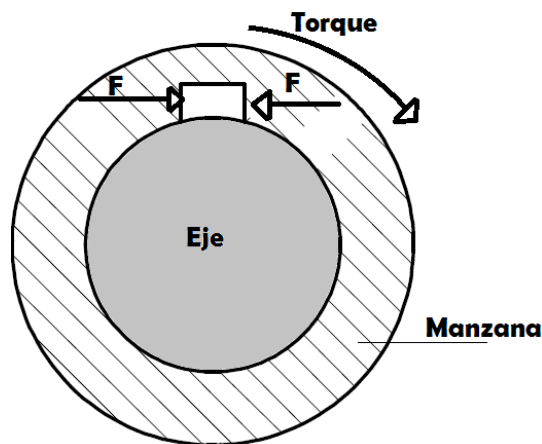
Como sugiere el manual de rodamientos SKF, para un buen desempeño el rodamiento debe tener un factor de seguridad igual a 2 o mayor, como se puede comprobar con la ecuación 42 el rodamiento está bien dimensionado. Para el soporte del rodamiento se elige una chumacera de piso UCP208-24 KDF que cumple las características requeridas por el secador.

2.1.11. DIMENSIONAMIENTO DE LA CHAVETA²⁴

Son elementos mecánicos de sección rectangular o cuadrado, que se usan para fijar dos piezas evitando así el deslizamiento de una pieza sobre la otra.

En función del diámetro del eje, el ancho o espesor chaveta es nominalmente un cuarto del diámetro del eje.

Figura 17. Chaveta del eje



Autor: Diana Chamorro

Para el diseño se selecciona un acero G10200 estirado en frío cuya resistencia a la fluencia es $S_y = 51$ [Psi], de la tabla 10-1 la dimensión estándar para un eje de 1 ½ pulgadas debe de ser de ½ cuadrada.

²⁴ Robert Mott, Diseño de elementos de máquina, segunda edición, pp. 333,341

La fuerza cortante de la chaveta variara del momento torsor y el diámetro del eje del cilindro de secado.

Dicha fuerza se aplica en el eje transversal de la chaveta por lo que se tiene:

$$F = \frac{M_T}{r} \quad \text{Ecuación: 43}^{25}$$

Donde:

M_T : *Momento torsor* [217,45Nm]

r : *Radio del eje* 38,8mm [0,38m]

F : *Fuerza cortante* [N].

Por lo que la se tiene:

$$\mathbf{F = 572,236[N]}$$

El esfuerzo cortante se calcula con la ecuación 44 para el área transversal.

$$l = \frac{4Fn}{DWS_y} \quad \text{Ecuación: 44}$$

Donde:

l : *Longitud de la chaveta* [m]

W : *Ancho de la chaveta*, 12.7 [mm]

S_y : *Resistencia al cortante por la energía de distorsión.*

n : *factor de seguridad*, 2

Remplazando los datos se tiene:

$$l = \frac{4 * 572,236 * 2}{38 * 12.7 * 351,632}$$

$$l = 2,6\text{cm}$$

Por lo que la chaveta a construirse es de:

²⁵ Robert Mott, Diseño de elementos de máquina, segunda edición, PP. 339,340

$$l = 30\text{mm}$$

$$t = 12,7\text{mm}$$

2.1.12. DISEÑO DE LOS ELEVADORES

Los elevadores son piezas mecánicas adheridas en el interior del cilindro rotatorio, que sirven para proveer el movimiento del pellet y así poder tener un secado más uniforme.

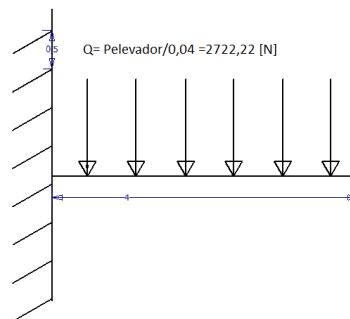
Para obtener la carga distribuida sobre el elevador se tiene:

$$P_{\text{elevador}} = \frac{36,363 \text{ kg}}{8} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 44,544\text{N}$$

El material para los elevadores es SAE 36 = 120MPa

Si al elevador se lo considera como una viga en voladizo, la carga distribuida en la viga se tiene.

Figura 18. Diagrama de la carga sobre los elevadores



Autor: Diana Chamorro

$$Q = \text{Pelevador}/l = 44,544\text{N}/0,0127\text{m}$$

$$Q = 3507,401 \text{ N/m}$$

$$V_{\text{max}} = Q \cdot x$$

$$V_{\text{max}} = 3507,401 \cdot 0,0127 = 44,544\text{[N]}$$

$$M_{\text{max}} = Q \cdot x^2$$

$$M_{\text{max}} = 3507,401 \cdot 0,0127^2 = 0,565 \text{ [N - m]}$$

El esfuerzo máximo está producido por el momento máximo

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{z} = \frac{M_{\max}}{\frac{e^2 \cdot l}{2}} \quad \text{Ecuación: 45}$$

El factor de seguridad está dado por la ecuación 43

$$n = \frac{s_y}{\sigma_{\max}} \quad \text{Ecuación: 46}$$

Entonces el espesor se calcula con la ecuación

$$e = \sqrt{\frac{2 \cdot n \cdot M_{\max}}{s_y \cdot l}} \quad \text{Ecuación: 47}$$

Remplazando los valores se tiene.

$$e = \sqrt{\frac{2 * 2 * 0,565}{120000000 * 0,0127}}$$

$$\mathbf{e = 1,482 * 10^{-6}m}$$

Por lo que el espesor seleccionado es de 2mm que es un estándar que se puede encontrar en el mercado.

2.2. DISEÑO ENERGÉTICO

2.2.1. CALOR CONSUMIDO POR EL SISTEMA

La cantidad de calor consumido por el sistema se determina por la siguiente ecuación.

$$Q_{cs} = Q_{\text{pellet}} + Q_{\text{perdido}} \quad \text{Ecuación: 48}$$

Donde:

Q_{cs} : calor consumido por el secador

2.2.2. CALOR CONSUMIDO POR EL PELLET.

Con el flujo másico del pellet y el calor específico del pellet se podrá obtener el calor requerido para elevar la temperatura ambiente a la temperatura de 100°C.

$$Q_{\text{pellet}} = m C_p (T_f - T_{ep}) \quad \text{Ecuación: 49}$$

Donde:

T_{ep} = temperatura de entrada

C_p = Calor específico a presión constante para el pellet $1,6 \frac{kJ}{kgC}$ ²⁶

T_f = temperatura final

$$m = 100 \frac{kg}{h} * \frac{h}{0,13mim} = 13kg/mim$$

$$Q_{pellet} = 13 * 1,6 * (100 - 28) = \mathbf{1497.6W}$$

Este valor indica la energía que se debe suministrar para que la temperatura pase de una temperatura de 30°C a 100°C.

2.2.3. SELECCIÓN DEL ESPESOR ÓPTIMO DEL AISLAMIENTO

Los materiales aislantes tienen como principal característica física su baja conductividad térmica la cual expresa la mayor o menor dificultad del material para permitir la transferencia de calor.

2.2.3.1. Normas técnicas que deben cumplir los materiales aislantes

Todo material aislante debe cumplir ciertos requisitos mínimos para ser considerado como tal, los cuales deben ceñirse a normas técnicas de evaluación elaboradas por entidades especializadas.

Estos requisitos están dirigidos a obtener información acerca de lo siguiente:

Características dimensionales.

- Densidad.
- Propiedades de transferencia de calor

²⁶Bioenergy international Polonia, http://www.amatex.es/pdf/amatex_en_%20bioenergy.pdf

- Máximas temperaturas de uso.
- Análisis químicos.
- Resistencia al fuego.
- Absorción de agua, etc.

2.2.3.2. Calor perdido

Para calcular el flujo de calor perdido para los espesores que conforma el cilindro de secado, se utiliza el método de las resistencias térmicas, tanto de convección como de conducción.

La ecuación (2.40) que rige la resistencia térmica por convección es:

$$R_{conv} = \frac{1}{h \cdot A} \quad \text{Ecuación: 50}^{27}$$

Donde:

R_{conv} : Resistencia térmica por convección [$^{\circ}\text{C}/\text{W}$]

h : Coeficiente de convección, [W/m^2]

A : Área transversal al flujo de calor, [m^2]

La ecuación siguiente rige a la resistencia térmica por conducción para un cilindro es:

$$R_{cond} = \frac{\ln\left(\frac{r_{ext}}{r_{int}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot K \cdot L} \quad \text{Ecuación: 51}^{28}$$

Donde:

R_{cond} : Resistencia térmica por conducción, [$^{\circ}\text{C}/\text{W}$]

r_{ext} : Radio externo del cilindro en estudio, [m].

r_{int} : Radio interno del cilindro en estudio, [m].

L : Longitud del cilindro, [m].

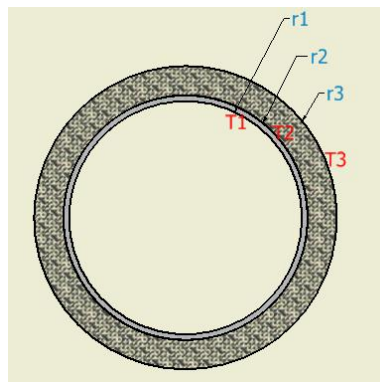
²⁷ Fundamentos de Transferencia de Calor, Incropera De Witt, cuarta edición, pág. 77

²⁸ Apuntes de transferencia de calor, M. R. Valenzuela, escuela superior politécnica de chimborazo, pág. 24

K : Conductividad térmica del material, $[W/m^{\circ}C]$.

En la figura 19 se indica las diferentes partes del cilindro de secado, para realizar el estudio de la pérdida de calor en el interior del mismo hacia los alrededores.

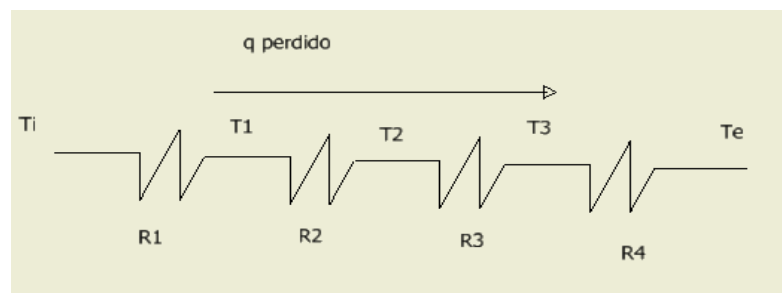
Figura 19. Partes y temperaturas del cilindro de secado



Autor: Diana Chamorro

Para una mejor comprensión de la transferencia de calor a los exteriores del secador se esquematiza un circuito térmico representado en la siguiente figura 20.

Figura 20. Circuito térmico del flujo de calor perdido



Autor: Diana Chamorro

Como el circuito se encuentra en serie la suma de las resistencias dará la resistencia térmica total equivalente como se indica en las ecuaciones 2.41 y 2.42

$$R_{total} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

Ecuación: 52

$$R_{total} = \frac{1}{h_i A_1} + \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2 * \pi * K_2 * L} + \frac{\ln \frac{r_3}{r_2}}{2 * \pi * K_3 * L} + \frac{1}{h_e * A_e} \quad \text{Ecuación: 53}$$

Donde:

$$h_i: \text{Coeficiente de convección en la cámara} = 5 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]^{29}$$

$$h_e: \text{Coeficiente de convección del aire a la temperatura ambiente} = 5 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$$

$$A_1: \text{Área transversal al flujo de calor a la entrada del cilindro de secado} \\ = 2,437 [m^2]$$

$$A_e: \text{Área transversal al flujo de calor del exterior del cilindro de secado} \\ = 3,392 [m^2]$$

$$L: \text{Longitud del cilindro de secado} = 2 [m]$$

$$K_2: \text{Conductividad térmica para el SAE 36} = 52 \left[\frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right]^{30}$$

$$K_3: \text{Conductividad térmica de la lana de vidrio} = 0,046 \left[\frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right]^{31}$$

$$r_1: \text{Radio interior lámina de hierro} = 0,19 [m] = 190 [mm]$$

$$r_2: \text{Radio exterior lámina de hierro,} = 0,21 [m] = 210 [mm]$$

$$r_3: \text{Radio exterior de la lana de vidrio,} = 0,235 [m] = 235,4 [mm].$$

Remplazando la ecuación 2.41:

$$R_1 = 0,08376576 [^\circ C/W]$$

$$R_2 = 3,2529 * 10^{-4} [^\circ C/W]$$

$$R_3 = 0,19458073 [^\circ C/W]$$

$$R_4 = 0,067725508 [^\circ C/W]$$

Para luego obtener la resistencia total aplicando la ecuación 2.43

$$\mathbf{R_{total} = 0,346397286 [^\circ C/W]}$$

²⁹ Guerrero Eduardo, Diseño y construcción de una tostadora de café, , EPN, 2002, Pág. 46,47

³⁰ Halan J. Chatman, Transmisión de calor, tercera edición, 1984 de Pág. 666

³¹ Incropera De Witt, Fundamentos de Transferencia de Calor, cuarta edición, Pág. 834

Como base se ha calculado las pérdidas de calor con espesor de aislante de 1(in) que es la dimensión que se encuentra en el mercado.

Para conocer la cantidad de calor perdido se emplea la ecuación (2.44).

$$Q_{perdido} = \frac{\Delta T}{R_{Ttotal}} = \frac{(T_i - T_o)}{R_{total}} \quad \text{Ecuación: 54}$$

Donde:

$Q_{perdido}$: Flujo de calor, [W]

ΔT : Variación de temperaturas, [°C]

T_i : Temperatura interna en el cilindro de secado = 100[°C]

T_o : Temperatura externa del medio ambiente = 22 [°C]

R_{Ttotal} : Resistencia térmica total = 0,346 [°C/W]

De ahí se tiene que la perdida de calor es:

$$Q_{perdido} = \frac{(100 - 22)}{0,346}$$

$$Q_{perdido} = 225,433[W]$$

Ahora se analizara la perdida de calor sin utilizar el aislante térmico el cual será:

$$q = 382,04[W]$$

Remplazando valores en la ecuación 2.8 se tiene:

$$Q_{cs} = 12480 + 225,433 = 12705,433W$$

Por lo que se debe obtener un cantidad de 12705,433W para el buen funcionamiento del sistema.

2.3. DISEÑO DEL CONTROL DE TEMPERTURA

Para el diseño energético se ha utilizado como elemento calefactor un módulo de resistencias o niquelinas, que ya posee el colegio en la planta de balanceados.

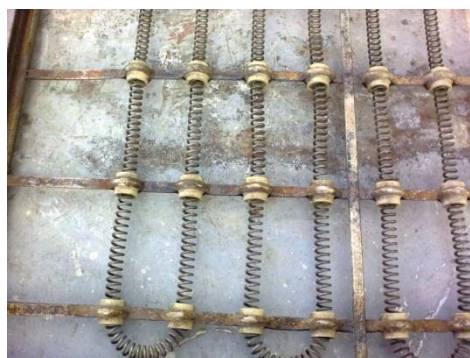
La resistencia calefactora cumple el papel de aumentar la temperatura del aire a controlar dentro del cilindro secador. Se realizó las conexiones requeridas para obtener la potencia necesaria, y se aisló térmicamente con lana de vidrio.

Características de las resistencias

- Voltaje de alimentación 220 V 3~
- Corriente máxima de consumo: A.
- Calibre del conductor N° 18

A continuación, en la Figura 21., se muestra una foto de la resistencia calefactora.

Figura 21. Resistencias calefactora

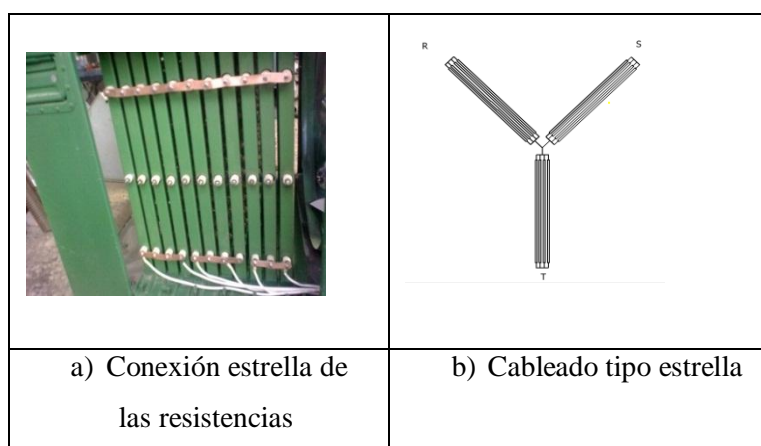


Autor: Diana Chamorro

Para la protección de las resistencias se ha utilizado disyuntores que ayudara a conservar la vida útil de las mismas.

La conexión se la realiza en estrella, de 4 resistencias cada módulo como se indica la siguiente figura.

Figura 22. Conexión estrella de resistencias



Autor: Diana Chamorro

2.3.1. CÁLCULOS PARA LA POTENCIA REQUERIDA DEL SISTEMA

Para obtener el calor requerido del sistema se tiene:

$$P = I^2 * R$$

Ecuación: 55

Donde:

$$R: \text{Resistencia} = 27.5\Omega$$

$$I: \text{Corriente} = 8A$$

$$P = 8^2 * 27.5 = 1760W$$

Por lo que se implementa el sistema de 12 resistencias conectadas en estrella como se indica en el anexo de conexiones eléctricas (lámina 5) cada bloque consta de cuatro resistencias dando una potencia total de 1760 W que es el calor requerido para el buen funcionamiento del secador.

2.3.2. ELEMENTO PRIMARIO DE CONTROL

Para la selección del elemento de control se realiza la siguiente tabla comparativa.

Tabla 13. Comparación de sensores de temperatura

	RTD	TERMISTORES	SENSORES IC	TERMOPAR	PT100
VENTAJAS	Más estable	Alto rendimiento	El más lineal	Autoalimentado	Alto coeficiente de temperatura
	Más preciso	Rápido	Mayor rendimiento	Robusto	Alta resistividad
	Más lineal que termopar	Medida 2 hilos	Económico	Económico	Rigidez y Ductilidad del material
				Amplia variedad	
DESVENTAJAS	RTD	TERMISTORES	SENSORES IC	TERMOPAR	PT100
	Caro	No lineal	Limitado a T 250°C	No lineal	No lineal
	Lento	Rango limitado	Lento	Baja tensión	
	Pequeño		Configuración Limitadas	Precisa referencia	
	Cambio resistivo				
	Autocalentable		Autocalentable	Menos sensible	

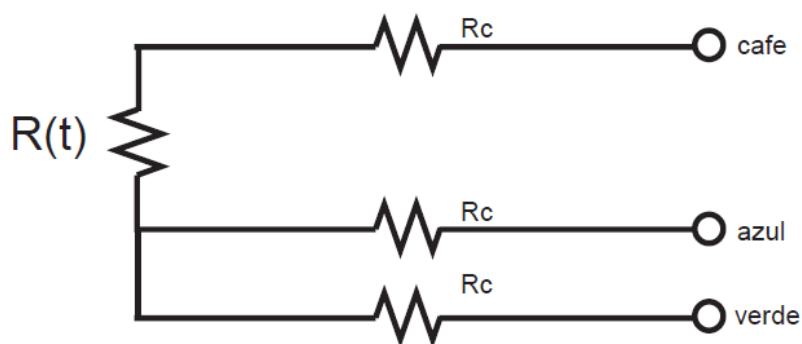
Autor: Diana Chamorro

2.3.3. SENSOR PT100

Este sensor termo-resistivo permite determinar la temperatura a la cual va a trabajar el secador. Es un sensor PT100 de 3 alambres que está diseñado para operar entre -100 y 482 ° C.

Se utiliza la conexión de tres hilos porque disminuye el error generado por la resistencia de los cables dando un error inevitable.

Figura 23. Sensor Pt100 tres hilos



Fuente: ARIAN, Control y Automatización.

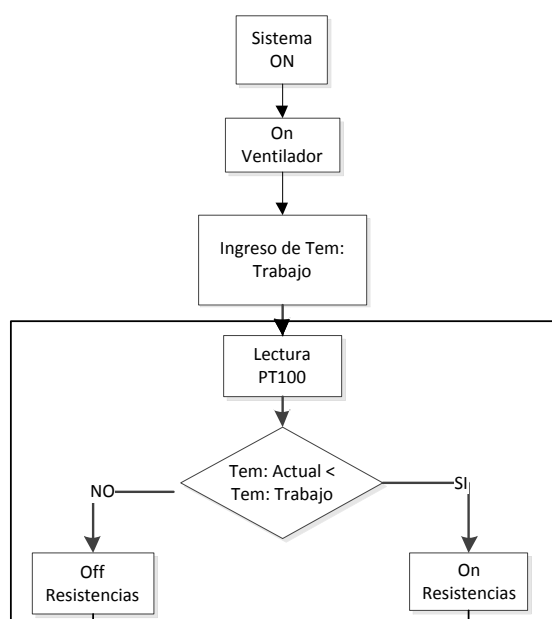
Al ser un sensor pasivo no lineal se requiere un acondicionamiento para que la señal este en el nivel requerido en la entrada del PLC, por lo que se utiliza el módulo de expansión analógico (AM2 RTD) del PC LOGO el cual es se encargar de procesar la señal de dicho sensor.

Figura 24. Sensor Pt100 tres hilos



Autor: Diana Chamorro

A continuación se detalla en un diagrama de flujo el proceso del control de temperatura en el cilindro secador.

Diagrama 2: Control de temperatura

Autor: Diana Chamorro

2.3.3.1. Parámetros del sensor Pt100 implementado

Para el acondicionamiento del sensor se utilizó los siguientes parámetros.

Rango de medida	Parámetro
Mínimo: -50	Gain: 20
Máximo: 170	Offset: -50

2.4. DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONTROL

Para el diseño de control se tomó en cuenta las variables a controlar y la función de la máquina por lo que se decide utilizar.

- 3 salidas digitales para controlar motor del ventilador, motor para el giro del cilindro y resistencias calefactoras.
- 3 entradas digitales para alarmas de fallos.
- 1 entrada analógica para lectura del sensor de temperatura.
- Pantalla TD de logo para que el operario pueda ingresar el valor de la temperatura a operar, además se visualiza el estado de las variables que controlan la misma así como los fallos y estado de los actuadores, sensores etc.

- Un variador de velocidad para controlar la velocidad de giro del cilindro de secado.

Se utilizara el PLC LOGO que es un controlador compacto y cumple nuestro requerimientos.

2.4.1. CARACTERISTICAS DEL PLC

El Logo tiene una capacidad de ampliación máxima de 24 entradas digitales, 16 salidas digitales, 8 entradas analógicas y de 2 salidas analógicas utilizando los siguientes módulos.

El LOGO integra funciones básicas y especiales que facilitan el desarrollo de los programas. Las cuales son 8 funciones básicas con las cuales pueden obtener combinaciones NA y NC en seo o en paralelo, así como inversores y conmutadores, 31 Funciones especiales entre las cuales se encuentran: retardo a la conexión, retardo a la desconexión, contadores adelante/atrás, relés de autoretencción, generadores de impulsos, horómetros, generador, generador de salida aleatoria, switch de conmutación, comparador para señal analógica ya sea con módulos de expansión o con el LOGO, función de reloj con programación semanal y anual, multiplexor analógico, bloque de control PWM bloque PI para el control de lazo cerrado, etc.

A continuación se detalla los elementos requeridos para el control del sistema:

Figura 25. PLC DC 12/24 V LOGO



Autor: Diana Chamorro

2.4.1.1. CARACTERÍSTICAS DE LA FUENTE DE PODER

- Conversión 115 – 230V AC para Logo
- 2 versiones (12V/24V DC)

Figura 26. Fuente de 24VC



Autor: Diana Chamorro

2.4.2. PANTALLA LOGO TD

Alimentación

- 12V DC, 24V AC/DC,
- Conector para fuente de alimentación

2.4.2.1. CARACTERÍSTICAS DE LA PANTALLA LOGO TD

- 4 líneas de 12 caracteres
- Conectable a cualquier Logo 0BA6 a través de un nuevo puerto
- 6 teclas estándar y 4 teclas adicionales de función (F1-F4)
- Clase de protección IP65

Figura 27. Pantalla Logo TD



Autor: Diana Chamorro

2.4.3. MÓDULO DE AMPLIACIÓN

Fue necesaria la utilización de un módulo de ampliación de salidas a relay para poder controlar mejor el secador.

2.4.3.1. CARACTERÍSTICAS DE MÓDULOS DE AMPLIACIÓN ANALÓGICOS

- Alimentación 12/24V DC
- Sensores de 2 y 3 hilos
- $L_{+} = 10,8 \dots 28,8$ V DC
- $I_{24V\ DC} = 30 \dots 40$ mA
- Input: PT100/PT1000 + PT100/PT1000 (-50 °C... +200°C)

Figura 28. Módulos de Expansión Analógicos (AM2 RTD)



Autor: Diana Chamorro

2.4.3.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS MÓDULOS DE AMPLIACIÓN SALIDAS A RELAY

Para aumentar las salidas requeridas se debe utilizar un módulo de ampliación con salida a relay cuyas características son:

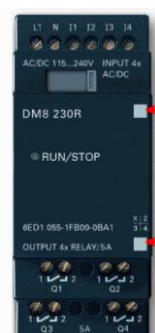
4 ED 120/230V AC/DC

$L = 20,4 \dots 28,8$ V DC

$I_{24V\ DC} = 30 \dots 45$ mA

$I_1 \dots I_4 = 1 > 12$ V DC; $I > 2$ mA $0 < 5$ V DC; $I < 0,85$ mA

Figura 29. Módulos de Expansión salidas a relay (MD8 24)



Autor: Diana Chamorro

CAPITULO III

3.1. CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA DE ESTUDIO

En este capítulo se desarrollará la etapa de construcción de la máquina de estudio. Equipos requeridos para la construcción.

Para la fabricación del secador se necesitarán los siguientes equipos.

A continuación se muestran las designaciones de cada una de las herramientas, máquinas herramientas e instrumentos de medición y maquinaria, para la representación en un crucigrama de construcción de cada uno de los sistemas que constituyen el secador.

Tabla 14. Tipos y designaciones de máquinas herramientas y equipos

CÓDIGO	HERRAMIENTA	TIPO
I	Escuadra	Instrumento
	Calibrador (pie de rey)	
	Nivel	
	Flexómetro	
H	Brocas	Herramienta
	Esmeril	
	Sierra de arco	
	Machuelos	
	Llaves	
	Prensas	
	Limas	
M1	Fresadora	Máquina
M2	Esmeril	Herramienta
M3	Taladro de banco	

M4	Dobladora	
M5	Rectificadora	
M6	Amoladora	
M7	Baroladora	
E1	Equipo de suelda eléctrica	
E2	Equipo de pintura	

Autor: Diana Chamorro

Las operaciones tecnológicas necesarias para la construcción de la máquina de estudio se las detalla a continuación.

Tabla 15. Operaciones tecnológicas

NÚMERO	OPERACIÓN
1	Corte del material
2	Barolado
3	Soldado
4	Emirilado y/o Amolado
5	Torneado
6	Taladrado
7	Fresado
8	Doblado
9	Remachar
10	Machuelado
11	Pintado

Autor: Diana Chamorro

Herramientas manuales

- Juegos de llaves (hexagonales, de boca y corona)
- Destornilladores planos y de estrella
- Martillo

3.1.1. ETAPAS DE CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO





El proceso de construcción de cualquiera de los elementos que constituyen el prototipo cumple con la siguiente secuencia:

- Adquisición de la materia prima.
- Trazar sobre la materia prima.
- Ejecutar los procesos tecnológicos de acuerdo a lo establecido en la hoja de procesos
- Verificar las dimensiones.

3.1.2. DIAGRAMA DE FLUJO DE CONSTRUCCIÓN

Simbología utilizada para el diagrama de flujo para la construcción del secador.

Tabla 16. Simbología estándar para diagrama de flujo

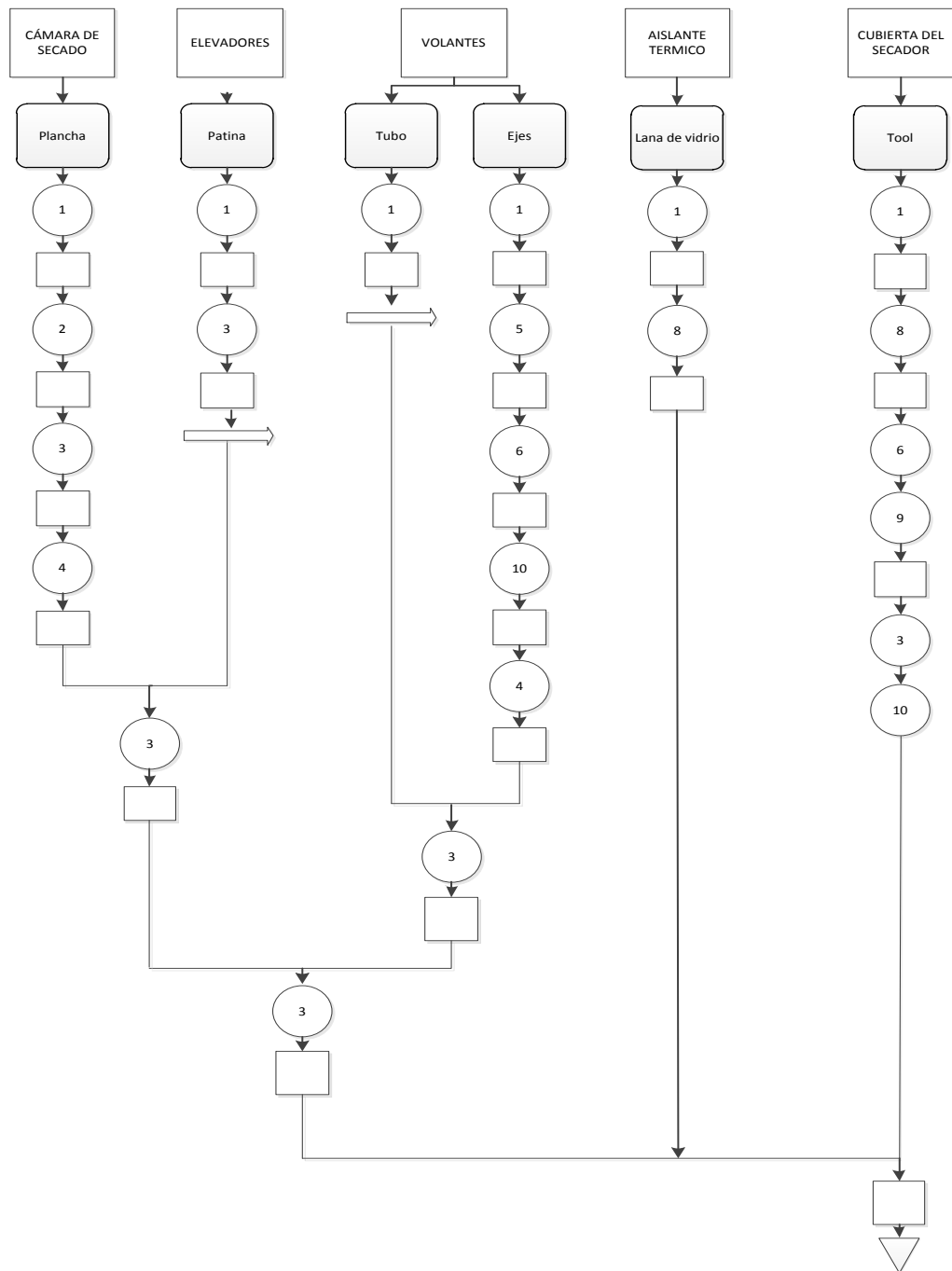
ACTIVIDAD	SIMBOLOGIA
Operación: Indica las principales fases del proceso.	
Inspección: verifica la cantidad o calidad de algo	
Traslado: Indica el movimiento de los materiales	
Termino de proceso: Indica el término del proceso.	

Autor: Diana Chamorro

A continuación se detalla el proceso tecnológico necesario para la construcción de cada elemento de la máquina, las dimensiones estarán expuestas en los respectivos planos.

3.1.3. CÁMARA DE SECADO

Diagrama 3. Diagrama de flujo, construcción de cámara de secado



Autor: Diana Chamorro

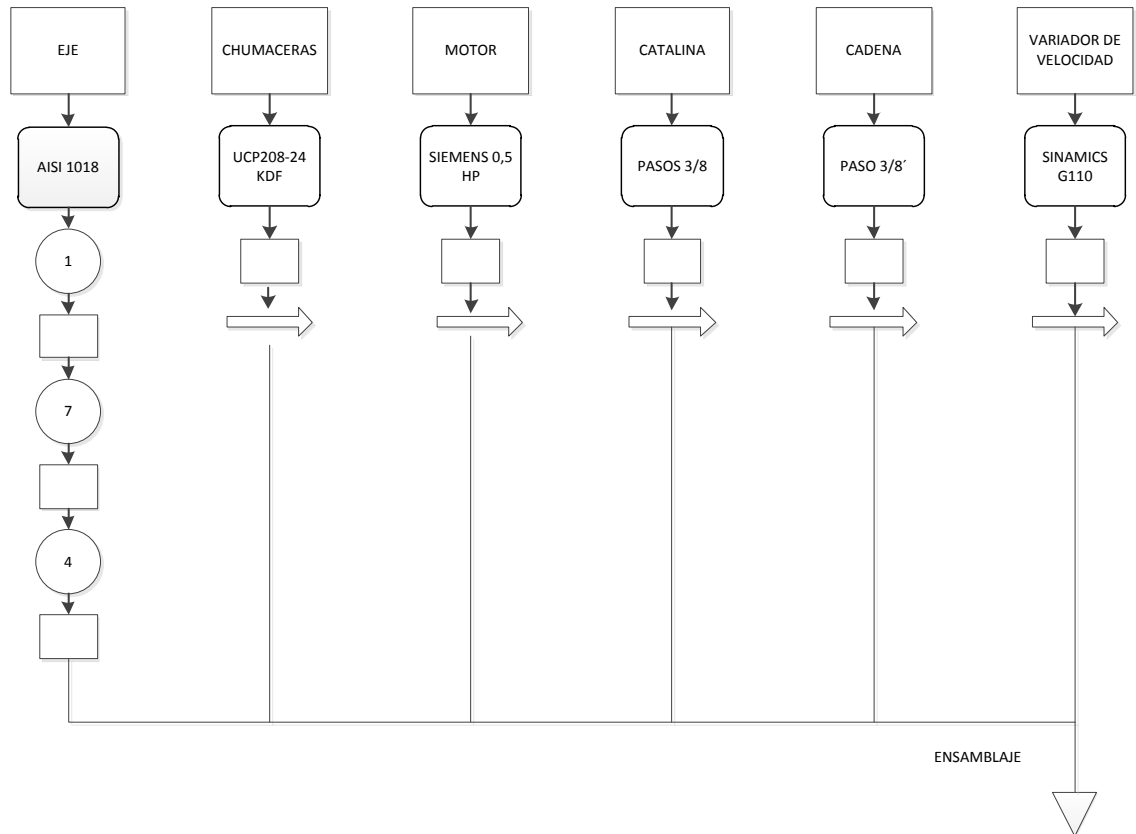
Figura 30. Construcción de la cámara de secado

		
<p>a) Elaboración del cilindro</p>	<p>b) Solidarios de sujeción</p>	<p>c) Corte de ángulo para la estructura</p>
		
<p>d) Colocación del aislante térmico</p>	<p>e) Cubierta del secador</p>	<p>f) Solidarios al eje</p>

Fuente: Diana Chamorro


3.1.4. EJE MOTRIZ

Diagrama 4. Diagrama de flujo del sistema motriz



Autor: Diana Chamorro

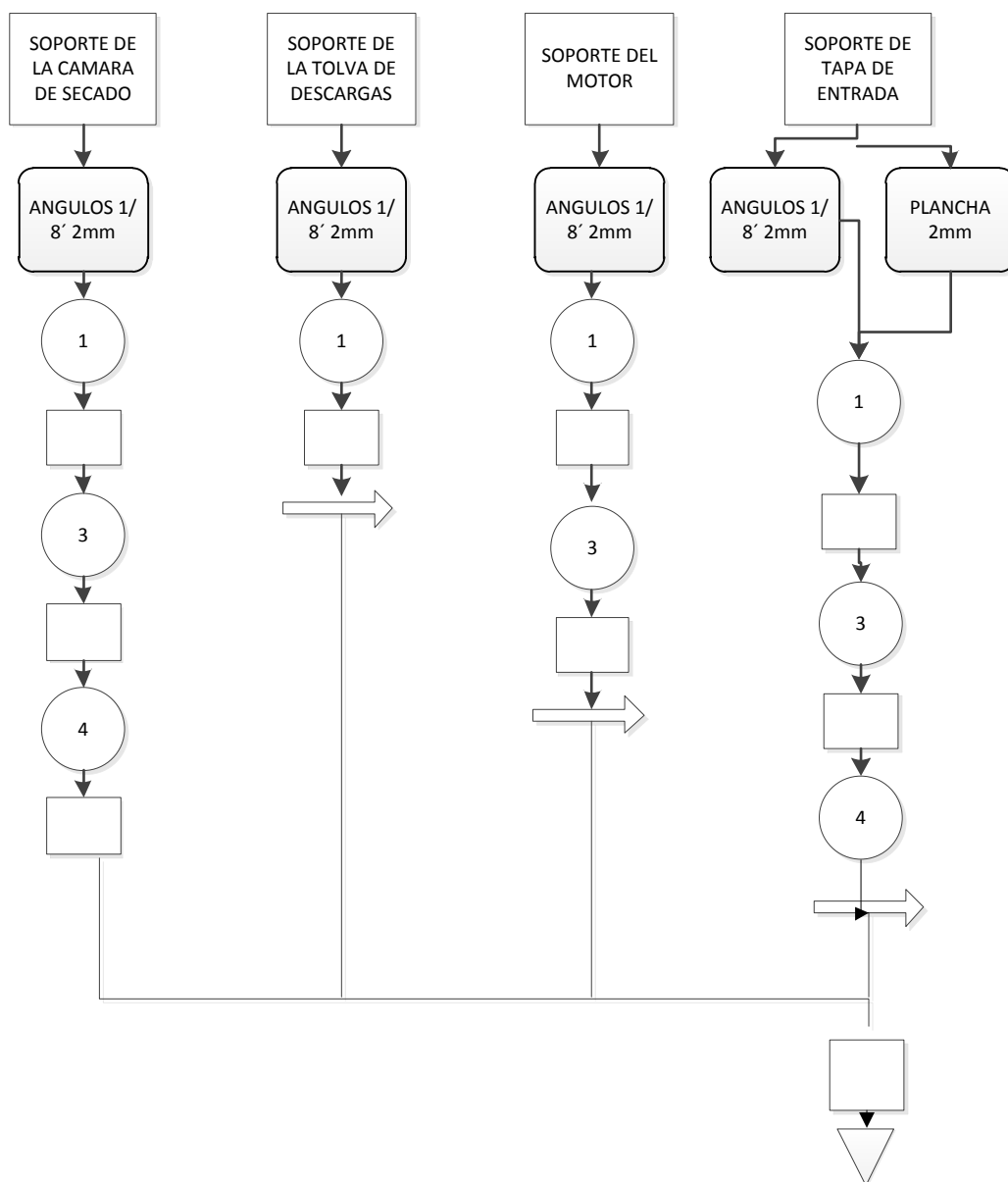
Figura 31. Eje motriz, catalina y chumacera

		
<p>a) Fresado de chavetas</p>	<p>b) Colocación de la chumacera</p>	<p>c) Colocación de cadena y catalina</p>

Fuente: Diana Chamorro

3.1.5. SISTEMA ESTRUCTURAL

Diagrama 5. Diagrama de flujo del sistema estructural



Autor: Diana Chamorro

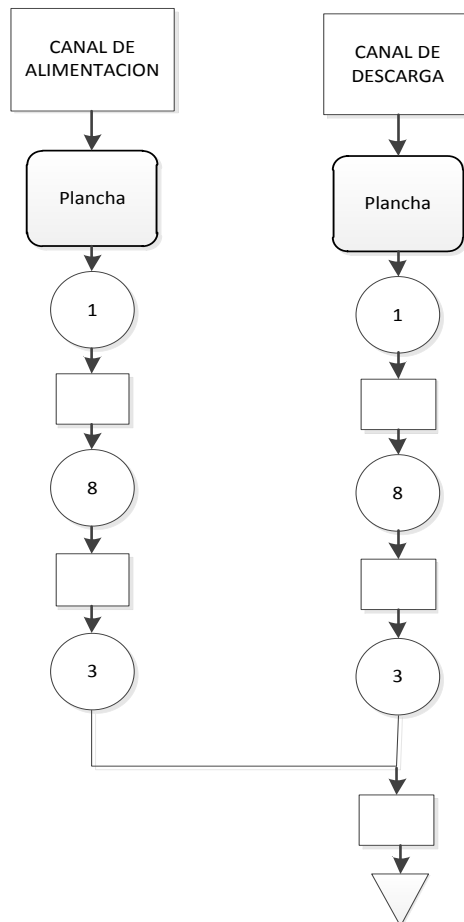
Figura 32. Estructura del cilindro



Autor: Diana Chamorro

3.1.6. ALIMENTACION Y DESALOJO DEL PRODUCTO

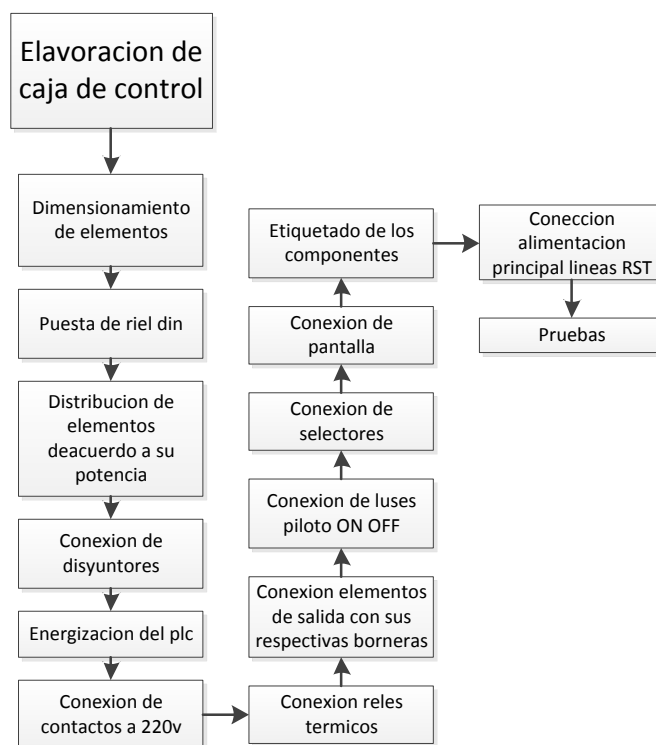
Diagrama 6. Diagrama de flujo del sistema de alimentación y desalojo del producto



Autor: Diana Chamorro

3.1.7. CONSTRUCCION DE LA CAJA DE CONTROL

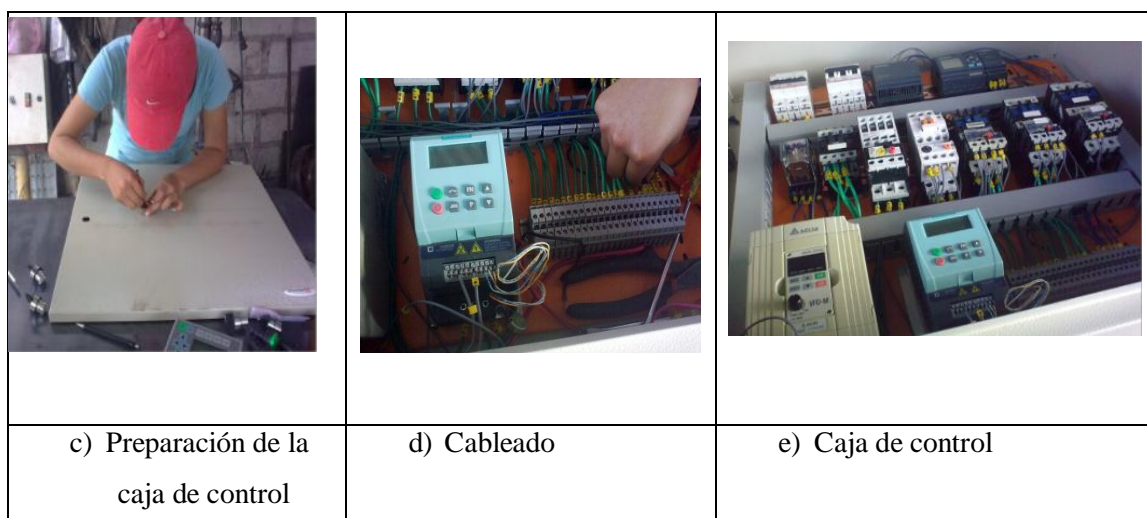
Diagrama 7. Diagrama de flujo de la construcción de la caja de control



Autor: Diana Chamorro

En las siguientes figuras se expone el proceso de construcción de caja de control.

Figura 33. Construcción de la caja de control



Autor: Diana Chamorro

3.1.8. MONTAJE

Al terminar la construcción de las diferentes partes que conforman el secador rotatorio se procede al montaje de los mismos.

Para el montaje se procede en la secuencia de los diagramas de flujo de actividades de las figuras anteriores.

En la tabla 17 se detallan las actividades realizadas las mismas tienen asignados un código.

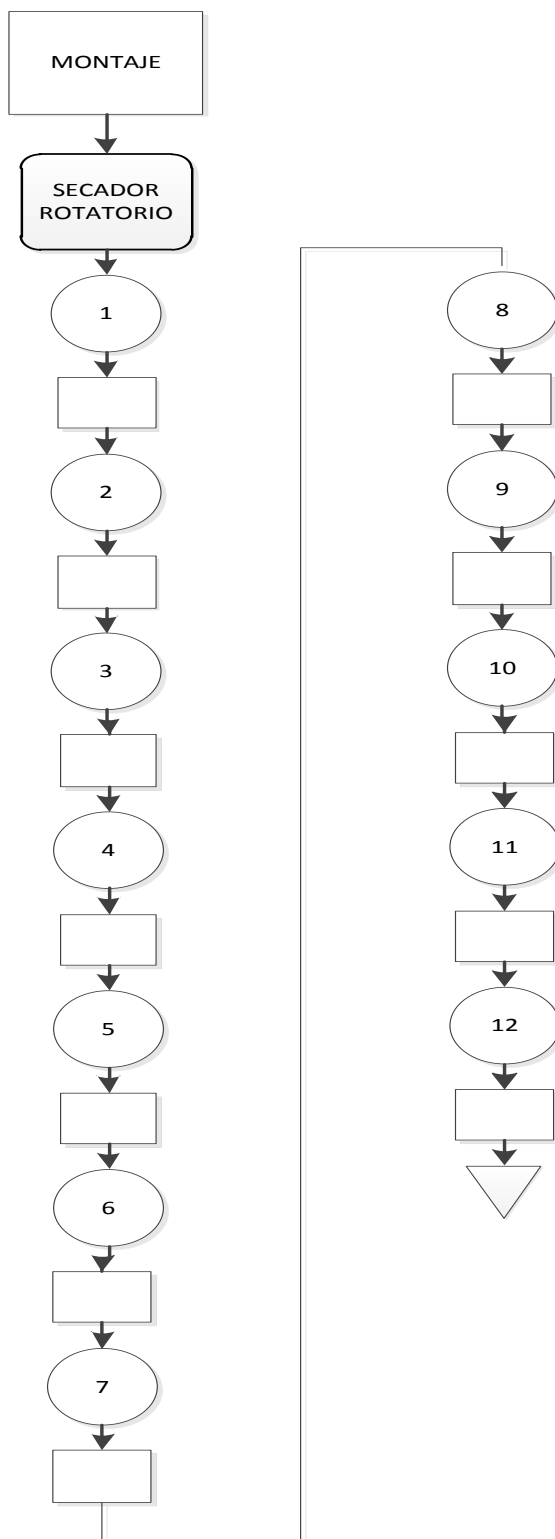
Tabla 17. Actividades para el montaje

ITEM	ACTIVIDAD
M1	Instalación del bastidor
M2	Instalación del eje
M3	Instalación del cilindro de secado
M4	Instalación de los volantes solidarios
M5	Instalación de las chumaceras sobre el eje
M6	Instalación de la tolva de desalajo
M7	Instalación de la tapa de entrada de producto y aire seco.
M8	Instalación del soporte para el motor
M9	Instalación de la catalina y cadena
M10	Instalación de la tubería de entrada del aire caliente
M11	Instalación de las resistencias
M12	Pintura de la máquina

Autor: Diana Chamorro

3.1.8.1. Diagrama de flujo del montaje.

Diagrama 7. Diagrama de flujo del montaje



Autor: Diana Chamorro

Figura 34. Montaje del secador rotatorio

		
<p>a) Montaje del cilindro sobre la estructura</p>	<p>b) Colocación de la chaveta en el eje</p>	<p>c) Soldado de solidarios al cilindro</p>
		
<p>d) Tubería de entrada de aire caliente</p>	<p>e) Colocación de aislante térmico a la tubería</p>	<p>f) Pruebas de software y hardware</p>

Autor: Diana Chamorro

3.1.9. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN

Se decide utilizar un ventilador centrífugo ya que la planta de balanceados posee uno, además puede producir caudales altos. Para un mismo caudal y un mismo diámetro de rotor, gira a menos vueltas con menor nivel sonoro.

El ventilador centrífugo está conformado en una rueda con alabes (impulsor) que gira en una carcasa, generalmente en forma de voluta.

Los ventiladores de alabes curvados hacia adelante (también se llaman jaula de ardilla) tienen una hélice o rodete con las alabes curvadas en el mismo sentido que la dirección de giro, estos ventiladores necesitan poco espacio, baja velocidad periférica y son silenciosos.

El ventilador esta acoplado a un motor trifásico de 2Hp que provee de movimiento el mismo que esta acoplado con un sistema de poleas para reducir la velocidad del viento seco.

Figura 35: Ventilador de alabes con carcasa



Fuente: Diseño y construcción de un módulo de temperatura.

3.2. CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

En la parte de control se ha utilizado el PLC Logo, pantalla Logo TD, módulos de ampliación de salidas a relay (MD8 24), así como un módulo analógico (AM2 RTD) para la lectura del sensor PT100, con su respectivo software.

Figura 36: Caja de control implementada



Fuente: Diana Chamorro

3.2.1. PROGRAMA DEL PLC LOGO.

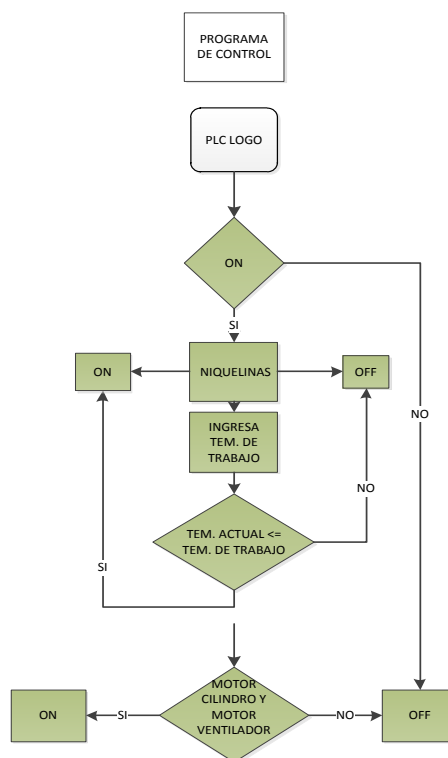
El programa que comanda el secador consta de cuatro entradas digitales que pertenecen a fallos del motor del cilindro, motor ventilador, resistencias y sensor capacitivo, una entrada analógica del sensor de temperatura PT100, y

de tres salidas que controlan el motor del ventilador, el motor del cilindro el mismo que esta comandado por un variador de frecuencia, y al sistema de resistencias, también cuenta con una pantalla del logo TD la misma que sirve para ingresar la temperatura a la cual debe operar el cilindro secador, como también visualiza en que lugar se ha detectado fallos en el sistema del cilindro.

3.2.2. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA EN EL LOGO.

A continuación se detalla la secuencia del algoritmo en un diagrama de flujo del programa que comanda el secador.

Diagrama 8. Diagrama de flujo del programa en LOGO



Autor: Diana Chamorro

3.3. CONSTRUCCIÓN DE LAS INSTALACIONES Y ALIMENTACIÓN

Para la alimentación se ha requerido utilizar la tensión trifásica 220V AC de la planta, ya que los motores y las resistencias eléctricas requieren de este tipo de alimentación.

3.3.1. CONEXIONES ELECTRICAS DEL VENTILADOR

3.3.1.1. Dimensionamiento de potencia del motor del ventilador

Para la conexión eléctrica desde el tablero de control al ventilador cuyo motor tiene una potencia de 2 HP, se usó cable # 12 ya que soporta una corriente de hasta 34 A que sobrepasa el requerimiento del motor.

Para el accionamiento se usó un contactor de 9 A y un relay térmico de 3 a 6 configurado a 3 A, y a la vez esté conectado a un braker de 32 A ya que está conectado en paralelo con el motor del cilindro.

3.3.1.2. Dimensionamiento de control del motor del ventilador

El cableado se lo realizo con cable # 18.

Para reducir la velocidad y transmitir el movimiento del motor al ventilador se utilizó un sistema de poleas, polea conductora de 2 in y polea conducida de 5 in.

Figura 37: Acople de motor a el Ventilador



Fuente: Diana Chamorro

3.3.2. CONEXIONES ELECTRICAS DE LAS RESISTENCIAS

El sistema para obtener el aire caliente para secar como ya se mencionó anteriormente, se lo realizó con resistencias cuya conexión está dada en estrella, de esta manera se logra obtener la temperatura necesaria para el proceso de secado.

3.3.2.1. Dimensionamiento de potencia para resistencias

Con la ayuda de la tabla de valores de la AWG detallada en los anexos se concluyó que el cable a utilizar para la conexión de las resistencias es el # 6, el mismo que soporta una corriente máxima de 60 A, a una temperatura ambiente de 30 grados centígrados. Para su accionamiento se utilizó un contactor de 32 A.

Con el paso del tiempo las resistencias eléctricas tienden a reducir su vida útil, y por ende a reducir su resistencia, aumentando el consumo de corriente por lo cual se colocó como protección un rele térmico setiado en 32 A ya que el consumo máximo de cada fase en las resistencias no sobrepasa este valor.

3.3.2.2. Dimensionamiento de control para la resistencias

Para la parte de control se utilizó cable # 18.

Figura 38. Conexiones de las resistencias

		
<p>a) Alimentación trifásica a las resistencias</p>	<p>b) Mantenimiento a las resistencias</p>	<p>c) Instalación de las resistencias</p>

Autor: Diana Chamorro

3.3.3. CONEXIONES ELECTRICAS DEL MOTOR DEL CILINDRO

Como se mencionó en el anteproyecto presentado, el giro del cilindro se lo realizara mediante un motor a una velocidad muy baja, para lo cual se utilizó con el variador de velocidad Altivar 11, la velocidad depende de la permanencia en el interior del cilindro del producto a secarse, y por ende la calidad de secado. Mientras mayor sea el tiempo de permanencia del producto dentro del cilindro menor será la humedad del producto final y viceversa.

3.3.3.1. Dimensionamiento de potencia para el cilindro

La corriente consumida por el motor del cilindro es de 2 A. Para lo cual se utilizó cable # 12 cuyo valor se tomó de la tabla AWG que detalla en los anexos que su corriente máxima a temperatura ambiente de 30 C es mucho mayor a lo que requiere el motor, su accionamiento se realizó con un contactor de 9 A, y con un disyuntor de 40 A ya que se lo comparte con otros elementos. No se vio la necesidad de utilizar relay de temperatura ya que el variador cuenta con protecciones internas para esta función.

3.3.3.2. Dimensionamiento de control para el cilindro

Las conexiones se lo realizó con cable # 18, a continuación se indica los parámetros programados en el variador de velocidad que cumpla los del secador requerimientos.

- **Parámetros del variador de velocidad**

Parámetros de ajuste de primer nivel

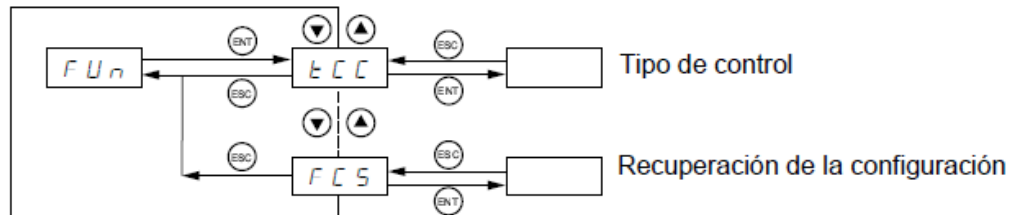
Figura 39: Valores del variador de velocidad

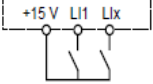
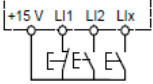
Código	Descripción	Rango de ajuste	Ajuste de fábrica
b F r	Frecuencia del motor	50 Hz 0 60 Hz	50 (gama E) 0 60 (gama U)
Este parámetro sólo aparece en este menú en la primera puesta en tensión. Siempre se puede modificar en el menú FUn.			

<i>R I E</i>	Configuración de la entrada analógica	5U, 10U, 0A, <u>4A</u> 5U
	- <i>S U</i> : en tensión 0 - 5 voltios (alimentación interna) - <i>I D U</i> : en tensión 0 - 10 voltios (alimentación externa) - <i>O R</i> : en corriente 0 - 20 mA - <u><i>4 R</i></u> : en corriente 4 - 20 mA	

- En el menú FUn

Menú de funciones de aplicaciones FUn



Código	Descripción	Ajuste de fábrica
<i>t C C</i> <i>R C E</i>	Tipo de control <u><i>t C</i></u> = control 2 hilos <i>t C</i> = control 3 hilos Control 2 hilos: El estado abierto o cerrado de la entrada controla la marcha o la parada. Ejemplo de cableado:  LI1: adelante LIx: atrás Control 3 hilos (mando por pulsos): un impulso "adelante" o "atrás" es suficiente para controlar el arranque, un impulso de "parada" es suficiente para controlar la parada. Ejemplo de cableado:  LI1: parada LI2: adelante LIx: atrás ⚠ Para cambiar la asignación de tCC es necesario pulsar de forma prolongada (2 s) la tecla "ENT", con lo que las funciones siguientes vuelven al ajuste de fábrica: rS, tCt, Atr, PS2 (LIA, LIb).	2C
<i>t C C</i>	Tipo de control 2 hilos (sólo se puede acceder a este parámetro si tCC = 2C): <i>L E L</i> : los estados 0 ó 1 se tienen en cuenta para la marcha o la parada. <i>t r n</i> : es necesario cambiar de estado (transición o flanco) para activar la marcha a fin de evitar un re arranque imprevisto tras una interrupción de la alimentación. <i>P F D</i> : igual que LEL, pero la entrada de giro "adelante" siempre tiene prioridad sobre la entrada de giro "atrás".	trn
<i>b F r</i>	Frecuencia del motor (Recuperación del parámetro bFr de ajuste del 1er nivel) Ajuste a 50 Hz o 60 Hz, que se toma de la placa de características del motor.	50 (gama E) o <u>60 (gama U)</u>

Fuente: Manual del producto, Altivar 11.

Figura 40. Variador Altivar 11³²



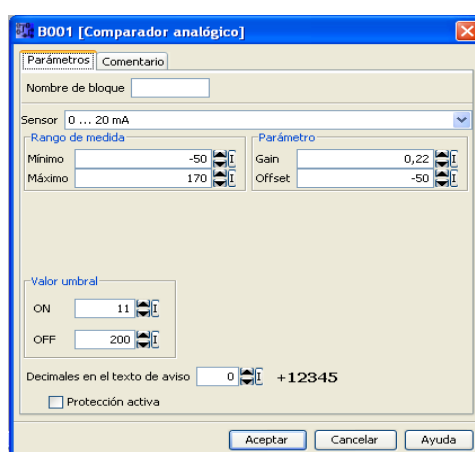
Autor: Diana Chamorro

3.3.4. CONEXIÓN DEL SENSOR DE TEMPERATURA

Con la ayuda que brinda los módulos de ampliación de Logo se decide utilizar un módulo de ampliación analógico para PT100 el cual lo acondiciona para el PLC.

En la conexión de la Pt100 se lo realizó a dos hilos con cable # 18 de control. Experimentalmente se observó que los parámetros para la lectura de la temperatura fueron los siguientes.

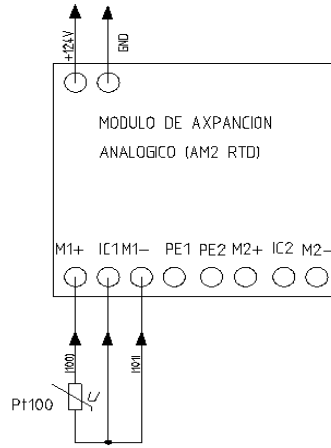
Figura 41. Parámetros de la Pt100



³² User's manual

Autor: Diana Chamorro

Figura 42. Diagrama de conexiones de la Pt100



Autor: Diana Chamorro

CAPÍTULO IV

4.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1.1. CONCLUSIONES

- Con la máquina secadora se logra reducir la humedad al 12% que es el valor aceptable para el almacenamiento adecuado mejorando la calidad del producto.
- El desarrollo del proyecto de titulación da una solución al problema planteado, implementando el secador rotatorio de pellets que al ser un proceso automatizado disminuye la mano de obra de 4 personas a un operador encargado de visualizar el debido funcionamiento.
- Al tener un control de la maquina secadora, se ha simplificado las condiciones de trabajo de las personas encargadas del proceso.
- Los pellets al ser un producto que viene de un proceso donde se agregó vapor, el contenido de humedad es muy alto en comparación a los estándares para ser almacenado, para no tener pérdidas es obligatorio pasar por el proceso de secado para bajar la humedad a niveles admisibles para el mercado.
- El uso de electricidad como fuente de energía para obtener el aire seco en lugar de las demás alternativas es recomendable ya que es un producto amigable con el medio ambiente.
- Para un adecuado diseño, se debe considerar todos los parámetros y detalles que puedan afectar la construcción como la cantidad de producción, humedad, espacio físico, etc.
- La máquina presenta una gran adaptabilidad para secar varias clases de pellets que requieran condiciones similares, por lo que cuenta con un teclado donde se puede ingresar el valor de la temperatura requerida para su operación cuyo rango es de temperatura ambiente a 115 °C.
- La realización del protocolo de pruebas permite comprobar el debido funcionamiento de la máquina y conocer los errores existentes para controlarlos a tiempo.

4.1.2. RECOMENDACIONES

- El rango de operación de la temperatura satisface actualmente las necesidades de la empresa, si hay la necesidad de aumentar el rango de temperatura, se recomienda cambiar las conexiones de las resistencias de estrella a triángulo.
- Se recomienda aumentar un proceso de enfriamiento, para equiparar la temperatura de salida del producto seco con el medio ambiente en menos tiempo, para su posterior almacenamiento.
- El diseño del secador se lo realizó tomando en cuenta las necesidades de la empresa a aplicarse, para implementar el sistema en otra empresa se deberá redimensionar, ya que los parámetros tales como, productividad, espacio físico, humedad, entre otras; varían dependiendo de las necesidades de la empresa.
- Implementar un sistema SCADA para realizar un control en tiempo real del proceso, tener un historial de producción y fallos, mejorando así la productividad.
- Realizar un sistema de separación y retroalimentación de los materiales finos.
- Implementar un proceso de empacado automático después del enfriamiento.
- Al trabajar con motores, los mismo que pueden producir atrapamientos, se debe aumentar paros de emergencia cerca de los lugares de peligro.

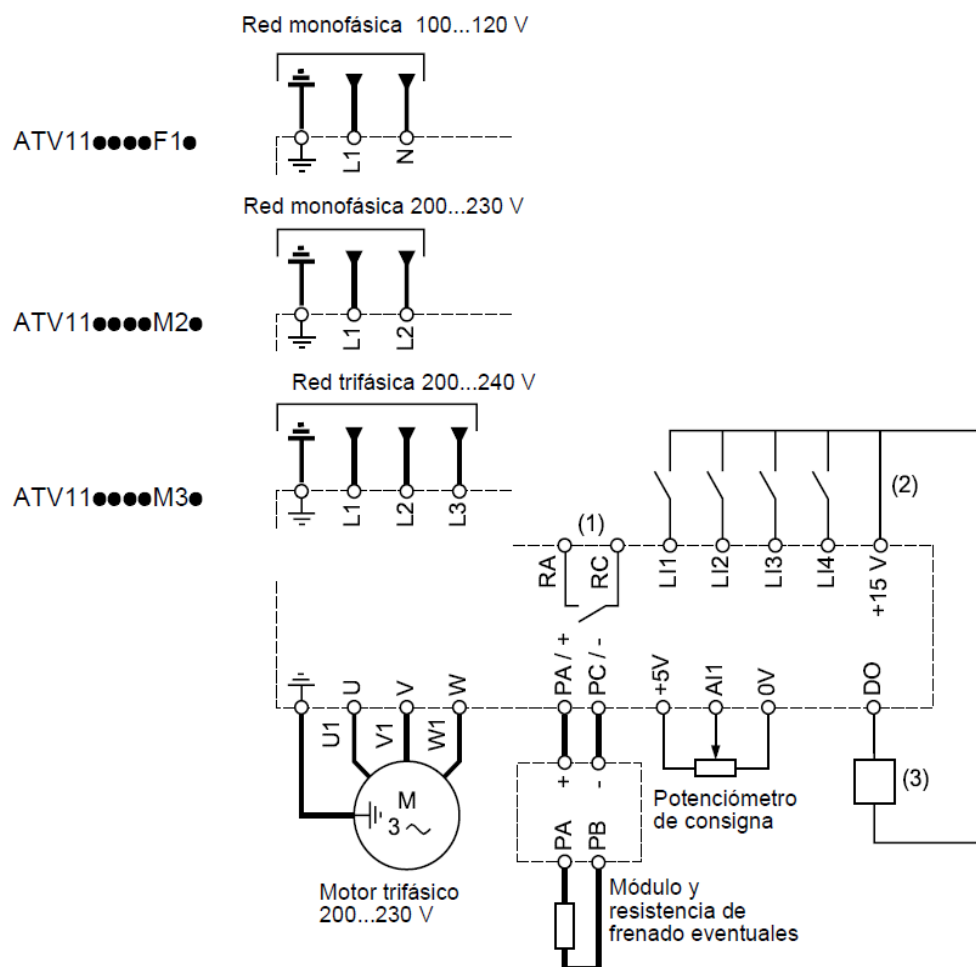
BIBLIOGRAFÍA

- [1] Incropera; F, (1996). *Fundamentos de Transferencia de Calor*. (4ta. ed.) México. Pearson Education.
- [2] Nonhebel G. (1979). *El secado de sólidos en la industria Química* España Ed. Reverté.
- [3] Robert Mott (2006). *Diseño de elementos de máquina*. (4ta. ed.) México Educación.
- [4] Perry R. (1999). *Manual del Ingeniero Químico*; (6ta. ed.). McGraw-Hill; México, D.F;
- [5] Shigley J. (1989). *Manual de Diseño Mecánico*. (6ta ed.). McGraw-Hill;
- [6] Mc Cabe, Warren I. (2002). *Operaciones Unitarias en la Ingeniería Química*. (6ta. ed.). McGraw-Hill Interamericana Editores.
- [7] Guerrero Eduardo (2002). *Diseño y Construcción de una Tostadora de Café*, EPN.
- [8] Ortega M. (1996). *Cartas Psicrométricas*; Editorial Imprima; Ecuador;
- [9] Rodríguez Nelson. *Modelación y Simulación Matemática del Secado*; Departamento de Matemáticas y Estadística Universidad del Tolima.
- [10] Riba, C. (2002) *Diseño concurrente (1ra. ed.)*. Barcelona: Edición UPC.
- [11] SKF.; Catálogo general.
- [12] Catálogo general del variador de frecuencia Altivar 11.
- [13] VARGAS J. (2004). *Guía de Fundamentos de Dibujo Industrial*.
- [14] YUNUS A. CENGEL. (1996). *Termodinámica*; McGraw-Hill; (4ta Ed). México.
- [15] *Cátalo de materiales de ingeniería*, Iván Bohman C.A.
- [16] Métodos de transferencia de calor, Recuperado el 26 de Abril del 2011, de <http://trayectofisyk.blogspot.com/2010/05/tranferencia-de-calor.html>
- [17] Calor y luz, Recuperado el 12 de diciembre del 2011, de <http://wwwnoemi-g-noemi.blogspot.com/2010/06/5.html>

- [18] Secador Rotatorio, Recuperado el 19 de noviembre del 2011, de <http://spanish.alibaba.com/product-gs/rotary-dryer-with-iso9001-2008-295763545.html>
- [19] Allgaier, Secador de tambor indirecto, Recuperado el 25 de octubre del 2011. <http://www.directindustry.es/prod/allgaier/secadores-de-tambor-indirectos-13878-805207.html>
- [20] Bioenergy international Polonia, .Recuperado el 26 de octubre del 2011. http://www.amatex.es/pdf/amatex_en_%20bioenergy.

ANEXOS

ANEXO A. DIAGRAMA DE CONECCIÓN VARIADOR ALTIVAR 11

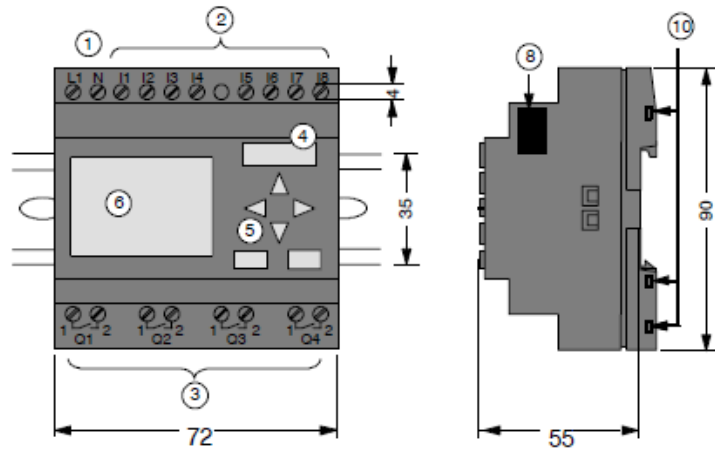


ANEXO B. FUENTE DE ALIMENTACIÓN 24V LOGO!

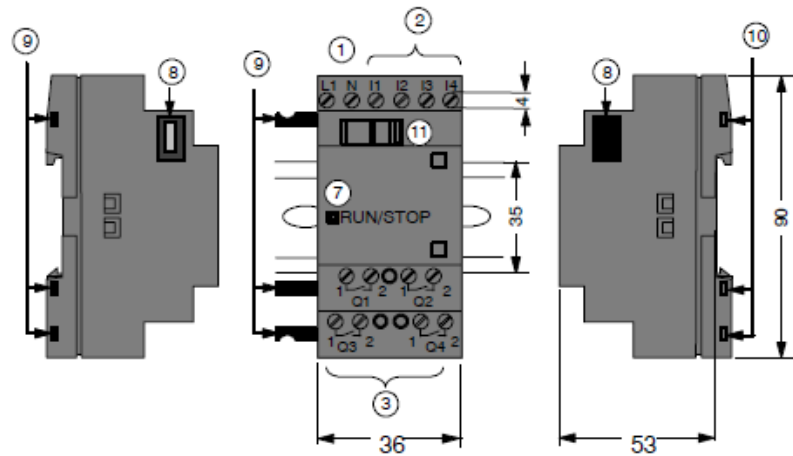
	LOGO! Power 24 V / 1,3 A	LOGO! Power 24 V / 2,5 A
Datos de entrada		
Tensión de entrada	100 ... 240 V c.a.	
Margen admisible	85 ... 264 V c.a.	
Frecuencia de red admisible	47 ... 63 Hz	
Compensación de fallos de tensión	>40 ms (para 187 V c.a.)	
Intensidad de entrada	0,70 ... 0,35 A	1,22 ... 0,66 A
Corriente de activación (25 °C)	<15 A	<30 A
Protección del equipo	interna	
Conmutador LS recomendado (IEC 898) en el cable de alimentación	≥ 16 A característica B ≥ 10 A característica C	
Datos de salida		
Tensión de salida	24 V c.c.	
Tolerancia total	+/- 3 %	
Margen ajustable	22,2 ... 26,4 V c.c.	
Ondulación residual	< 200/300 mV _{SS}	
Intensidad de salida	1,3 A	2,5 A
Limitación de sobreintensidad	típ. 2,0 A	típ. 3,4 A
Rendimiento	típ. 82 %	típ. 87 %
Conectable en paralelo para aumentar la potencia	sí	
Compatibilidad electromagnética		
Grado de supresión de radiointerferencias	EN 50081-1, clase B según EN 55022	
Inmunidad a interferencias	EN 61000-6-2, EN 61000-4-2/-3/-4/-5/-6/-11	
Seguridad		
Separación galvánica primario/secundario	sí, SELV (según EN 60950 y EN 50178)	
Clase de protección	II	
Tipo de protección	IP 20 (según EN 60529)	
Certificación CE	sí	
Certificación UL/cUL	sí; UL 508 / UL 60950	
Certificación FM	sí; Class I, Div. 2, T4	
Certificación GL	sí	
Indicaciones generales		
Temperatura ambiente (margen)	-20 ... +55 °C, convección natural	
Temperatura de almacenaje y transporte	-40 ... +70 °C	
Conexiones en la entrada	un borne (1 x 2,5 mm ² o 2 x 1,5 mm ²) para L1 y otro para N	
Conexiones en la salida	dos bornes (1 x 2,5 mm ² ó 2 x 1,5 mm ²) para + y otros dos para -	
Montaje	encajable en un perfil soporte de 35 mm	
Dimensiones en mm (AxPxP)	54 x 80 x 55	72 x 90 x 55
Peso aprox.	0,2 kg	0,3 kg

ANEXO C. ESTRUCTURA LOGO

LOGO! Basic (p.ej.: 230 RC)



LOGO! de LOGO!
(p.ej.: DM8 230R)



- | | | |
|--|-------------------------------------|---|
| ① Alimentación de tensión | ⑤ Panel de manejo
(no en RCo) | ⑧ Interfaz de ampliación |
| ② Entradas | ⑥ Pantalla LCD
(no en RCo) | ⑨ Codificación mecánica
- pernos |
| ③ Salidas | ⑦ Indicación del estado
RUN/STOP | ⑩ Codificación mecánica
- conectores |
| ④ Receptáculo de módulo
con revestimiento | | ⑪ Guía deslizante |

ANEXO D. DATOS TÉCNICOS LOGO! 12/24RC

Criterio	Verificación según	Valores
Condiciones ambientales mecánicas		
Tipo de protección		IP 20
Vibraciones	IEC 60068-2-6	5 ... 9 Hz (amplitud constante 3,5 mm) 9 ... 150 Hz (aceleración constante 1 g)
Choque	IEC 60068-2-27	18 choques (semisenoidal 15g/11ms)
Caída ladeada	IEC 60068-2-31	Altura de caída 50 mm
Caída libre, embalado	IEC 60068-2-32	1 m
Compatibilidad electromagnética (CEM)		
Emisión de interferencia	EN 55011/A EN 55022/B EN 50081-1 (área residencial)	Case valor límite B grupo 1
Descarga electrostática	IEC 61000-4-2 grado de intensidad 3	8 kV descarga al aire 6 kV descarga por contacto
Campos electromagnéticos	IEC 61000-4-3	Intensidad de campo 10 V/m
Radiación HF en cables y pantallas de cable	IEC 61000-4-6	10 V
Impulsos en ráfagas	IEC 61000-4-4 grado de intensidad 3	2 kV (conductores de alimentación y de señalización)
Impulso individual de alta energía (Surge) (sólo para LOGO! 230....)	IEC 61000-4-5 grado de intensidad 3	1 kV (conductores alimentación) simétrico 2 kV (conductores alimentación) asimétrico (los circuitos de 24 V c.c. requieren una protección de sobretensión externa.)
Datos sobre seguridad IEC / VDE		
Dimensionamiento de los entrehierros y las fugas	IEC 60664, IEC 61131-2, EN 50178 cULus según UL 508, CSA C22.2 No. 142 En LOGO! 230R/RC también VDE 0631	se cumple
Rigidez dieléctrica	IEC 61131-2	se cumple
Tiempo de ciclo		
Tiempo de ciclo por función		< 0,1 ms
Arranque		
Tiempo de arranque con POWER ON		típ. 8 s

ANEXO E. DATOS TÉCNICOS LOGO! 12/24RC

	LOGO! 12RCL	LOGO! 12/24RC LOGO! 12/24RCo
Fuente de alimentación		
Tensión de entrada	12 V c.c.	12/24 V c.c.
Margen admisible	10,8 ... 15,6 V c.c.	10,8 ... 15,6 V c.c. 20,4 ... 28,8 V c.c.
Consumo de corriente	10 ... 165 mA (para 12 V c.c.)	10 ... 120 mA (para 12/24 V c.c.)
Compensación de fallos de tensión	típ. 5 ms	típ. 5 ms
Potencia disipada	0,1 ... 2,0 W (para 12 V c.c.)	0,1 ... 1,2 W (para 12/24 V c.c.)
Respaldo en tampón del reloj a 25° C	típ. 80 h	típ. 80 h
Exactitud del reloj de tiempo real	máx. ± 5 s / día	máx. ± 5 s / día
Separación galvánica	no	no
Protección contra inversión de polaridad	sí	sí
Entradas digitales		
Cantidad	12	8
Separación galvánica	no	no
Tensión de entrada L+		
• señal 0	<4 V c.c.	<5 V c.c.
• señal 1	>8 V c.c.	>8 V c.c.
Intensidad de entrada para		
• señal 0	<0,5 mA	<1,0 mA (I1 ... I6) <0,05 mA (I7, I8)
• señal 1	>1,5 mA	>1,5 mA (I1 ... I6) <0,1 mA (I7, I8)
Tiempo de retardo para		

ANEXO F. DATOS TÉCNICOS LOGO! 12/24RC

	LOGO! 12RCL	LOGO! 12/24RC LOGO! 12/24RCo
<ul style="list-style-type: none"> • cambio de 0 a 1 • cambio de 1 a 0 	típ. 1,5 ms típ. 1,5 ms	típ. 1,5 ms típ. 1,5 ms
Longitud del conductor (sin blindaje)	100 m	100 m
Entradas analógicas		
Cantidad		2 (I7, I8)
Margen		0 ... 10 V c.c.
Tensión de entrada máx.		28,8 V c.c.
Salidas digitales		
Cantidad	8	4
Tipo de las salidas	Salidas a relé	Salidas a relé
Separación galvánica	sí	sí
En grupos de	2	1
Activación de una entrada digital	sí	sí
Tensión de salida		
Intensidad de salida		
Corriente permanente I_{th} (por cada borne)	máx. 10 A	máx. 10 A
Carga de lámparas incandescentes (25.000 maniobras) en caso de	1.000 W	1.000 W
Tubos fluorescentes con adaptador eléct. (25.000 maniobras)	10 x 58 W	10 x 58 W
Tubos fluorescentes compensados convencionalmente (25.000 maniobras)	1 x 58 W	1 x 58 W
Tubos fluorescentes no compensados (25.000 maniobras)	10 x 58 W	10 x 58 W

ANEXO G. DATOS TÉCNICOS LOGO! 12/24RC

	LOGO! 12RCL	LOGO! 12/24RC LOGO! 12/24RC_o
A prueba de cortocircuitos y sobrecarga		
Limitación de corriente en cortocircuitos		
Derating	ninguna en todo el margen de temperatura	
Resistencia a cortocircuitos cos 1	Contactador potencia B16 600 A	Contactador potencia B16 600 A
Resistencia a cortocircuitos cos 0,5 a 0,7	Contactador potencia B16 900 A	Contactador potencia B16 900 A
Conexión de las salidas en paralelo para aumentar la potencia	no admisible	no admisible
Protección de un relé de salida (si se desea)	máx. 16 A, característica B16	máx. 16 A, característica B16
Frecuencia de conmutación		
Mecánica	10 Hz	10 Hz
Eléctrica		
Carga óhmica/carga de lámparas	2 Hz	2 Hz
Carga inductiva	0,5 Hz	0,5 Hz

ANEXO H. DATOS TÉCNICOS MÓDULO DE AMPLIACIÓN

	LOGO! 12/24RC LOGO! 12/24RCo	LOGO! DM8 12/24R
Fuente de alimentación		
Tensión de entrada	12/24 V DC	12/24 V DC
Rango admisible	10.8 ... 28,8 V DC	10.8 ... 28,8 V DC
Protección contra inversión de polaridad	Sí	Sí
Consumo de corriente <ul style="list-style-type: none"> • 12 V DC • 24 V DC 	<ul style="list-style-type: none"> • 60 ... 175 mA • 40 ... 100mA 	<ul style="list-style-type: none"> • 30 ... 140 mA • 20 ... 75 mA
Compensación de fallos de tensión <ul style="list-style-type: none"> • 12 V DC • 24 V DC 	<ul style="list-style-type: none"> • Típ. 2 ms • Típ. 5 ms 	<ul style="list-style-type: none"> • Típ. 2 ms • Típ. 5 ms
Disipación <ul style="list-style-type: none"> • 12 V DC • 24 V DC 	<ul style="list-style-type: none"> • 0.7 ... 2,1 W • 1.0 ... 2,4 W 	<ul style="list-style-type: none"> • 0.3 ... 1,7 W • 0.4 ... 1,8 W
Respaldo del reloj en tiempo real a 25 °C	Típ. 80 horas sin tarjeta de batería Típ. 2 años con tarjeta de batería	--
Precisión del reloj en tiempo real	Típ. ± 2 s / día	--
Aislamiento galvánico	No	No
Entradas digitales		
Número	8	4
Aislamiento galvánico	No	No
Número de entradas rápidas	4 (I3, I4, I5, I6)	0
Frecuencia de entrada <ul style="list-style-type: none"> • Entrada normal • Entrada rápida 	<ul style="list-style-type: none"> • Máx. 4 Hz • Máx. 5 kHz 	<ul style="list-style-type: none"> • Máx. 4 Hz • --
Tensión admisible continua máx.	28,8 V DC	28,8 V DC
Tensión de entrada L+ <ul style="list-style-type: none"> • Señal 0 • Señal 1 	<ul style="list-style-type: none"> • < 5 V DC • > 8,5 V DC 	<ul style="list-style-type: none"> • < 5 V DC • > 8,5 V DC
Intensidad de entrada en <ul style="list-style-type: none"> • Señal 0 • Señal 1 	<ul style="list-style-type: none"> < 0,85 mA (I3...I6) < 0,05 mA (I1, I2, I7, I8) > 1,5 mA (I3... I6) > 0,1 mA (I1, I2, I7, I8) 	<ul style="list-style-type: none"> < 0,85 mA > 1,5 mA

ANEXO I. DATOS TÉCNICOS MÓDULO DE AMPLIACIÓN

	LOGO! 12/24RC LOGO! 12/24RCo	LOGO! DM8 12/24R
Tiempo de retardo		
• 0 a 1	Típ. 1,5 ms <1,0 ms (I3 ... I6)	Típ. 1,5 ms
• 1 a 0	Típ. 1,5 ms <1,0 ms (I3 ... I6)	Típ. 1,5 ms
Longitud de cable (sin pantalla)	Máx. 100 m	Máx. 100 m
Entradas analógicas		
Número	4 (I1=A13, I2=A14, I7=A11, I8=A12)	--
Rango	0 ... 10 V DC impedancia de entrada 72 kΩ	--
Tiempo de ciclo para generar valores analógicos	300 ms	--
Longitud de cable (blindado y trenzado)	Máx. 10 m	--
Límite de error	± 1,5 % a FS	--
Salidas digitales		
Número	4	4
Tipo de salida	Salidas de relé	Salidas de relé
Aislamiento galvánico	Sí	Sí
En grupos de	1	1
Control de una entrada digital	Sí	Sí
Corriente permanente I_{th} (por borne)	Máx. 10 A por relé	Máx. 5 A por relé
Corriente de cierre	Máx. 30 A	Máx. 30 A
Carga de lámparas incandescentes (25.000 ciclos de conmutación) a	1000 W	1000 W
Tubos fluorescentes con reductor de tensión (25.000 ciclos de conmutación)	10 x 58 W	10 x 58 W
Tubos fluorescentes compensados convencionalmente (25.000 ciclos de conmutación)	1 x 58 W	1 x 58 W
Tubos fluorescentes no compensados (25.000 ciclos de conmutación)	10 x 58 W	10 x 58 W
Reducción de potencia	Ninguna; en todo el rango de temperatura	Ninguna; en todo el rango de temperatura
Resistencia a cortocircuitos cos 1	Protector de potencia B16, 600A	Protector de potencia B16, 600A
Resistencia a cortocircuitos cos 0,5 a 0,7	Protector de potencia B16, 900A	Protector de potencia B16, 900A
Conexión en paralelo de salidas para aumentar la potencia	No admisible	No admisible

ANEXO J. DATOS TÉCNICOS LOGO! TD

LOGO! TD	
Datos mecánicos	
Dimensiones (AxAxP)	128,2 x 86 x 38,7 mm
Peso	Aprox. 220 g
Montaje	Montaje con estribos de fijación
Teclado	Teclado de membrana de 10 teclas
Display	Display gráfico FSTN de 128 x 64 (columnas x filas), retroiluminación con LED
Fuente de alimentación	
Tensión de entrada	24 V AC/DC 12 V DC
Rango admisible	20,4 ... 26,4 V AC 10,2 ... 28,8 V DC
Frecuencia de red admisible	47 ... 63 Hz
Consumo de corriente	<ul style="list-style-type: none"> • 12 V DC • 24 V DC • 24 V AC
	<ul style="list-style-type: none"> • Típ. 65 mA • Típ. 40 mA • Típ. 90 mA
Velocidad de transferencia de datos	19.200 bit/s
Grado de protección	
	IP20 para el LOGO! TD excluyendo el panel frontal IP65 para el panel frontal del LOGO! TD
Distancia de conexión	
	≤ 2,5 m (sólo cable del LOGO! TD), máx. 10 m (cable del LOGO! TD + cable Sub-D estándar)
Display LCD y retroiluminación	
Vida útil de la retroiluminación ¹⁾	20.000 horas
Vida útil del display ²⁾	50.000 horas
Dimensiones del orificio de montaje	
Ancho x altura	(119,5±0,5mm) x (78,5±0,5mm)

¹⁾ La vida útil de la retroiluminación se define así: la luminosidad final es el 50% de la luminosidad original.

²⁾ La vida útil del display se calcula bajo condiciones de operación y almacenamiento normales: temperatura ambiente (20 ±8° C), humedad normal inferior al 65% de la humedad relativa, sin exposición directa al sol.

ANEXO K. VALORES NORMALIZADOS CABLES A.W.G

Número AWG	Diámetro (mm)	Sección (mm ²)	Número espiras por cm.	Kg. por Km.	Resistencia (Ω/Km.)	Capacidad (A)
0	8,252	53,48			0,317	150
1	7,348	42,41		375	1,40	120
2	6,544	33,63		295	1,50	96
3	5,827	26,67		237	1,63	78
4	5,189	21,15		188	0,80	60
5	4,621	16,77		149	1,01	48
6	4,115	13,30		118	1,27	38
7	3,665	10,55		94	1,70	30
8	3,264	8,36		74	2,03	24
9	2,906	6,63		58,9	2,56	19
10	2,588	5,26		46,8	3,23	15
11	2,305	4,17		32,1	4,07	12
12	2,053	3,31		29,4	5,13	9,5
13	1,828	2,63		23,3	6,49	7,5
14	1,628	2,08	5,6	18,5	8,17	6,0
15	1,450	1,65	6,4	14,7	10,3	4,8
16	1,291	1,31	7,2	11,6	12,9	3,7
17	1,150	1,04	8,4	9,26	16,34	3,2
18	1,024	0,82	9,2	7,3	20,73	2,5
19	0,9116	0,65	10,2	5,79	26,15	2,0
20	0,8118	0,52	11,6	4,61	32,69	1,6
21	0,7230	0,41	12,8	3,64	41,46	1,2
22	0,6438	0,33	14,4	2,89	51,5	0,92
23	0,5733	0,26	16,0	2,29	56,4	0,73
24	0,5106	0,20	18,0	1,82	85,0	0,58
25	0,4547	0,16	20,0	1,44	106,2	0,46
26	0,4049	0,13	22,8	1,14	130,7	0,37
27	0,3606	0,10	25,6	0,91	170,0	0,29
28	0,3211	0,08	28,4	0,72	212,5	0,23

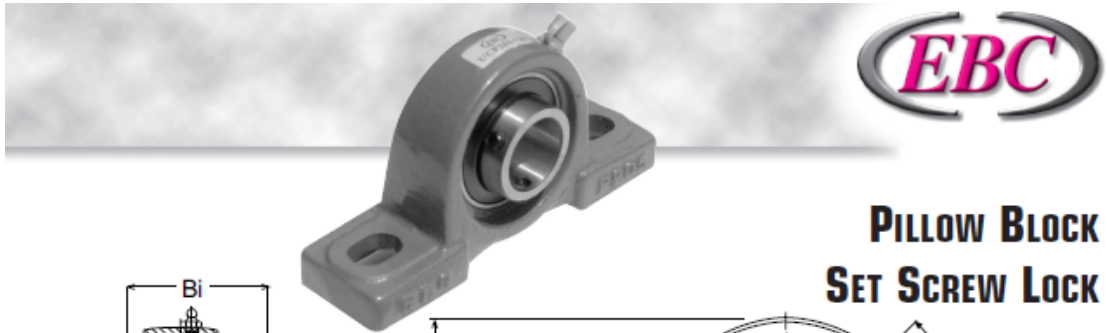
Fuente: <http://www.electronicafacil.net>

ANEXO L. DATOS TÉCNICOS MÓDULO DE AMPLIACIÓN

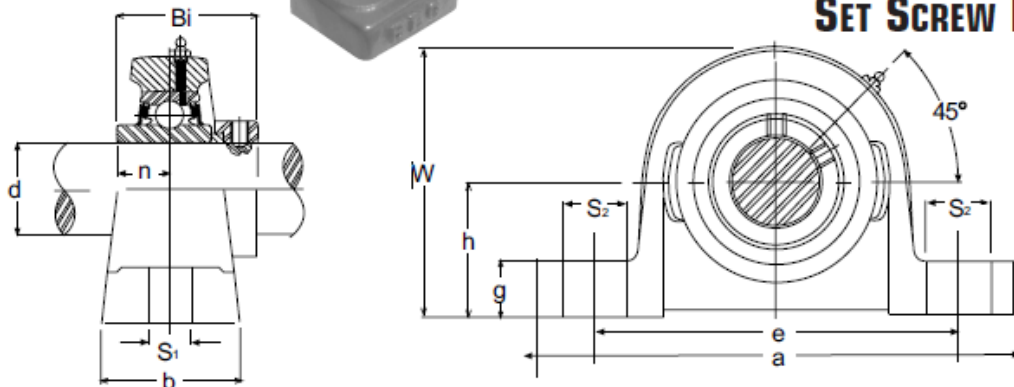
MATERIAL	Temperatura °C	Densidad ρ $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	Calor específico c_p $\frac{\text{Joules}}{\text{kg}^\circ\text{K}}$	Cond. térmica k $\frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{K}}$	Difusiv. térmica $\alpha \times 10^5$ $\frac{\text{m}^2}{\text{seg}}$
Amianto	20	383	816	0,113	0,036
Asfalto	20-55	2120		0,74-0,76	
Baquelita	20	1270		0,233	
Ladrillo común	20	1800	840	0,38-0,52	0,028-0,034
Ladrillo de carborundum (50% SiC)	20	2200		5,820	
Ladrillo de carborundum	600			18,5	
	1400			11,1	
Ladrillo de magnesita (50% MgO)	20	2000		2,680	
	200		1,13	3,81	
	650			2,77	
	1200			1,9	
Ladrillo de mampostería	20	1700	837	0,658	0,046
Ladrillo de sílice (95% SiO ₂)	20	1900		1,070	
Ladrillo de circonio (62% ZrO ₂)	20	3600		2,440	
Ladrillo al cromo	200	3000	0,84	2,32	0,092
	550			2,47	0,098
	900			1,99	0,079
Arcilla refractaria, cocida a 1330°C	500	2000	0,96	1,04	0,054
	800			1,07	
	1100			1,09	
Arcilla refractaria, cocida a 1450°C	500	2300	0,96	1,28	0,04
	800			1,37	
	1100			1,4	
Cartón	20			0,14-0,35	
Cemento (duro)	20			1,047	
Arcilla (48,7% humedad)	20	1545	880	1,260	0,101
Carbón. (antracita)	20	1370	1260	0,238	0,013-0,015
Hormigón (seco)	20	500	837	0,128	0,049
Corcho (tableros)	20	120	1880	0,042	0,015-0,044
Corcho (expandido)	20	120		0,036	
Tierra de diatomeas	20	466	879	0,126	0,031
Tierra arcillosa (28% humedad)	20	1500		1,510	
Tierra arenosa (8% humedad)	20	1500		1,050	
Fibra de vidrio	20	220		0,035	
Vidrio. (ventanas)	20	2800	800	0,810	0,034
Vidrio. (lana de)	20	100		0,036	
	200	200	670	0,040	0,028
Granito	20	2750		3,000	
Hielo (0°C)	20	913	1830	2,220	0,124
Linóleo	20	535		0,081	
Mica	20	2900		0,523	
Corteza de pino	20	342		0,080	
Yeso	20	1800		0,814	
Plexiglás	20	1180		0,195	
Madera (chapa)	20	590		0,109	
Poliestireno	20	1050		0,157	
Goma dura (ebonita)	20	1150	2009	0,163	0,006
Goma esponjosa	20	224		0,055	
Arena seca	20			0,582	
Arena húmeda	20	1640		1,130	
Serrín	20	215		0,071	
Madera de roble	20	609-801	2390	0,17-0,21	0,011-0,012
Madera (Pino, abeto, abeto rojo)	20	416-421	2720	0,150	0,012
Láminas de fibra de madera	20	200		0,047	

Fuente: <http://materias.fi.uba.ar/6731/Tablas/Tabla6.pdf>

ANEXO M. DATOS TÉCNICOS MÓDULO DE AMPLIACIÓN



**PILLOW BLOCK
SET SCREW LOCK**



Part Number	Shaft Diameter (d)		Dimensions (in or (mm))										Bolt Used		Weight Lbs.		
	(in.)	(mm)	h	a	e	b	S2	S1	g	W	Bi	n	(in.)	(mm)			
UCP 201		12															
UCP 202		15															
UCP 203		17															
UCP 201-08	1/2																
UCP 202-09	9/16																
UCP 202-10	5/8		1 3/16	5	3 3/4	1 1/2	3/4	1/2	15/32	2 3/8	1.2205	0.5000	3/8				1.32
UCP 203-11	11/16																
UCP 204		20															
UCP 204-12	3/4		33.3	127	95	38	19	13	13	64	31	12.7	3/8	M10			1.46
UCP 205		25	1 5/16	5	3 3/4	1 1/2	3/4	1/2	12 17/64	12	1.2205	0.500					
UCP 205-13			36.5	140	105	38	19	13	15	71	34.1	14.3					
UCP 205-14	13/16																
UCP 205-15	7/8																
UCP 205-16	15/16		1 7/16	5 1/2	4 1/8	1 1/2	3/4	1/2	19/32	2 25/32	1.3425	0.5630	3/8				1.76
UCP 206	1																
UCP 206-17		30															
UCP 206-17	1 1/16		42.9	165	121	48	21	17	17	84	38.1	15.9					
UCP 206-18	1 1/8																
UCP 206-19	1 3/16		1 11/16	6 1/2	4 3/4	1 7/8	13/16	21/32	21/32	3 5/16	1.5000	0.6260	1/2				2.64
UCP 206-20	1 1/4																
UCP 207		35															
UCP 207-20	1 1/4		47.6	167	127	48	21	17	19	93	42.9	17.5					
UCP 207-21	1 5/16																
UCP 207-22	1 3/8		1 7/8	6 9/16	5	1 7/8	13/16	21/32	3/4	3 21/32	1.6890	0.6890	1/2				3.74
UCP 207-23	1 7/16																
UCP 208		40															
UCP 208-24	1 1/2		49.2	184	137	54	21	17	20	98	49.2	19					
UCP 208-25	1 9/16		1 15/16	7 1/4	5 13/32	2 1/8	13/16	21/32	25/32	3 27/32	1.9370	0.7480	1/2				4.62
UCP 209		45															
UCP 209-26	1 5/8		54	190	146	54	21	17	20	106	49.2	19					
UCP 209-27	1 11/16		2 1/8	7 15/32	5 3/4	2 1/8	13/16	21/32	25/32	4 3/16	1.9370	0.7480	1/2				5.28
UCP 209-28	1 3/4																
UCP 210		50															
UCP 210-29	1 13/16		57.2	206	159	60	22	20	22	114	51.6	19					
UCP 210-30	1 7/8																
UCP 210-31	1 15/16		2 1/4	8 1/8	6 1/4	2 3/8	7/8	25/32	7/8	4 31/64	2.0315	0.7480	5/8				6.38
UCP 210-32	2																
UCP 211		55															
UCP 211-32	2		63.5	219	171	60	22	20	22	125	55.6	22.2					
UCP 211-33	2 1/16																
UCP 211-34	2 1/8		2 1/2	8 5/8	6 23/32	2 3/8	7/8	25/32	7/8	4 29/32	2.1890	0.8740	5/8				8.14
UCP 211-35	2 3/16																

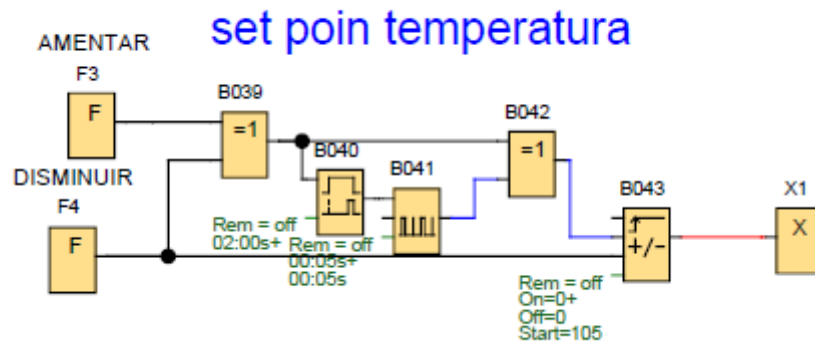
Dimensional data is for reference only. EBC assumes no liability with respect to errors or omissions.

UCP 200 SERIES

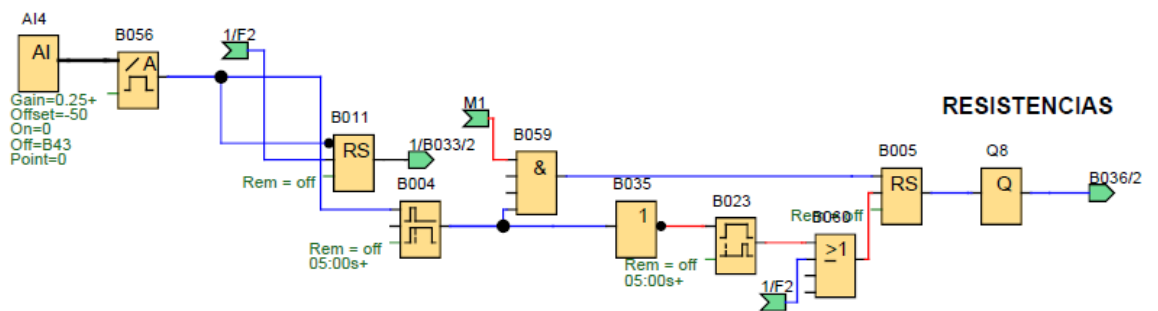
Fuente: <http://www.ebcoem.com/pdf/4-1-UCP-200-Series.pdf>

ANEXO N. PROGRAMA IMPLEMENTADO EN LOGO SOFT

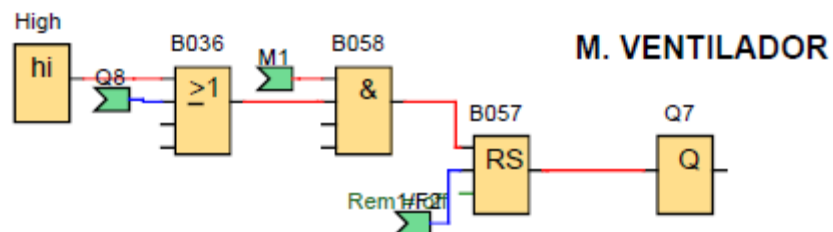
Introducción de temperatura por el usuario mediante las teclas F3 y F4 de la pantalla Logo TD



Control de las resistencias

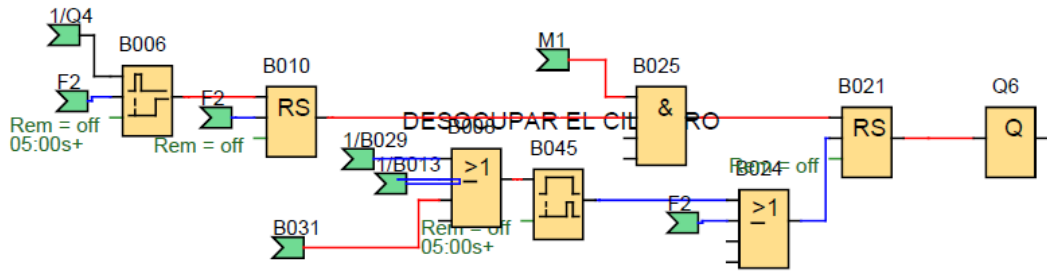


Control motor del ventilador

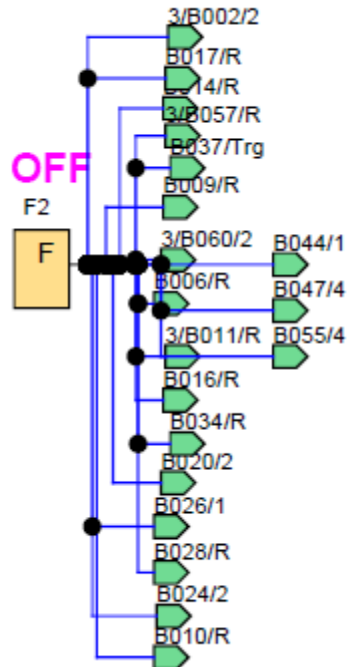
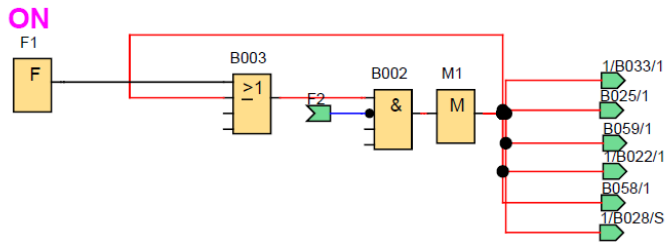


Motor del cilindro

M. CILINDRO



Comandos ON OFF



ANEXO O. MANUAL DE USUARIO DE LA MÁQUINA

ANEXO P. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA SECADORA

MUESTRA	TIEMPO	TEMPERATURA	HUMEDAD
1	5	70	>15%
2	5	80	>14%
3	5	90	>13%
4	5	100	>13%
5	5	110	>13%
1	6	70	>14%
2	6	80	>14%
3	6	90	>13%
4	6	100	>=13%
5	6	110	>=13%
1	7	70	>14%
2	7	80	>14%
3	7	90	>13%
4	7	100	>=13%
5	7	110	>=13%
1	8	70	>14%
2	8	80	>13%
3	8	90	<=13%
4	8	100	<=12%
5	8	110	<12%
1	9	70	<13%
2	9	80	<13%
3	9	90	<=12%
4	9	100	<=12%
5	9	110	<12%

Fuente: Diana Chamorro

ANEXO Q. PLANOS