



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA  
Y URBANISMO**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
MECÁNICA Y ELÉCTRICA**

**TESIS**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO SECADOR  
AUTOMATIZADO TIPO INVERNADERO CON TIRO  
FORZADO PARA EL SECADO DE ARROZ CON  
UNA CAPACIDAD DE 1 KG.**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**Autor(es):**

**Bach. Gaona Barboza Ronny Yax.  
Bach. Torres Chapañan Lenyn.**

**Asesor:**

**Mg. Vives Garnique Juan Carlos**

**Línea de Investigación:**

**Ingeniería de Procesos Productivos**

**Pimentel -Perú**

**2017**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO SECADOR AUTOMATIZADO TIPO  
INVERNADERO CON TIRO FORZADO PARA EL SECADO DE ARROZ CON  
UNA CAPACIDAD DE 1 KG.**

**Aprobación de tesis**

---

MSc. Rojas Coronel, Ángel Marcelo  
**Presidente del Jurado de Tesis**

---

Ing. Vives Garnique, Juan Carlos  
**Secretario del jurado de tesis**

---

Mg. Amaya Checa, Manuel  
**Vocal del jurado de tesis**

## **Dedicatoria**

A mi Madre Carmen Chapoñan Hernandez quien me brindó su apoyo incondicional en cada momento, alentándome para superar cada adversidad y hacer realidad mi sueño de ser profesional.

A mi padre Walter Torres Monteza, quien compartió e hizo suyo mi sueño de lograr ser profesional.

A mi hermana Luzmila, quien es el motivo que me impulsó a seguir superándome.

A toda mi familia, que siempre estuvo pendiente de lo que ocurría en mi vida, motivación que me permitió seguir adelante en mis aspiraciones profesionales y hoy poder culminar esta tesis.

**Torres Chapoñan Lenyn.**

## **Dedicatoria**

El presente documento les dedico

A mis padres por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mis hermanos por brindarme siempre su apoyo y estar siempre acompañándome a lo largo de mi vida.

**Gaona Barboza Ronny Yax.**

## **Agradecimiento**

A Dios, por guiarnos y protegernos a lo largo de nuestra vida, porque gracias a él estamos ahora sustentando esta tesis, Por habernos permitido llegar hasta este punto y habernos dado salud para lograr nuestros objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A nuestro asesor metodológico Carlos Vives Garnique quien siempre estuvo pendiente de nosotros alentándonos a seguir siempre adelante profesionalmente, así mismo agradecemos a las empresas que nos permitieron ingresar a su centro de labor con la finalidad de brindarnos conocimientos técnico empresariales y agradecer a la escuela de ingeniería mecánica eléctrica en especial al personal docente quienes nos orientaron con sus conocimientos para beneficio nuestro.

**Gaona Barboza Ronny Yax**  
**Torres Chapoñan Lenyn**

## Índice

Dedicatoria.....	iii
Agradecimiento .....	v
Índice.....	vi
RESUMEN .....	xviii
ABSTRACT .....	xix
INTRODUCCIÓN .....	xx
CAPÍTULO I.....	18
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	18
1.1. Situación Problemática .....	19
1.1.1. A Nivel Internacional .....	19
1.1.2. A Nivel Nacional .....	21
1.1.3. A Nivel Local.....	23
1.2. Formulación del Problema.....	28
1.3. Delimitación de la Investigación.....	28
1.4. Justificación e Importancia.....	29
1.4.1. Técnica .....	29
1.4.2. Ambiental .....	29
1.4.3. Económico .....	29
1.4.4. Social.....	30
1.5. Limitaciones de la Investigación .....	30
1.6. Objetivos de la Investigación.....	30
1.6.1. Objetivo General.....	30
1.6.2. Objetivos Específicos .....	30
CAPÍTULO II.....	31
MARCO TEÓRICO .....	31
2.1. Antecedentes de Estudio .....	32
2.1.1. A Nivel Internacional .....	32
2.1.2. A Nivel Nacional .....	34
2.1.3. A Nivel Local.....	35
2.2. Estado del arte.....	36
2.3. Bases teórico científicas.....	38
A. Variables independientes.....	38
2.3.1. Características del arroz .....	38
2.3.2. Porcentaje de Humedad:.....	41
2.3.3. Tamaño del grano.....	42

<b>B.</b>	<b>Variables Dependientes .....</b>	<b>43</b>
2.3.4.	Temperatura de secado.....	43
2.3.5.	Velocidad de secado.....	44
2.3.6.	Tiempo de secado.....	45
2.4.	Conceptos fundamentales .....	46
2.4.1.	Proceso de secado.....	46
2.4.2.	Definición del secado.....	47
2.4.3.	Mecanismo de secado.....	50
2.4.4.	Sistema fotovoltaico.....	51
2.4.5.	Sistemas de Control Automatizado.....	65
2.4.6.	Tipos y diseño de secadoras.....	85
2.4.7.	Metodología del cálculo .....	93
<b>C.</b>	<b>Manual de mantenimiento.....</b>	<b>104</b>
<b>D.</b>	<b>Normatividad.....</b>	<b>104</b>
<b>E.</b>	<b>Gestión seguridad y riesgos.....</b>	<b>105</b>
<b>F.</b>	<b>Evaluación económica.....</b>	<b>105</b>
2.5.	Definición de términos.....	109
<b>CAPÍTULO III.....</b>		<b>113</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO .....</b>		<b>113</b>
3.1.	Tipo y Diseño de Investigación .....	114
3.1.1.	Tipo de investigación .....	114
3.1.2.	Diseño de Investigación.....	114
3.2.	Población y Muestra .....	114
3.2.1.	Población .....	114
3.2.2.	Muestra.....	115
3.3.	Hipótesis .....	115
3.4.	Variables .....	115
3.4.1.	Variables independientes .....	115
3.4.2.	Variables dependientes.....	115
3.5.	Operacionalización.....	116
3.5.1.	Variables Independientes.....	116
3.5.2.	Variables Dependientes .....	117
3.6.	Métodos, técnicas e instrumentación de recolección de datos .....	118
3.6.1.	Métodos.....	118
3.6.2.	Técnicas .....	118
3.6.3.	Instrumentación.....	118
3.7.	Procedimiento para la recolección de datos .....	119

3.7.1.	Descripción del proceso .....	120
3.8.	Análisis estadístico e interpretación de datos .....	124
A.	Enfoque cualitativo.....	124
B.	Enfoque Cuantitativo.....	124
3.9.	Criterios éticos .....	125
3.9.1.	Credibilidad.....	125
3.10.	Criterios de rigor científico .....	125
3.10.1.	Validez.....	125
<b>CAPÍTULO IV .....</b>		<b>126</b>
<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....</b>		<b>126</b>
4.1.	Resultados en tablas y gráficos .....	127
4.1.1.	Enfoque cuantitativo .....	127
4.1.2.	Enfoque cualitativo.....	145
4.2.	Cálculo de la radiación solar .....	146
4.3.	Método de diseño .....	153
4.3.1.	Lista de exigencias.....	154
4.3.2.	Estructura de funciones.....	156
4.3.3.	Matriz morfológica.....	158
4.3.4.	Conceptos de solución .....	160
4.3.5.	Valoración técnico - económica. ....	161
4.4.	Diseño del secador.....	162
4.5.	Análisis energético del secador .....	163
4.6.	Cálculos y resultados.....	165
4.7.	Selección de los componentes para la automatización.....	181
4.8.	Selección del panel fotovoltaico .....	185
4.8.1.	Selección del conductor .....	187
4.9.	Selección de los motores DC para el recubrimiento del secador .....	189
4.9.1.	Selección de las correas dentadas (Síncronas) .....	192
4.10.	Pruebas y resultados obtenidos con el prototipo.....	195
4.10.1.	Pruebas de secado en el prototipo .....	195
4.10.2.	Resultados y discusión obtenidos en el prototipo. ....	199
<b>CAPÍTULO V .....</b>		<b>203</b>
<b>PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN .....</b>		<b>203</b>
5.1.	Caracterizar el grano de arroz .....	204
5.2.	Dimensionar el prototipo del secador de grano de arroz .....	204
5.2.1.	Diseño del sistema de secado por energía solar .....	204

5.2.2. Diseñar la estructura del prototipo con sus medidas correspondientes y material adecuado.....	205
5.2.3. Especificaciones del prototipo.....	206
5.2.4. Diseño de la estructura del secador.....	208
5.3. Implementar un sistema de control para las variables de temperatura y humedad alimentado por energía renovable.....	209
5.3.1. Programación PID para controlar las variables de temperatura y humedad.....	211
5.3.2. Diseño e implementación del sistema de control para las variables de temperatura y humedad en el programa Altium Designer. ....	216
5.4. Manual de Usuario.....	222
5.4.1. Plan de Mantenimiento.....	225
5.4.2. Normatividad.....	229
5.5. Presupuesto.....	230
5.6. Indicadores económicos.....	233
<b>CAPÍTULO VI</b> .....	<b>236</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>236</b>
6.1. Conclusiones.....	237
6.2. Recomendaciones.....	238
Bibliografía .....	239
<b>PLANOS</b> .....	<b>250</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>251</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ιλυστραχι Γν 1: Ηιγρ Γμετρο διγιταλ .....	25
Ιλυστραχι Γν 2: Προχεσο δε σεχαδο αρτεσαναλ .....	25
Ιλυστραχι Γν 3: Σεχαδορ Ινδυστριαλ.....	28
Ιλυστραχι Γν 4: Δεσκριπχι Γν δελ προχεσο δε σεχαδο εν ελ □Σιλο Σεχαδορ□...	37
Ιλυστραχι Γν 5: Χαρι Γπισιδε δε αρροζ ο σεμιλλα. ....	38
Ιλυστραχι Γν 6: Εστρυχτυρα δελ αρροζ. ....	39
Ιλυστραχι Γν 7: Χαλιδαδ δελ Αρροζ. ....	41
Ιλυστραχι Γν 8: ζαριαχι Γν δελ πεσο δελ προδυχτο εν υν προχεσο δε σεχαδο. .	47
Ιλυστραχι Γν 9: Χοντενιδο δε ηυμεδαδ εν φυνηι Γν δελ τιεμπο. ....	48
Ιλυστραχι Γν 10: Προχεσο δε σεχαδο. ....	49
Ιλυστραχι Γν 11: Μαπα Σολαρ Ρεγι Γν Λαμβαινεθυε. ....	53
Ιλυστραχι Γν 12: Εφεχτο Φοτοπολταιχο. ....	54
Ιλυστραχι Γν 13: Πανελ φοτοπολταιχο. ....	55
Ιλυστραχι Γν 14: Σομβρασ εν υν Πανελ Φοτοπολταιχο. ....	58
Ιλυστραχι Γν 15: Βατερή α σελλαδα. ....	62
Ιλυστραχι Γν 16: Χονδυχτορ ελχτριχο. ....	63
Ιλυστραχι Γν 17: Πανταλλα δελ προγραμα Αρδυινο. ....	68
Ιλυστραχι Γν 18: Διαγραμα δε βλοθυεσ δε υν χοντρολαδορ.....	69
Ιλυστραχι Γν 19: Αρδυινο Νανο. ....	71
Ιλυστραχι Γν 20: Σενσορ ΔΗΤ22. ....	72
Ιλυστραχι Γν 21: Πανταλλα ΛΧΔ 16ξ2. ....	73
Ιλυστραχι Γν 22: Πυλσαδορ δε 2 πινεσ.....	74
Ιλυστραχι Γν 23: Πυλσαδορ Νορμαλμεντε Αβιερτο. ....	75
Ιλυστραχι Γν 24: Πυλσαδορ Νορμαλμεντε Χερραδο. ....	76
Ιλυστραχι Γν 25: Πυλσαδορ βασχυλαντε. ....	76
Ιλυστραχι Γν 26: Πυλσαδορ τιπο τιμβρε. ....	77
Ιλυστραχι Γν 27: Πυλσαδορ χιρχυλαρ. ....	77
Ιλυστραχι Γν 28: ζεντιλαδορ δε ΠΧ 12ς. ....	79
Ιλυστραχι Γν 29: Μ Γδυλο Βλυετοοτη ΗΧ05. ....	80
Ιλυστραχι Γν 30: Λανα δε πιδριο. ....	82
Ιλυστραχι Γν 31: Μοτορ ΔΧ. ....	82
Ιλυστραχι Γν 32: Χορρεα δενταδα ΓΤ2. ....	84
Ιλυστραχι Γν 33: Πολεα δενταδα ΓΤ2. ....	85
Ιλυστραχι Γν 34: Σεχαδορ σολαρ ινδιρεχτο. ....	87
Ιλυστραχι Γν 35: Σεχαδορ σολαρ διρεχτο. ....	88
Ιλυστραχι Γν 36: Σεχαδορ σολαρ μιζτο. ....	89
Ιλυστραχι Γν 37: Χλασιφιχαχι Γν δε Σεχαδορεσ σολαρεσ. ....	91

Ιλυστραχι Γν 38: Ιντεραχχιονες δε λα τρανσφερενχια δε μασα ψ ενεργή α εν σισ τεμασ αβιερτοσ βαφο ελ χριτεριο δε αν(λ)ισισ δε πολυμεν δε χοντρολ. ....	94
Ιλυστραχι Γν 39: Διαγραμμα δε φλυφο δε προχεσοσ. ....	119
Ιλυστραχι Γν 40: Λονγιτυδ ψ Λατιτυδ δε λα Υνιπερσιδαδ Σε)ορ δε Σιπ(ν. ....	148
Ιλυστραχι Γν 42: Ματριζ Μορφολ Γίχια ....	159
Ιλυστραχι Γν 43: Προψεχτο πρελιμιναρ Γπιμο ....	160
Ιλυστραχι Γν 44: Επαλυαχι Γν δε λασ προπυεστασ. ....	162
Ιλυστραχι Γν 45: ζολυμεν δε χοντρολ. ....	164
Ιλυστραχι Γν 46: Εσθυεμα δε λα διστριβυχι Γν δε λα χαπα δε αρροζ. ....	167
Ιλυστραχι Γν 47: Ηυμεδαδ δελ αιρε α λα εντραδα δελ σεχαδορ. ....	170
Ιλυστραχι Γν 48: Ηυμεδαδ δελ αιρε αλ σαλιρ δελ σεχαδορ. ....	172
Ιλυστραχι Γν 49: Ρεπρεσενταχι Γν εσθυεμ(τιχα δελ δεσπλαζαμιεντο δελ αιρε α τ ραπ σ δελ σεχαδορ σοβρε υνα χαρτα Πσιχρομ τριχα. ....	174
Ιλυστραχι Γν 50: Εσθυεμα δελ σιστεμα. ....	189
Ιλυστραχι Γν 51: Χυρπασ δε ρενδιμιεντο δελ μοτορ. ....	191
Ιλυστραχι Γν 52: Διμενσιονες εν μμ δελ μοτορ ΓΜ3. ....	191
Ιλυστραχι Γν 53: Διμενσιοναμιεντο δε λασ χορρεασ δενταδασ. ....	192
Ιλυστραχι Γν 54: Διμενσιονες δε λα χορρεα δενταδα εν μμ. ....	194
Ιλυστραχι Γν 55: Διμενσιονες δε λα πολεα εν μμ. ....	194
Ιλυστραχι Γν 56: Πολεασ δενταδασ σ νχρονας δε περφιλ χυρπω. ....	195
Ιλυστραχι Γν 57: Πεσαφε δε λα μυεστρα. ....	195
Ιλυστραχι Γν 58: Μεδιχι Γν δε ηυμεδαδ αντεσ δελ προχεσο δε σεχαδο. ....	196
Ιλυστραχι Γν 59: Μυεστρα δε αρροζ αντεσ δελ προχεσο δε σεχαδο. ....	196
Ιλυστραχι Γν 60: Χολοχαχι Γν δελ αρροζ εν λα βανδεφα δε σεχαδο. ....	197
Ιλυστραχι Γν 61: Ινιχιανδο ελ προχεσο δε σεχαδο. ....	197
Ιλυστραχι Γν 62: Χοντρολανδο λοσ παρ(μετροσ δε τεμπερατυρα ψ ηυμεδαδ εν ε λ προτοτιπο. ....	198
Ιλυστραχι Γν 63: Μεδιχι Γν δε ηυμεδαδ φιναλ εν ελ ηιγρ Γμετρο. ....	198
Ιλυστραχι Γν 64: Μυεστρα δε ηυμεδαδ φιναλ ποστεριορ αλ προχεσο δε σεχαδο .....	198
Ιλυστραχι Γν 65: Παρτεσ δελ σεχαδορ. ....	205
Ιλυστραχι Γν 66: Εστρυχτυρα δελ προτοτιπο. ....	206
Ιλυστραχι Γν 67: Σεχαδορ σολαρ πιστα ισομ τριχα. ....	208
Ιλυστραχι Γν 68: Σεχαδορ σολαρ τιπο ινπερναδερο. ....	208
Ιλυστραχι Γν 69: Διστριβυχι Γν δε λοσ χομπονεντεσ πρινχιπαλεσ παρα ελ σιστε μα δε χοντρολ. ....	209
Ιλυστραχι Γν 70: Εσθυεμα δελ σιστεμα. ....	210
Ιλυστραχι Γν 71: ζιστα φρονταλ δε λα ταρφετα δε αδθυισιχι Γν δε δατοσ δελ σεχ αδορ. ....	216
Ιλυστραχι Γν 72: ζιστα ποστεριορ δε λα ταρφετα δε αδθυισιχι Γν δε δατοσ. ...	217
Ιλυστραχι Γν 73: Χονεξιονες δε λοσ χομπονεντεσ. ....	218

Ιλυστραχι Γν 74: ζιστα τριδιμενσιοναλ δε λος χομπονεντες ελεχτρ Γνιχος...	219
Ιλυστραχι Γν 75: Πυλσαδορες.	220
Ιλυστραχι Γν 76: Ταρφετα δε αδθυσιχι Γν δε δατος δελ προτοτιπο πιστα συπερ ιορ.	221
Ιλυστραχι Γν 77: Ταρφετα δε αδθυσιχι Γν δε δατος δελ προτοτιπο πιστα ποστε ριορ.	221
Ιλυστραχι Γν 78: Πανταλλα Λχδ 16ξ2.	224
Ιλυστραχι Γν 79: Προτοτιπο.	252
Ιλυστραχι Γν 80: Βανδεφα.	252
Ιλυστραχι Γν 81: Πρυεβασ δελ πεντιλαδορ.	252
Ιλυστραχι Γν 82: Σενσορ ΔΗΤ22.	252
Ιλυστραχι Γν 83: Προτοτιπο τερμιναδο.	252
Ιλυστραχι Γν 84: Αφυστανδο περνος.	252

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Εχυαχι Γν 1: Τιεμπο δε σεχαδο .....	46
Εχυαχι Γν 2: Φ Γρμυλα Φαχτορ δε ιρραδιαχι Γν.....	52
Εχυαχι Γν 3: Ιντενσιδαδ δε εντρεγα .....	54
Εχυαχι Γν 5: Φ Γρμυλα δελ παλορ μεδιο μενσυαλ δε ιρραδιαχι Γν .....	58
Εχυαχι Γν 6: Ποτενχια ρεθυεριδα πορ ελ πανελ.....	59
Εχυαχι Γν 7: Ποτενχια μζξιμα εν υν πανελ σολαρ.....	59
Εχυαχι Γν 8: Χαπαχιδαδ δε λα βατεργ'α. ....	60
Εχυαχι Γν 9: Χονσυμο μεδιο διαριο.....	61
Εχυαχι Γν 10: Εχυαχι Γν δε λα σεχχι Γν δελ χονδυχορ.....	64
Εχυαχι Γν 11: Βαλανχε δε μασα .....	94
Εχυαχι Γν 12: Βαλανχε δε Ενεργ'α.....	94
Εχυαχι Γν 13: Πεσο δε αγυα α επαποραρ δελ προδυχο (Κγ) .....	97
Εχυαχι Γν 14: Χαντιδαδ δε αγυα επαποραδα πορ ηορα. ....	97
Εχυαχι Γν 15: Φλυφο μ(σιχο δε αιρε παρα σεχαρ ελ προδυχο. ....	98
Εχυαχι Γν 16: Φλυφο μ(σιχο διςπονιβλε. ....	98
Εχυαχι Γν 17: Ενεργ'α νεχεσαρια παρα σεχαρ ελ προδυχο (κ χαλ/ηρ) .....	99
Εχυαχι Γν 18: Ενεργ'α νεχεσαρια παρα επαποραρ ελ αγυα (κ χαλ/ηρ).....	99
Εχυαχι Γν 19: Ενεργ'α νεχεσαρια παρα χαλχυλαρ ελ προδυχο (κ χαλ / ηρ) 100	100
Εχυαχι Γν 20: Μασα δελ προδυχο (κγ προδυχο σεχο / ηορα) .....	100
Εχυαχι Γν 21: Χ(λχυλο δελ χαλορ η  μεδο .....	100
Εχυαχι Γν 22: Χαντιδαδ δε αιρε (κγ αιρε σεχο / ηορα) .....	101
Εχυαχι Γν 23: Ηυμεδαδ δελ αιρε αλ σαλιρ δελ σεχαδορ (κγ αγυα/κγ. Δε αιρε σεχο) .....	101
Εχυαχι Γν 24: Εφιχιενχια δε υν σεχαδορ σολαρ .....	102
Εχυαχι Γν 25: Ενεργ'α παρα χαλενταρ ελ αιρε .....	102
Εχυαχι Γν 26: Δενσιδαδ δελ προδυχο .....	103
Εχυαχι Γν 27: ζΑΝ .....	107
Εχυαχι Γν 28: ΤΙΡ.....	108

## ÍNDICE DE TABLAS

Ταβλα 1: Χομποσιχι Γν δελ αρροζ.....	40
Ταβλα 2: Προπιεδαδες φή σιχασ δελ αρροζ.....	40
Ταβλα 3: Τεμπερατυρα Γπιμα δε σεχαδο.....	44
Ταβλα 4: Ραδιαχι Γν προμεδιο μενσυαλ δε λα Ρεγι Γν Λαμβαψεθυε.....	53
Ταβλα 5: Αμπαχιδαδ ψ ρεσιστενχια δε χονδυχτορες δε χοβρε (ΑΩΓ).....	63
Ταβλα 6: Ταβλα πορχενταφες δε χαΐδα δε τενσι Γν.....	64
Ταβλα 7: Χαραχτερΐ στιχασ δελ Αρδυινο Νανο. ....	70
Ταβλα 8: Χαραχτερΐ στιχασ δελ Σενσορ ΔΗΤ22. ....	72
Ταβλα 9: Χαραχτερΐ στιχασ δε λα πανταλλα ΛΧΔ.....	73
Ταβλα 10: Ινφορμαχι Γν τΐχνιχα δελ πεντιλαδορ. ....	78
Ταβλα 11: Εσπεχιφιχαχιονες Τΐχνιχασ δελ Μ Γδυλο Βλυετοοτη ΗΧ05. ....	80
Ταβλα 12: Ινφορμαχι Γν τΐχνιχα δε λα λανα δε πιδριο.....	81
Ταβλα 13: Εσπεχιφιχαχιονες τΐχνιχασ δελ μοτορεδυχτορ. ....	83
Ταβλα 14: Εσπεχιφιχαχιονες τΐχνιχασ δε λα χορρεα δενταδα ....	84
Ταβλα 15: Εσπεχιφιχαχιονες τΐχνιχασ δε λα πολεα ΓΤ2. ....	85
Ταβλα 16: Χαπαχιδαδ δε προδυχχι Γν. ....	90
Ταβλα 17: Ταβλα δε Οπεραχιοναλιζαχι Γν δε ζαριαβλες Ινδεπενδιεντες .....	116
Ταβλα 18: Ταβλα δε Οπεραχιοναλιζαχι Γν δε ζαριαβλες Δεπενδιεντες.....	117
Ταβλα 19: Δατος οβτενιδος δελ μολινο □Χριστο Μοραδο□. ....	128
Ταβλα 20: Ραδιαχι Γν Σολαρ εξτρατερρεστρε εν $MJ m - 2d - 1$ .....	147
Ταβλα 21: Ηορα δε σαλιδα δελ σολ (ΗΣ), ηορα δε πυεστα δελ σολ (ΗΠ) ψ δυρα χι Γν αστρον Γμιχα δελ δΐα (Ν), παρα διφερεντες λατιτυδες .....	148
Ταβλα 22: Χυαδρο ρεσυμεν δε λα Ραδιαχι Γν Σολαρ ινχιδεντε οβτενιδα πορ μεσ εσ .....	153
Ταβλα 23: ζαλοραχι Γν τΐχνιχα δελ προψεχτο .....	161
Ταβλα 24: ζαλοραχι Γν εχον Γμιχα δελ προψεχτο .....	161
Ταβλα 25: Διστριβυχι Γν πορχεντυαλ δε λος φλυφος δε χαλορ νεχεσαριο εν ελ προχεσο δε σεχαδο δε γρανος δε αρροζ .....	169
Ταβλα 26: Δατος οβτενιδος δελ προγραμα Γραψι δε λα ηυμεδαδ δελ αιρε α λα εντραδα δελ σεχαδορ .....	171
Ταβλα 27: Δατος Οβτενιδος χον ελ προγραμα Γραψι δε λα ηυμεδαδ δελ αιρε α λα σαλιδα δελ σεχαδορ.....	172
Ταβλα 28: Δατος: Δατος οβτενιδος δελ προγραμα Γραψι δε λα ρεπρεσενταχι Γν εσθυεμ(τιχα δελ δεσπλαζαμιεντο δελ αιρε α τραπΐσ δελ σεχαδορ.....	174
Ταβλα 29: Τασασ δε ρενοπαχι Γν δε αιρε πορ ινφιλτραχι Γν α τραπΐσ δε λα εστρυχτυρα .....	176

Ταβλα 30: Φόρμουλασ εμπήριχασ παραελχοεφιχιεντε δε χονπεχχι ίν εξτεριουρ. .....	177
Ταβλα 31: Χαρακτηρήστιχασ ιμπορταντεσ δε λοσ ματεριαλεσ υτιλιζαδοσ εν λα χονστρυχχι ίν δελ προτοτιπο .....	181
Ταβλα 32: Χομπαραχχι ίν δε Σενσορεσ δε τεμπερατυρα ψ ηυμεδαδ ρελατιψα. .....	184
Ταβλα 33: Εστιμαχχι ίν δε λασ χαργασ.....	185
Ταβλα 34: Ταβλα δε φαχτορεσ δε ινχλιναχχι ίν εν ελ Περ  .....	185
Ταβλα 35: .....	186
Ταβλα 36: Ταβλα πορχενταφεσ δε χαΐδα δε τενσι ίν.....	188
Ταβλα 37: Ταβλα σελεχχι ίν δελ χονδυχτορ σεγ  ν λα σεχχι ίν δελ χονδυχτορ εν μμ2. ....	188
Ταβλα 38: Δατοσ τΐχνιχοσ δελ μοτορ ΓΜ3.....	191
Ταβλα 39: Δατοσ τΐχνιχοσ δε λα πολεα δενταδα σΐνχρονα.....	194
Ταβλα 40: Διμενσιονεσ δελ σεχαδορ σολαρ.....	206
Ταβλα 41: Εσπεχιφιχαχιονεσ δε λοσ ματεριαλεσ δελ σεχαδορ.....	207
Ταβλα 42: Πλαν δε Μαντενιμιεντο.....	228

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Control de operación del 01/09.....	138
Cuadro 2: Control de operación del 02/09.....	139
Cuadro 3: Control de operación del 04/09.....	140
Cuadro 4: Control de operación del 05/09.....	141
Cuadro 5: Control de operación del 06/09.....	142
Cuadro 6: Control de operación del 08/09.....	143
Cuadro 7: Análisis comparativo de datos .....	144

## GRÁFICOS

Γρ(φ)ιχο 1: Διαγραμμα δελ Πεσο (Tν) πσ Τιεμπο (Οχτυβρε).....	129
Γρ(φ)ιχο 2: Διαγραμμα δελ Πεσο (TN) πσ Τιεμπο (Νοπιεμβρε) .....	130
Γρ(φ)ιχο 3: Διαγραμμα δε Ηυμεδαδ (%) πσ Τιεμπο (Οχτυβρε) .....	131
Γρ(φ)ιχο 4: Διαγραμμα δε λα Ηυμεδαδ (%) πσ Τιεμπο (Νοπιεμβρε) .....	132
Γρ(φ)ιχο 5: Ρεσυλταδος δε λος δατος οβτενιδος εν υν λοτε .....	133
Γρ(φ)ιχο 6: Ρεσυλταδος δε λος δατος οβτενιδος εν υν λοτε .....	134
Γρ(φ)ιχο 7: Ρεσυλταδος δε λος δατος οβτενιδος εν υν λοτε. ....	135
Γρ(φ)ιχο 8: Ρεσυλταδος δε λος δατος οβτενιδος εν υν λοτε. ....	136
Γρ(φ)ιχο 9: Ραδιαχι Γν σολαρ μενσυαλ. Τομανδο δατος δελ ΣΕΝΑΜΗΙ.....	199
Γρ(φ)ιχο 10: ζαριαχι Γν δε λα τεμπερατυρα δελ αιρε χυανδο πασα πορ ελ σεχαδορ. Μεδιδασ χον λος σενσορες ΔΗΤ22 Ψ ΔΗΤ11 .....	200
Γρ(φ)ιχο 11: ζαριαχι Γν δε λα ηυμεδαδ ρελατιπα δελ αιρε αλ σερ χαλενταδο εν ελ σεχαδορ .	201

## RESUMEN

Se implementó un secador solar de tiro forzado, para el secado de arroz. Realizándose las pruebas en condiciones climáticas donde la temperatura ambiente promediaba los 28 grados centígrados y la humedad relativa era del 52%. El secador solar consta de una lámina de acrílico (que está expuesta directamente al sol para calentar la cámara interior del secador), en forma de túnel en el cual se coloca un ventilador para forzar el aire a través de esta, además de una cámara de secado.

Las corridas experimentales sirvieron para medir la temperatura y humedad utilizando los sensores DHT22 (en el interior de la cámara) y DHT11 (en el exterior), dispuestos en la cámara de secado, se midió la humedad relativa y temperatura con estos sensores, demostrándose finalmente que la eficiencia de este secador es del 55%, lográndose una humedad relativa del aire de un 1.5% como promedio, con una radiación solar promedio  $783.603 \text{ W/m}^2$  y alcanzándose temperaturas hasta de 60 grados centígrados en la cámara de secado.

Al realizar las pruebas de campo, la humedad inicial medido con el higrómetro fue de 17.3%, después de un lapso de tres horas y media de secado, la humedad final es de 11.7%, alimentado por energía renovable y automatizado, consiguiendo los parámetros requeridos para manejo pos cosecha del producto.

Concluyéndose que el secador implementado cuenta con todas las características necesarias para secar granos de arroz con eficiencia y calidad.

**PALABRAS CLAVE:** Secador solar, Arroz, Secado, temperatura, humedad.

## ABSTRACT

A forced draft solar drying dryer for rice drying was implemented. The tests were carried out in climatic conditions where the ambient temperature averaged 28 degrees Celsius and relative humidity was 52%. The solar dryer consists of an acrylic sheet (which is exposed directly to the sun to heat the interior chamber of the dryer), in the form of a tunnel in which a fan is placed to force the air through this, in addition to a camera Drying.

The experimental runs were used to measure the temperature and humidity using the DHT22 (inside the chamber) and DHT11 (outside) sensors, arranged in the drying chamber, the relative humidity and temperature were measured with these sensors, finally showing That the efficiency of this dryer is 55%, achieving an average air humidity of 1.5% on average, with an average solar radiation  $783.603 \text{ W/m}^2$  and reaching temperatures up to 60 degrees centigrade in the drying chamber.

When the field tests were carried out, the initial humidity measured with the hygrometer was 17.3%, after a lapse of three and a half hours of drying, the final humidity was 11.7%, powered by renewable and automated energy, achieving the required parameters for post-harvest handling of the product.

Concluding that the implemented dryer has all the necessary characteristics to dry rice grains with efficiency and quality.

**KEYWORDS:** Solar dryer, Rice, drying, temperature, humidity.

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación tiene como objetivo general implementar un prototipo secador automatizado para el secado de arroz con una capacidad de un kilogramo para obtener un grano de calidad considerando la normatividad vigente. Es por ello que para la realización de este informe se hicieron diferentes investigaciones sobre el tema permitiendo estructurarlo de la siguiente manera.

En el capítulo I, se presenta el problema de investigación, el cual abarca el planteamiento del problema, detallando la situación problemática, por el cual nos planteamos la siguiente interrogante, ¿Es factible implementar un prototipo con capacidad de un kilogramo para el secado de arroz?, para desarrollar esta interrogante, justificamos diferentes aspectos, técnica, ambiental, económica y social. Además de mencionar las limitaciones que tuvimos para el desarrollo de esta investigación.

En el capítulo II, se abordaron aspectos del marco teórico, el cual abarca las fórmulas que fueron empleadas para el diseño y construcción del prototipo secador solar, a través de un balance energético y de masa, se dimensiona sus parámetros geométricos y térmicos..

En el capítulo III, se presenta el marco metodológico, se abordan los siguientes aspectos; el tipo de investigación que es tecnológica experimental, por que busca optimizar el proceso de secado. Hacemos un reconocimiento de las variables que se encuentran en nuestro proceso de secado. Este capítulo también abarca los métodos y técnicas de recolección de datos; como las encuestas que se aplicaron y el diagrama de procesos. En el enfoque cualitativo se realiza la encuesta, la entrevista al especialista del proceso de secado, técnico Luis Yovera Asenjo quien es el trabajador del molino “Cristo Morado”, y el enfoque cualitativo se detalla cada capítulo que se realizó.

En el capítulo IV, en este capítulo se explica el desarrollo del análisis e interpretación de los resultados, como primer punto se analizaron los datos proporcionados por la empresa “Cristo Morado”. También se realizaron los cálculos de la radiación solar, diseño del secador, análisis energético del

secador, eficiencia, selección de los componentes para la automatización, selección del panel fotovoltaico, selección de los motores para el recubrimiento del secador.

En el capítulo V, en la propuesta de investigación se caracterizó el grano de arroz, se diseñó el prototipo automatizado en base a los cálculos de transferencia de calor por radiación, se implementó un sistema de control para las variables de temperatura y humedad alimentado por energía renovable. También se desarrolla el análisis económico del proyecto, plan de mantenimiento, manual de usuario y planos de fabricación.

En el capítulo VI, se presenta las conclusiones en base a los objetivos específicos, los cuales detalla los resultados obtenidos de cada uno de ellos, además de dar las recomendaciones correspondientes para mejorar el desarrollo del proyecto como este.

# **CAPÍTULO I**

## **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

## **1.1. Situación Problemática**

La selección de este tema de estudio nace a partir de una necesidad existente en los molinos de la región, que pretende mejorar la producción en base al secado de arroz y así convertirse en la región líder en producción de arroz, para lo cual se ha pensado en implementar el prototipo secador automatizado de secado de arroz. Por ello es necesario conocer la realidad de las empresas productoras de arroz a nivel internacional, nacional y local.

Los molinos que brindan el servicio de secado de arroz utilizan como combustible la pajilla con diésel emanando sustancias tóxicas al medio ambiente.

### **1.1.1. A Nivel Internacional**

#### **Situación en Colombia**

En el caso de Colombia, la facultad de Ingeniería de la universidad de Ibagué construyó un secador de control predictivo a escala 1:10, con capacidad para secar 25 Kilos de arroz. El secador recibe aire caliente a temperatura y flujo controlado, y permite registrar la temperatura y humedad del aire ambiente que actúan como perturbaciones del proceso. Así mismo, se miden las condiciones del grano, temperatura y humedad, durante el proceso de secado.

Con las pruebas realizadas en este secador, se demostró que el control predictivo de secado de arroz es una técnica que permite reducir el tiempo de secado y alcanzar la humedad final deseada. Esto le permitiría a las empresas molineras que utilizan secador de lecho fijo de piso perforado, mejorar su productividad al reducir tiempo en el proceso de secado, y evitar la pérdida de masa por sobre secado sin afectar las condiciones de almacenamiento del grano. Se presenta de esta forma un modelo y controlador que son implementables en industrias de la región y que demuestra sus potencialidades. Así mismo, se demuestra que la calidad del grano mejora al utilizar el control predictivo DMC (IP: 57,2), que al utilizar el clásico método de secado ON-OFF (IP: 55,45). Este aumento en el

IP de 1.75 podría generarle a una industria molinera un incremento en sus ingresos de aproximadamente el 3%. (LUCERO, 2012).

### **Situación en Cuba**

En el año 2009 el Complejo Agro Industrial de Camagüey, otorgó 3681 hectáreas, a los campesinos de los municipios de Vertientes y Florida. Esperando que el crecimiento sea de 3.6 TM/ha de arroz.

El problema en este crecimiento es que en el Complejo Agroindustrial, solamente se cuenta con cinco unidades de secado con capacidades entre 6000 y 7000 quintales de secado diario, pero la cosecha actual sobrepasa los 10000 quintales diarios de 3000 quintales que no podrán ser secados hasta que se logre extraer todo el arroz seco, pero para ello se tendrá que parar todo el flujo productivo.

El problema en el CAI es la falta de capacidad para secar. “El arroz húmedo que reciben los secaderos excede sus capacidades instaladas”, dijo Gelasio Ocampo González, director del molino-secadero Panchito Mendoza. (Juventud, 2014).

### **Situación en América**

La producción mundial de arroz, en los últimos 20 años, se ha incrementado. En los primeros 10 años su crecimiento fué moderado, para luego sufrir una ligera caída. Su recuperación en los últimos 8 años fué a una mayor tasa de crecimiento, alcanzando una cifra récord en la campaña 2008-2009.

Se estima que en la campaña 2009-2010, la producción mundial alcance los 441 millones de toneladas (7 millones menos que la campaña 2008-2009) mientras que el stock al cierre de campaña 2009-2010, llegue a los 89 millones de tonelada (2 millones de toneladas menos que en la campaña anterior).

Para el periodo 2009/2010, se estima un consumo mundial de 442 millones de toneladas, conservando su tendencia creciente en el transcurso de los últimos 8 años. Según cifras de la FAO (Food and Agriculture Organization) para el año 2007, a nivel internacional los

principales países consumidores de arroz son: Brunei (245 Kg./persona/año), Vietnam (166 Kg./persona/año), Laos (163 Kg./persona/año) y Bangladesh (160 Kg./persona/año).

En el continente americano los más importantes consumidores de arroz son Cuba (64 Kg./persona/año), Panamá (60 Kg./persona/año) y Costa Rica (52Kg./persona/año), seguidos por el Perú (48 Kg. / persona/año).

Actualmente en la industria del arroz mundial se aplican máquinas secadoras que simplifican este proceso, a la vez que lo hacen más rentable para las empresas.

El proceso de secado es uno de los más importantes en la producción de arroz porque el secado influye en la capacidad de almacenamiento del grano, el consumo de energía, la masa final del grano y el porcentaje de granos enteros al finalizar el proceso. Si no se alcanza la humedad de equilibrio, se generará hongos en el proceso de almacenamiento, por otro lado, sobre secar el grano reduce la masa del producto generando pérdidas económicas para la industria molinera. Además, realizar el proceso con una mayor temperatura fragiliza el grano generando un mayor porcentaje de granos partidos.

### **1.1.2. A Nivel Nacional**

#### **Región Arequipa**

Mejoras en el proceso productivo y modernización mediante sustitución y tecnologías limpias en un molino de arroz.

La producción de arroz, que comprende la agricultura, procesos productivos y distribución, requiere de análisis integrales a fin de mejorar su eficiencia y competitividad. En este contexto, en el presente trabajo, se propone mejoras que redunden en la producción y productividad en un molino de arroz ubicado en la región Arequipa. Para tal fin se realiza un diagnóstico del proceso productivo, un benchmarking con las empresas del sector, así como se introducen conceptos de producción más limpia.

El Departamento de Arequipa, que representa el 8% de la producción nacional, cuenta con una infraestructura moderna de dicha industria (comparada con el promedio nacional). El molino ubicado en el valle de Tambo, cuenta con una capacidad de 1 ton / h (20 sacos por hora de arroz pilado, 320 sacos al día durante dos turnos de trabajo de 8 horas cada uno). Actualmente en la localidad del molino, distrito de Punta de Bombón, no existe un molino que satisfaga la demanda de pilado de los agricultores.

Secado: Proceso muy importante que requiere de un tiempo prudencial. Si el secado es muy lento, se permite el desarrollo de microorganismo por el alto contenido de humedad, lo cual provocará un calentamiento de la masa y en consecuencia un deterioro del mismo. Por otro lado, si el secado es muy rápido se corre riesgo de que el grano sufra daños en su cariósido y la muerte del embrión a causa del excesivo calor. Para realizar este proceso, existen dos métodos: - convección natural: la energía solar es utilizada directamente sobre el grano. - convección forzada: a través de un soplador, el aire que transportará el calor a la masa del grano. (Carlos Najjar, 2010).

### **Región Lima**

Según el III Censo Nacional Agropecuario realizado en 1994, la producción está atomizada en pequeños productores, cada cual con diferente nivel de tecnificación, el 26,2% de los cultivos de arroz provienen de unidades agropecuarias con superficies menores a 5 has; el 42,7%, de unidades entre 5 y 20 has y el 31,1% de los cultivos de las grandes unidades agropecuarias (más de 20 has).

La producción de arroz se caracteriza porque genera una gran dinámica de recursos, humanos, técnicos, financieros y otros, para obtener el producto final del mismo. El principal sistema de producción es el irrigado, bajo el cual se produce aproximadamente el 93% del cereal del país, sin embargo este sistema demanda un alto consumo de agua (15,000 a 18,000 m<sup>3</sup> de agua por ha) y genera la degradación de los suelos, lo cual ocasiona salinización de

las tierras en las zonas de la costa. (MINISTERIO DE AGRICULTURA, 2011).

### **1.1.3. A Nivel Local**

#### **Situación en la región Lambayeque.**

En la región Lambayeque el arroz en cáscara ingresa al molino; en ese momento se chequea la humedad y se pesa. Según la reglamentación del comercio del arroz, la humedad máxima para arroces secos es de 14%. El control exacto en la práctica no se realiza. El secado se realiza en el campo pero no es conveniente ya que los granos sufren resquebraduras o agrietamientos, lo que trae en el proceso de pilado un alto porcentaje de “ñelen” o granos quebrados. Es más conveniente el secado artificial con aire caliente. Los inspectores técnicos del comercio del arroz además de chequear la humedad y efectuar el pesado del arroz, controlan la calidad de los arroces en cáscara y aplican los castigos que señala el reglamento en los casos que proceda. El arroz pasa después a las bodegas del ingenio, hasta el inicio del proceso industrial. Como requisito previo se realizará la limpieza del arroz en cáscara; se lleva el grano a la tolva del ingenio de donde mediante elevadores va al monitor de limpieza que con unas zarandas oscilantes que separa el arroz de las impurezas.

En la Región Lambayeque se emplea el sistema de secado al natural, es decir, seca el arroz por acción del calor del sol. Este sistema de secado trae consigo problemas de quebrantamiento de granos en un promedio del 31.44% del total de granos puestos a secar; esto se debe a que con el sistema de secado al natural no se tiene un control de la temperatura a la que está sometida el grano, al mismo tiempo que no se puede lograr una uniformidad del calor en el grano, porque no se expone el grano de la misma manera al sol.

El 70% de la planta arrocera del Perú opera en la región Lambayeque.

## **A. Métodos de secado**

En la región Lambayeque el secado de granos es el eje primordial dentro del sistema cosecha-secado-almacenamiento, las tecnologías para el secado son limitadas, por lo que en la mayoría de las ocasiones el agricultor opta por el secado natural que resulta de la combinación de radiación solar y movimiento natural del aire.

Por otra parte el secado artificial se resume en dos maneras: los que trabajan por lotes de grano y en los que el grano es secado por medio de un flujo continuo del mismo. El objetivo del secado es reducir el grado de humedad entre un 22% y 20% a un 14% o 12%.

### **A.1. Secado Artesanal**

El secado natural se realiza en campo usando aire suministrado por medio del viento y la energía (calor) proporcionado por la radiación solar.

Es de uso generalizado por su bajo costo y fácil implementación; sin embargo tiene como desventajas la dependencia de las condiciones climáticas, mano de obra y grandes superficies de secado por lo que se utiliza para volúmenes pequeños de grano. Se hace uso de patios o tendales en los que se esparce el grano formando capas de más o menos 10 centímetros de espesor.

## **B. Procesos de secado.**

### **B.1. Proceso de secado artesanal.**

El proceso de secado artesanal comienza a la 6:00 am con el tendido de mantas o tendales hasta las 7:30 am. Luego continua con el vaciado de arroz y para homogenizarlo se utiliza rastrillos o paletas de madera haciendo movimientos horizontales, verticales y diagonales este proceso tiene un tiempo de duración de 8 horas a una temperatura promedio de 25°C a 27°C. Reduciendo así el porcentaje de humedad inicial de 22% a un 14% de humedad final,

teniendo en cuenta que por cada porcentaje de secado de humedad relativa reduce un kilogramo de peso, cada saco de un promedio de 85 kg, reduce 8kg de peso, luego se procede al llenado de sacos manualmente. Una vez terminado el proceso de secado se procede a apilar los sacos sobre una base llamada parihuela colocando los sacos en forma horizontal y verticalmente respectivamente hasta llegar a una altura de diez sacos de alto por normatividad.

### B.1.1.- Instrumentos de medición de humedad

- Higrómetro.



### B.1.2.- Escenarios



## **B.2. Proceso de secado industrial**

### **B.2.1.-Procedimiento de secado:**

El procedimiento de secado inicia 6:00 am, cuando se ponen a funcionar el sistema de alimentación de las limpiadoras (compuestos por mecanismos de transportadores y elevadores), el ciclón de la limpiadora y la limpiadora en sí. Al mismo tiempo se encienden los transportadores y elevadores que alimentan las secadoras, para tener un flujo continuo de llenado de la secadora.

Se acumula 18, 000 kg de arroz que ingresa a la secadora y después de acumular lo suficiente (la mitad de su capacidad) se enciende el mecanismo interior (ventiladores) de la secadora que sirve para distribuir el arroz de forma uniforme. Con esto también se aprovecha el total de la capacidad de la secadora; en otras palabras, este mecanismo interno sirve para reacomodar el arroz, hasta que quede llena.

En el momento que la secadora se encuentra llena, se ponen en marcha los siguientes equipos: elevador, rotor, ventilador de la secadora, y quemador con una cantidad de 200kg de pajilla de arroz y un litro de gasolina.

Al iniciar el proceso de secado, el operador responsable del turno de las secadoras, toma la primera muestra para determinar el porcentaje de humedad con el higrómetro desde el inicio del secado; se busca llevar el arroz a un porcentaje de humedad de 12% a una temperatura de 55°C a 60°C, durante cuatro horas (porque es la humedad óptima de almacenaje), por lo que se hacen los muestreos para analizar la humedad durante el proceso de secado, hasta llegar a la humedad requerida.

Cuando el arroz llega a la humedad requerida, se apagan el quemador a base de pajilla de arroz y se deja recirculando el arroz dos horas; al finalizar este proceso se traslada el arroz al lugar de almacenamiento asignado, este proceso se realiza tres veces al día.

### **B.2.2- Control necesario durante el secado**

Durante el proceso de secado se controlan los mecanismos de alimentación, transporte y descarga de arroz que están funcionando para no tener sobrecargas, y que esto pueda ocasionar derrames o rebalses de los equipos.

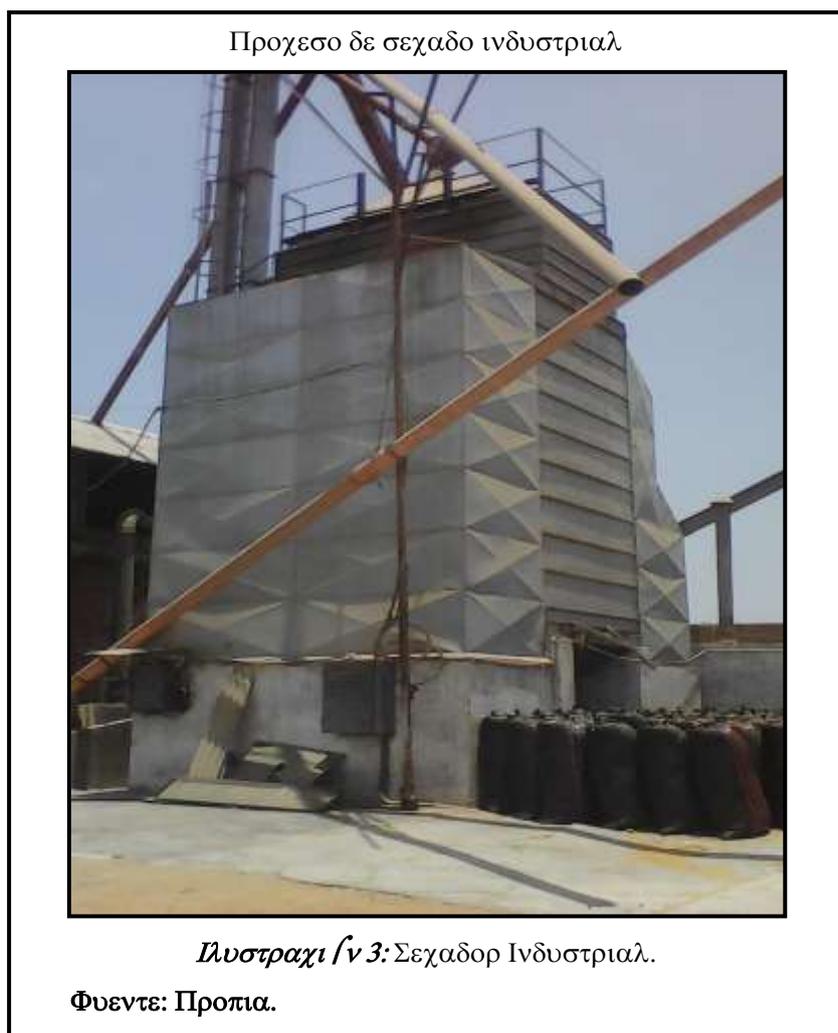
Otro control indispensable es la humedad inicial del arroz, para saber cuántas horas aproximadamente, se tendrá que secar el arroz para que llegue a su punto óptimo de humedad.

Un control sumamente importante e indispensable es la alimentación de combustible que tiene el sistema de secado a base de la pajilla, porque si es mucho el flujo de pajilla, puede haber sobrecalentamiento y dañar el grano o peor aún, puede haber un derrame y esto puede terminar en accidentes lamentables, y si el flujo de combustible es escaso, se pierde eficiencia; en ambos casos se elevan los costos del proceso.

### **B.2.3- Variables que se controlan**

- La temperatura del aire caliente que ingresa a la cámara de la secadora.
- Humedad del grano.

### B.3- Escenarios



#### 1.2. Formulación del Problema

**¿Es factible implementar un prototipo con capacidad de 1 kg para el secado de arroz?**

**Objeto de estudio:** Implementar el prototipo.

#### 1.3. Delimitación de la Investigación

Este proyecto parte de la necesidad de mejorar el proceso de secado de arroz en el molino Cristo Morado, por lo tanto nuestro estudio será desarrollado en el área de secado de arroz de las instalaciones del molino Cristo Morado, en la ciudad de Ferreñafe.

Para la realización de este informe de tesis haremos uso de la información con la que cuenta la industria molinera sobre el proceso de secado de arroz existente, usaremos datos del análisis del secado

de arroz, como la cantidad de humedad del producto, las temperaturas con las que ejecutan el proceso y la cantidad de calor que ellos generan. Esta investigación será *tecnológica experimental*, porque busca optimizar el proceso de secado, y así patentar esta nueva tendencia en los sectores productores y comerciantes que hayan construido secadores sin criterio técnico.

#### **1.4. Justificación e Importancia**

##### **1.4.1. Técnica**

- a) Tener un sistema confiable que nos permita mejorar y controlar el proceso de secado del arroz; de manera que el proceso sea más rápido y eficiente.
- b) Desarrollar un automatizado que permita tener valores más exactos de la cantidad de calor que se requiere para efectuar un secado más rápido y dejar el arroz con la cantidad necesaria de humedad.
- c) Este sistema tiene como función principal administrar y controlar el calor requerido, con la finalidad de que el proceso sea uniforme en toda el área de secado.

##### **1.4.2. Ambiental**

Con el desarrollo de este proyecto se logrará reducir el consumo eléctrico ya que se contará con un sistema fotovoltaico, reducir las emisiones de gases, esto se logrará gracias a que se concentrarán mayores niveles de calor en área de secado, obteniendo un mejor aprovechamiento de calor generado.

##### **1.4.3. Económico**

Una de las grandes dificultades que aquejan a los agricultores es el alto consumo de energía en el proceso de secado de arroz con un secador artificial. De tal manera que los secadores de arroz necesitan 24 horas seguidas de energía eléctrica lo que implica que este proceso se realice aproximadamente 2 veces a la semana por motivos económicos y en algunos casos una sola vez

por semana, esto genera represamiento de arroz, y pérdida de sus propiedades.

Con la implementación de este sistema, se logrará obtener una mayor producción de arroz lo cual favorecerá a la empresa incrementando su producción.

#### **1.4.4. Social**

Con este proyecto se estará ayudando a mejorar la condición de vida de la población de la provincia de Ferreñafe ya que este tipo de secador utiliza la energía solar como combustible y es una energía no contaminante por que no produce humos ni gases.

### **1.5. Limitaciones de la Investigación**

- a) Dificultad para determinar los criterios de análisis de datos.
- b) Falta de información referida a sistemas de control y visualización.
- c) Dificultad para la obtención de datos de la cámara de secado.
- d) Dificultad para la adquisición del instrumento de medición de humedad.

### **1.6. Objetivos de la Investigación**

#### **1.6.1. Objetivo General**

Implementar un prototipo secador automatizado para el secado de arroz con una capacidad de 1kg para obtener un grano de calidad considerando la normatividad vigente.

#### **1.6.2. Objetivos Específicos**

- a) Caracterizar el grano de arroz.
- b) Diseñar prototipo del secador de grano de arroz.
- c) Implementar un sistema de control automático para las variables de temperatura y humedad alimentado por energía renovable.
- d) Elaborar manual de usuario y plan de mantenimiento.
- e) Realizar el análisis económico del prototipo.
- f) Elaborar planos de fabricación.

# **CAPÍTULO II**

## **MARCO TEÓRICO**

## **2.1. Antecedentes de Estudio**

### **2.1.1. A Nivel Internacional**

#### **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL PREDICTIVO PARA EL SECADO DE ARROZ PADDY.”**

**Autores:** Cubillas, Alfonso.

IBAGUÉ – COLOMBIA, 2010

#### **RESUMEN**

Este artículo trata sobre la modelación y control del proceso de secado de arroz en un silo inclinado usando técnicas de control predictivo. Para este proyecto se usa un secador a escala 1:10 con una capacidad 25 kilos de grano, totalmente instrumentado donde se puede medir la temperatura y humedad del grano de arroz y del medio ambiente, además permite medir y manipular el flujo y temperatura del aire de secado.

El proceso de control predictivo tiene la función de calcular la acción de control óptima. Como consecuencia de este proceso se obtienen resultados prometedores del uso de este tipo de tecnología en el secado de arroz:

- a) Reducción del tiempo de secado.
- b) Evitar la pérdida de masa por sobre secado.
- c) Garantizar un secado más homogéneo y por lo tanto una mejora en la calidad del arroz y la productividad de la industria molinera.

Así como existen procesos con un sistema de control automatizado para el secado arroz, también se realiza para otros tipos de grano tales como trigo, café y otros productos. (Cubillas, 2010) .

#### **“DISEÑO CONCURRENTE DE UNA SECADORA VERTICAL INTERMITENTE PARA ARROZ.”**

**Autores:** Tacuri, Leopoldo.

**ECUADOR**

#### **RESUMEN**

El presente trabajo refleja el diseño de una secadora vertical intermitente para arroz con una capacidad de secado de 20

toneladas y una reducción del 2% de humedad por hora, en la cual los parámetros de diseño fundamentales son: la temperatura de secado, humedad inicial del grano, pérdidas de presión entre otras, los cuales influyen directamente en la eficiencia de la máquina. Es allí donde interviene el diseño de un sistema de control el cual permitirá mejorar el proceso de secado, y reducir el porcentaje de humedad a los valores aceptables para el almacenamiento en silos. (Tacuri, 2011)

### **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SECADOR POR FLUIDIZACIÓN PARA DESHIDRATACIÓN DE TRIGO”**

**Autores:** Paucar, Edgar.

CHIMBORAZO – ECUADOR, 2010

#### **RESUMEN**

El objetivo de esta tesis es realizar el diseño y construcción de un secador por fluidización para la deshidratación de trigo, haciendo que el material se encuentre suspendido, arremolinándose con él, formando el lecho fluidizado. El equipo está diseñado y construido de una cámara de secado de forma cilíndrica de acero; quemadores múltiples que calientan aire, circulado a través de un tubo.

El sistema de control de flujo está constituido por un sensor para regular la temperatura, y un controlador de tiempo digital que controla la temperatura y tiempo. (Paucar, 2010)

### **“DISEÑO DE UNA SECADORA DE ARROZ CON INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA UNA PILADORA”**

**Autor:** Manuel Enrique Chicaiza Rivera.

GUAYAQUIL – ECUADOR, 2007

## **RESUMEN**

La tesis se basa en el diseño de un secador de arroz que incluye selección del ventilador y diseño del intercambiador de calor para secar arroz en grano de una piladora cuya bodega tiene un área de 53m<sup>2</sup>(5.5m x 9.5m) y que contiene un volumen de arroz en tendido de cama de 78.4 m<sup>3</sup> (5.5m x 9.5m x 1.5 m).

Se encontrará el volumen de aire caliente requeridos para secar el arroz en esta área ya que antiguamente se lo hacía al sol.

El requisito principal de este diseño es el de tener incorporado un intercambiador de calor para evitar la contaminación del grano de arroz, ya que el proceso de secado origina ciertos contaminantes en los granos cuando los generadores de calor no trabajan correctamente.

Una incorrecta regulación del quemador propicia la formación de compuestos químicos que son objetables. Algunos países, como Suiza han prohibido el empleo de granos secados con combustibles líquidos como gasoil, fuel-oíl, etc., o si no exigen el uso de intercambiadores de calor para evitar la combustión directa (mezcla de los gases de combustión con el aire de secado), ya que con ello se consigue evitar la contaminación de los granos por compuestos químicos peligrosos, como el benzopireno que es un hidrocarburo aromático poli cíclico que según constancias médicas, puede causar problemas cancerígenos.

### **2.1.2. A Nivel Nacional**

#### **“LAS VENTAJAS DE LA AUTOMATIZACIÓN”**

**Autor:** CIOPERU

LIMA – PERU, 2010

#### **RESUMEN**

La automatización en las industrias peruanas ha generado la existencia de mayores oportunidades y beneficios significativos a las empresas que la adoptaron.

En primer lugar la automatización abarca la instrumentación industrial (sensores y transmisores de campo); los sistemas de control y supervisión; los sistemas de transmisión y recolección de datos; y las aplicaciones de software en tiempo real.

Entre las ventajas que otorga esta disciplina mencionó la repetitividad (al encargarse una máquina de las tareas repetidas hay menos desgaste de parte del hombre); el control de calidad más fino (la máquina puede también controlar, medir y monitorear el proceso); la mayor eficiencia; la integración con sistemas empresariales; el incremento de la productividad; y la reducción del trabajo. (CIOPERU, 2010)

### **2.1.3. A Nivel Local**

#### **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO PARA EL TRATAMIENTO DE LA HUMEDAD DEL ARROZ EN CASCARA APLICADO A LAS COMPAÑIAS MOLINERAS DEL DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE 1998”**

**Autores:** Katia Bravo de la Piedra, Marie Cielo Velásquez Rabanal

LAMBAYEQUE – PERÚ, 2000

#### **RESUMEN**

En el Perú el cultivo de arroz constituye una de las principales actividades del agro nacional. Se caracteriza por su importancia en la dieta popular alimentaria, por ser fuente generadora de trabajo.

Este cultivo ha generado una agroindustria que tiende a desarrollar a través de la diversificación de uso de los productos. El arroz participa con el 10% del valor bruto de la producción agropecuaria y ocupa el segundo lugar en importancia en la dieta familiar, luego de la papa.

La superficie cultivada en el país supera las 210000 hectáreas por año, con una producción promedio de un millón de toneladas métricas, constituyéndose el segundo producto, en cuanto a extensiones cultivadas después del maíz.

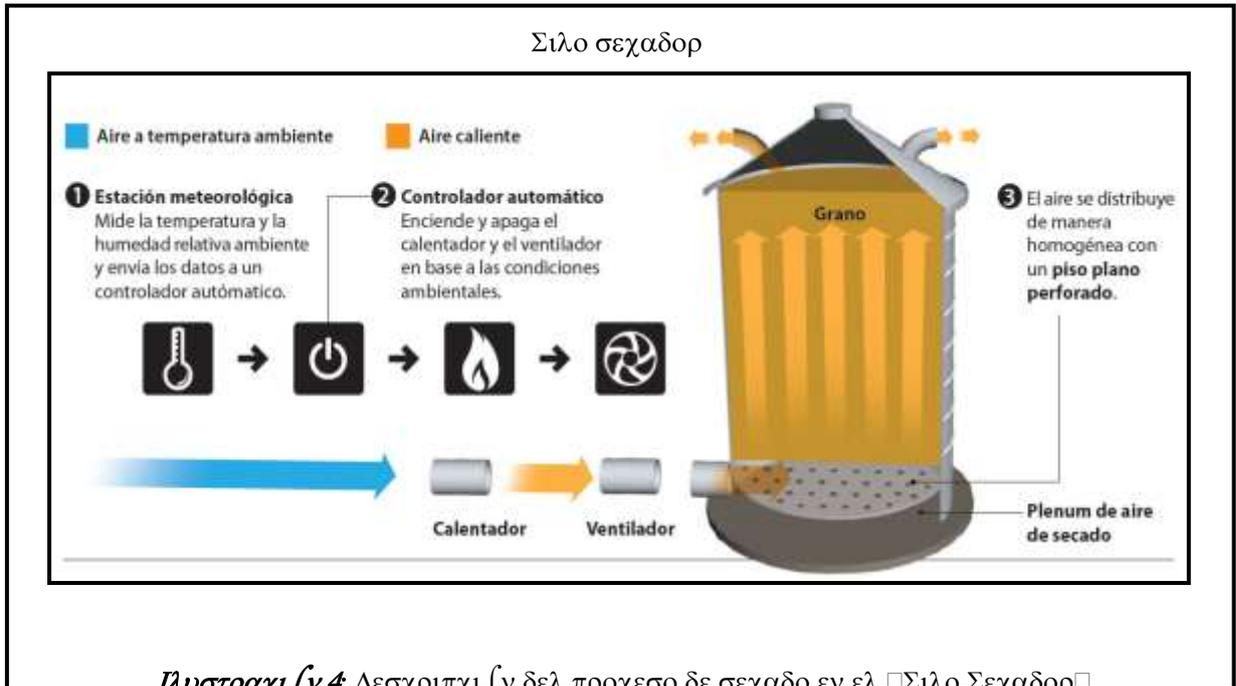
Se han realizado una serie de estudios técnicos y técnicos – experimentales, todos ellos relativos a la construcción y experimentación de secadores convencionales especialmente en el extranjero: Colombia, Brasil y Estados Unidos, debido a la importancia que tiene un adecuado secado en la calidad molinera del arroz. En nuestro país, en especial en la región norte, zona netamente arroceras, son pocos los estudios técnicos – experimentales realizados. Siendo esta la razón principal que sustenta nuestro trabajo de investigación, el que permitirá disponer de una base teórica indispensable para sacar las conclusiones necesarias del resultado de los ensayos y deducir las consecuencias que dictarán juiciosamente la elección de un aparato y la fijación de sus características.

## **2.2. Estado del arte**

### **Nuevas tecnologías**

En Argentina, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria ha creado una secadora de granos automatizada, es decir se trata de una secadora de arroz con aire natural y baja temperatura (AN/BT), totalmente automatizada, diseñada para el secado de granos especiales de alto valor y altas exigencias de calidad. La cual la han nombrado “*Silo-Secador*” y es el primer sistema argentino para secar granos en silo con aire natural o a baja temperatura, el cual es totalmente automático, reduce el riesgo de sobre secado y asegura eficiencia energética y mejora la calidad del grano.

## Σιλο σεχαδορ



*Παραγραφή 4: Διαγράμμιση (ν. δελ. προχ. εσο. δε. σεχαδο εν ελ. Σιλο Σεχαδορ)*

*Φουεντε:* (INTA, 2013)

Esta nueva tecnología otorga un secado lento y homogéneo de los granos sin afectar atributos como poder germinativo<sup>1</sup> en semillas, y rendimiento molinero en maíz y arroz, entre otros.

Por otro lado en Francia, la empresa *clextal* ha creado una secadora Rotante Evolum. Cuenta con una amplia serie de aplicaciones, con las cuales da solución exclusiva a productos como: frutas, arroz y muchos otros productos.

La característica distintiva de esta secadora se basa en su diseño simple y exclusivo: Los productos se secan mediante flujo de aire, el cual es impulsado por tornillos de Arquímedes<sup>2</sup> cubiertos por láminas de acero inoxidable fijadas sobre un cubo en forma de tambor central que gira lentamente en un recinto totalmente hermético. Los productos son secados a diferentes temperaturas con un máximo de 160°C. Los niveles de humedad son controlados por un dispositivo tipo sensor electrónico que mide el nivel de humedad y activa el

<sup>1</sup> El poder germinativo consiste en la activación de los procesos por aumentos en humedad y actividad respiratoria de la semilla.

<sup>2</sup> Un tornillo de Arquímedes es una máquina gravimétrica helicoidal utilizada para elevación de agua, harina, cereal o material excavado.

proceso de extracción de humedad siempre que sea necesario.  
(CLEXTRAL, 2014)

## 2.3. Bases teórico científicas

### A. Variables independientes

#### 2.3.1. Características del arroz

Es un cereal considerado alimento básico en muchas culturas culinarias, así como en algunas partes de América Latina. El arroz es el segundo cereal más producido en el mundo, detrás el maíz. Debido a que este se produce con muchos otros propósitos aparte del consumo humano, se puede decir que es el arroz el cereal más importante en la alimentación humana y que contribuye de forma muy efectiva al aporte calórico de la dieta humana actual.

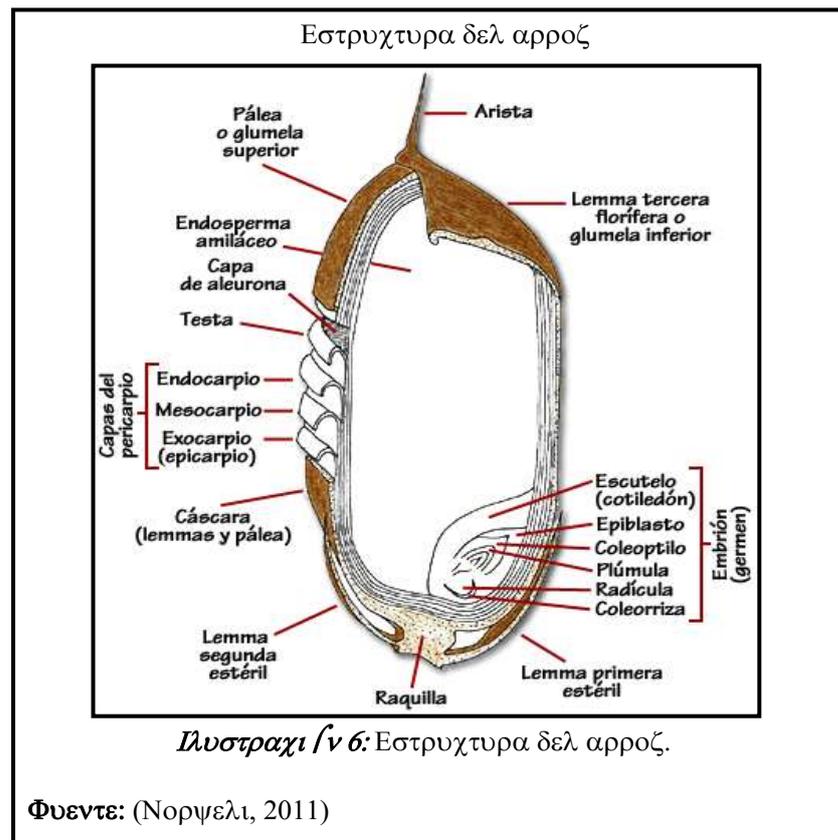
Las principales variedades de arroz que se cultivan en los diferentes valles arroceros son aproximadamente 30, de las cuales 10 variedades se cultivan en la costa norte como por ejemplo: Vi flor, Inti, Sican, Costa Norte, Taymi, Oro, Santa Ana, San Antonio y NIR-I.

#### a) Estructura del Arroz

La semilla de arroz está rodeada externamente por una estructura llamada pericarpio, conformando de esta forma un fruto llamado carióspside.



La carióspside, a su vez, está incluido dentro de la lemma y de la pálea, estructuras que constituyen la "cáscara". Para obtener en definitiva el arroz blanco, primeramente se procede a la extracción del pericarpio; posteriormente, y a través de un proceso de pulido, se elimina la testa, la capa de aleurona y el embrión. (Noryeli, 2011)



## b) Composición del Arroz

Aquí se tiene una tabla comparativa de la composición nutricional del arroz blanco y del arroz integral (Arroz crudo, información de composición por 100 g de porción comestible)

**Tabla 1:**  
**Composición del arroz**

Componente	Arroz blanco crudo	Arroz integral crudo	Unidad
energía, total	361	332	kcal
grasa total	0,6	2,8	g
proteína, total	7,6	8	g
agua	8	17	g
<b>Hidratos de Carbonos</b>			
carbohidratos	86,8	73,41	g
fibra	1,4	2,8	g
<b>Grasas</b>			
AGM	0.17	0.7	g
AGP	0.19	1	g
AGS	0.15	0.7	g
<b>Vitaminas</b>			
equivalentes de niacina, totales	3	6,8	mEq
folato, total	2	40	ug
<b>Minerales</b>			
calcio	10	20	mg
hierro, total	0.81	2	mg
potasio	120	200	mg
magnesio	28	131	mg
sodio	4	6	mg
fósforo	100	300	mg
iodo	14	22	µg
selenio, total	7,5	10	µg
zinc	1,3	1,6	mg

AGM: ácidos grasos, monoinsaturados totales  
AGP: ácidos grasos, poliinsaturados totales  
AGS: ácidos grasos saturados totales

Φυεντε: (Vitónica, 2009)

**Tabla 2:**  
**Propiedades físicas del arroz**

Fracciones	Densidad(g/ml)	Densidad a granel(g/ml)
Arroz cáscara	1.17-1.23	0.56-0.64
Arroz integral	1.31	0.68
Arroz elaborado	1.44-1.45	0.78-0.85
Salvado de arroz	1.16-1.29	0.20-0.40
Cáscara de arroz	0.67-0.74	0.10-0.16

Φυεντε: (COSTA LOPPZ, 1998)

### c) Calidad del Arroz

(Martínez, 2009)

El arroz cáscara experimenta durante el almacenamiento un proceso de maduración posterior que completa y perfecciona sus características cualitativas; el arroz almacenado, mediante

el proceso de envejecimiento que se verifica, alcanza gradualmente una mayor uniformidad y equilibrio cualitativo.

Los criterios que conforman el concepto de calidad en el arroz son, en efecto, bastante numerosos y en algunos casos están en oposición entre sí. Indudablemente, la calidad depende también del destino que el producto va a recibir y de la forma de empleo porque en sus diversas aplicaciones y técnicas de empleo cierto arroz puede ser satisfactorio o no según el destino o forma de tratamiento y cocción.

(Noryeli, 2011)

Pero en todos los casos la calidad está dada por los siguientes parámetros:



### 2.3.2. Porcentaje de Humedad:

La humedad se determina en una muestra de análisis separada de arroz limpio obtenido al pasar la muestra por una corriente de aire para remover las impurezas livianas, esta muestra se introduce en un medidor de humedad de granos electrónico, luego de medir la humedad la muestra se regresa al arroz en cáscara limpio.

La conservación de los granos se ve influenciada por la humedad con la que se encuentran, debido a que es más fácil su almacenamiento en un determinado tiempo sin correr riesgo

de su deterioro. Se considera un grano seco el que se encuentra con una humedad de 15%; sin embargo esta puede variar dependiendo de la zona en la que se está trabajando. Para zonas cálidas y tropicales el rango de humedad se encuentra entre 12% y 13%.

### **2.3.3. Tamaño del grano**

#### **A. Clasificación**

##### **Norma del Codex para el arroz**

##### **Codex Standard 1980 – 1995**

Si el arroz se clasifica por el tamaño como grano largo, grano medio y grano corto, esta clasificación debería ajustarse a las especificaciones que figuran a continuación. Los comerciantes deberán indicar la opción de clasificación que escogen.

##### **a) OPCIÓN 1: Relación longitud/anchura del grano**

###### **a1) Arroz de grano largo**

- El arroz descascarado o el arroz descascarado sancochado cuya relación

Longitud/anchura es de 3,1 o más.

- El arroz elaborado o el arroz sancochado cuya relación longitud/anchura es de 3,0 o más.

###### **a2) Arroz de grano medio**

- El arroz descascarado o el arroz sancochado cuya relación longitud/anchura es de 2,1 a 3,0.

- El arroz elaborado o el arroz elaborado sancochado cuya relación longitud/anchura es de 2,0 a 2,9.

###### **a3) Arroz de grano corto.**

- El arroz descascarado o el arroz sancochado cuya relación longitud/anchura es de 2,0 ó menos.

- El arroz elaborado o el arroz elaborado sancochado cuya relación longitud/anchura es de 1,9 ó menos.

**b) OPCIÓN 2:** Longitud del grano

b1) El arroz de grano largo es el arroz cuya longitud del grano es de 8,6 mm ó más.

b2) El arroz de grano medio es el arroz cuya longitud del grano es de 6,2 mm ó más, pero menos de 6,6 mm.

b3) El arroz de grano corto es el arroz cuya longitud del grano es de menos de 6,2 mm.

**c) OPCIÓN 3:** Combinación de la longitud del grano y la relación longitud/anchura

c1) El arroz de grano largo: tiene:

- Una longitud de más de 6,0 mm y una relación de longitud/anchura de más de 2, pero menos de 3.

- Una longitud del grano de más de 6,0 mm y una relación longitud/anchura de 3 ó más.

c2) El arroz de grano medio tiene una longitud del grano de más de 5,2 mm pero no más de 6,0 mm y una relación longitud/anchura de menos de 3.

c3) El arroz de grano corto tiene una longitud del grano de 5,2 mm o menos y una relación longitud/anchura de menos de 2.

**B. Variables Dependientes**

**2.3.4. Temperatura de secado.**

La temperatura del aire de secado es el parámetro de mayor flexibilidad en un sistema de secado a altas temperaturas e

influye significativamente en el volumen, la eficiencia de secado y en la calidad del producto final. Un aumento de dicha temperatura significa un menor consumo de energía por unidad de agua evaporada y un mayor volumen de secado. En cambio, las temperaturas de secado más elevadas pueden causar daños térmicos más acentuados en los granos. La temperatura de secado, junto con los flujos de aire y de granos, determina la cantidad de agua evaporada en un secador.

La temperatura óptima para el proceso de secado de arroz varía de 45°C a 50°C, dependiendo el destino que tenga el grano, como se muestra en la tabla 3.

**Tabla 3:**  
*Temperatura óptima de secado*

PRODUCTO	FINALIDAD O USO DE LOS GRANOS	
	PRODUCTO	CONSUMO
ARROZ	45°C	50°C
FREJOL	40°C	45°C
MAIZ	40°C	60°C
SOYA	40°C	60°C

ΦυENTE: (XAEETPAA, 2014)

### 2.3.5. Velocidad de secado.

Para determinar la velocidad de secado de un material, se procede colocando una muestra en una bandeja. Si se trata de material sólido, debe llenar por completo la base de la bandeja de tal manera que sólo quede expuesta a la corriente de aire de secado la superficie de dicho sólido. La pérdida en peso de humedad durante el secado puede determinarse a diferentes intervalos sin interrumpir la operación, colgando la bandeja en una balanza adaptada a un gabinete o a un ducto a través del cual fluye el aire de secado.

Al realizar experimentos de secado por lotes, deben observarse ciertas precauciones para obtener datos útiles en condiciones que se asemejen lo más posible a las que imperarán en las operaciones a gran escala.

La muestra no debe ser demasiado pequeña y debe introducirse en una bandeja similar a la que se usará en producción. La relación de superficie de secado a superficie de no secado (superficie aislada) así como la profundidad del lecho del sólido deben ser idénticas.

La velocidad, la humedad, la temperatura y la dirección del aire deben ser los mismos y constantes para simular un secado en condiciones invariables.

#### **2.3.6. Tiempo de secado.**

En el tiempo total de secado deben de considerarse tres períodos distintos:

##### **Primer Período:**

En este período de calentamiento inicial del producto en el cual la velocidad de secado en función del tiempo aumenta.

##### **Segundo Período:**

En este lapso la velocidad de secado permanece constante y es independiente del sólido, de modo que para las mismas condiciones externas, el proceso es similar al que se daría en la superficie de una masa de agua.

##### **Tercer Período:**

Una vez que la humedad superficial ha sido eliminada, la humedad interna remanente comienza a ser eliminada pero, en consecuencia, la velocidad del secado decrece a medida que se va perdiendo humedad interna por evaporación en la superficie.

El tiempo de secado para el arroz se ha determinado por la experiencia de los productores de arroz en la región norte del Perú, debido a que no existen datos teóricos para este procedimiento, es así que la experiencia nos recomienda que se debe eliminar el 1% de humedad por hora la misma que puede variar dependiendo de las condiciones ambientales entre otras.

Para disminuir el tiempo total de secado se reducirá el 2% de humedad en el grano por hora.

El tiempo de secado depende del material, esto define las características que tendrá la curva de secado. El tiempo de secado debe ser determinado separadamente para el primer y segundo periodo de secado.

$$\int_0^t dt = -\frac{m_s}{A} \int_{X_1}^{X_2} \frac{dx}{W_D}$$

*Εχναχι 1: Τίεμπο δε σεχαδο*

Donde X1 y X2 son el contenido de humedad desde el tiempo cero al tiempo t respectivamente.

## **2.4. Conceptos fundamentales**

### **2.4.1. Proceso de secado**

El secado o deshidratación de alimentos es uno de los procesos de conservación de alimentos más antiguos y más empleados en las industrias actuales.

Se entiende por secado “la operación mediante la cual se elimina total o parcialmente el agua de la sustancia que la contiene”. (FITO MAUPOEI, 2001, pág. 7).

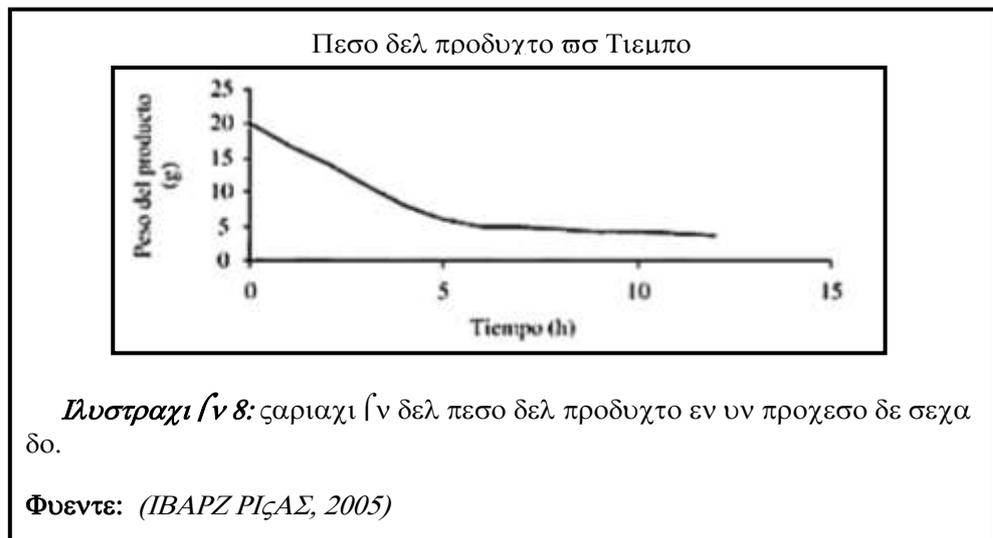
La operación de secado es una operación de transferencia de masa de contacto gas- sólido, donde la humedad contenida en el sólido se transfiere por evaporación hacia la fase gaseosa,

en base a la diferencia entre la presión de vapor ejercida por el sólido húmedo y la presión parcial de vapor de la corriente gaseosa. Cuando estas dos presiones se igualan, se dice que el sólido y el gas están en equilibrio y el proceso de secado cesa.

“La fase previa a todo secado es la eliminación mecánica de agua mediante filtros – prensa o centrífugas, reduciéndose después por vía térmica la humedad que quede. Esta última fase es propiamente dicha la operación de secado. (COSTA LOPPZ, 1998, pág. 67).

“En los procesos de secado, los datos suelen expresarse como la variación que experimenta el peso del producto que se está secando en el tiempo. Aunque a veces los datos de secado pueden expresarse en términos de velocidad de secado. (IBARZ RIVAS, 2005, pág. 587).

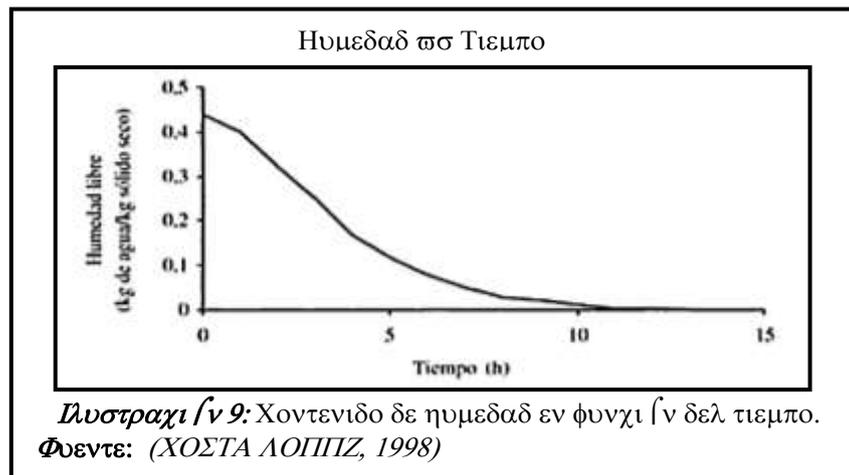
Este proceso se realiza cuando el arroz tiene un grado de humedad óptima entre un 20% o 22% RH.



#### 2.4.2. Definición del secado

El proceso de secado se define como la remoción de sustancias volátiles (a lo que llamamos humedad) de una mezcla que se encuentra en un producto sólido por medio de

calor. Esta definición excluye la concentración de una solución o una mezcla por evaporación y desecación mecánica por filtros, prensas o centrífugos. Se excluye también los métodos térmicos como la destilación o la deshidratación azetrópica de algunos líquidos orgánicos. Sin embargo esta definición toma en cuenta la variedad de equipos que se pueden utilizar.



### a. Secado de sólidos

Cuando un sólido mojado es sometido a secado térmico dos procesos ocurren simultáneamente:

c.1. Transferencia de calor para aumentar la temperatura del sólido mojado y evaporar el contenido de humedad.

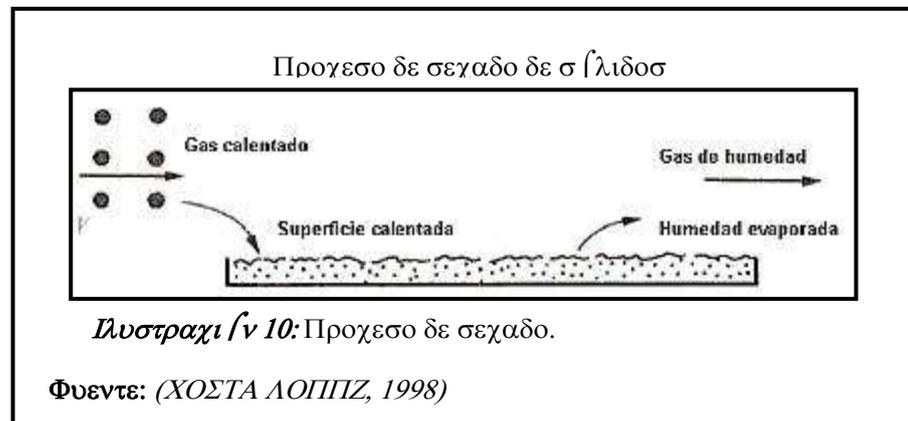
c.2. Transferencia de masa en forma de humedad interna hacia la superficie del sólido y su subsecuente evaporación.

La velocidad a la que se realiza el secado es consecuencia de la velocidad a la que estos dos procesos ocurren.

La transferencia de calor en la operación de secado ocurrirá a través del flujo de calor, como resultado de convección, conducción o radiación, y en ciertos casos como el resultado de la combinación de cualquiera de esos efectos.

La transferencia de masa en el secado de un sólido mojado dependerá de dos mecanismos; el movimiento interno de

humedad en el sólido que es una función de la naturaleza física interna del sólido y de su contenido de humedad, y del movimiento de vapor de agua de la superficie del material como resultado de condiciones externas de temperatura, humedad de aire y fluido, área de exposición y presión flotante. En una operación de secado, algunos de estos mecanismos pueden ser un factor limitante en la velocidad de secado. Con algunos materiales a cierta etapa de la operación de secado, la velocidad de movimiento de humedad en el sólido hacia la superficie puede ser un factor de control, mientras que en ciertas etapas del ciclo de secado, la velocidad de evaporación de la superficie puede ser el factor de control.



Para varios materiales con un contenido de humedad superior al 30% el líquido llena todas las microcapilaridades ( $r < 10^{-7}$  m) y la mayoría de las macrocapilaridades ( $r > 10^{-7}$  m), y esto ocurre en la superficie del material en la forma de una delgada capa de agua. En este caso, el líquido evaporado penetra –por difusión molecular- a través de la capa límite de gas hacia la base del vapor de gas donde la difusión convectiva de humedad tiene lugar.

Si el contenido de humedad es más alto que el contenido de humedad higroscópica, el vapor de agua cerca de la superficie se satura, y así la temperatura de la superficie del material (para secado convectivo) es igual a la temperatura de bulbo

húmedo. La velocidad de secado es casi constante porque la intensidad de secado es igual a la intensidad de evaporación de la superficie libre hacia el líquido (región de control capa límite).

Cuando la capa de líquido es completamente evaporada, el proceso de evaporación empieza al final de las capilaridades. Luego, la intensidad de secado puede ser mayor que la de la capa de líquido. Si el contenido de humedad es menor que la humedad higroscópica, la velocidad de secado disminuye, principalmente debido a la retención de la superficie de evaporación (región de control de difusión interna). Debido a que el efecto de enfriamiento de evaporación cesa, la temperatura de la superficie del material gradualmente aumenta casi hasta la temperatura del agente de secado.

### **2.4.3. Mecanismo de secado**

Hay dos métodos para remover la humedad:

**1) Evaporación:** Esta ocurre cuando la presión del vapor de la humedad en la superficie del sólido es igual a la presión parcial del agua en el aire. Esto se debe al aumento de la temperatura de la humedad hasta el punto de ebullición. Si el material que está siendo secado es sensible al calor, entonces la temperatura a la cual la evaporación ocurre puede ser disminuida, bajando la presión (evaporación a vacío). Si la presión disminuye más allá del punto triple, entonces la fase líquida no puede existir y la humedad en el producto es congelada.

**2) Vaporización:** El secado es llevado a cabo por convección, pasando aire caliente sobre el producto. El aire es enfriado por el producto y la humedad es transferida hacia el aire. En este caso la presión del vapor de la humedad sobre el sólido es menor que la presión parcial del agua en el aire.

## 2.4.4. Sistema fotovoltaico

### 2.4.4.1. Aprovechamiento del recurso de la radiación solar mediante la irradiancia.

La energía renovable es aquella que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, esto es por la inmensa cantidad de energía que contienen y porque son capaces de regenerarse por medio naturales. Algunas de las formas de energía renovable son:

- **Nuclear:** Esta es generada por medio de la fisión nuclear en el átomo del uranio.
- **Eólica:** Es aquella que proviene del viento.
- **Geotérmica:** Es aquella que se genera a partir del calor de la tierra.
- **Mareomotriz:** Es aquella que es a través del movimiento de las olas.
- **Hidroeléctrica:** Es aquella que se genera por medio de las caídas de agua o cascadas.
- **Fotovoltaica:** Es aquella energía que se genera por la captación de radiación solar.

Éstas son formas de energía que se originan a partir de la energía del sol, siendo ésta el resultado de un proceso de fusión nuclear que tiene lugar en su interior.

### 2.4.4.2. La irradiancia e irradiación.

(Oliva, 2010)

Para cuantificar la radiación solar se utiliza 2 magnitudes que corresponden a la potencia y a la energía de la radiación que llega a una unidad de superficie, se denomina irradiancia e irradiación y sus unidades son las siguientes.

#### 2.4.4.2.1. La irradiancia.

La irradiancia es la magnitud utilizada para describir la potencia o radiación incidente por unidad de superficie, la cual indica la intensidad de la radiación solar. La irradiancia sirve de base para la definición de magnitudes físicas similares, entre las que la irradiancia (energía emitida por unidad de superficie y por unidad de ángulo sólido) es la más utilizada.

#### 2.4.4.2.2. La irradiación.

Es más que la suma de las irradiancias en un periodo de tiempo determinado. Se mide en julios por metro cuadrado por un periodo de tiempo (J/ m<sup>2</sup> por hora, día, semana o según sea el caso).

Equivalencias que tenemos que tener en cuenta:

$$1 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2 = 10^3 \text{ W}\cdot\text{h}/\text{m}^2$$

$$1 \text{ W}\cdot\text{h} = 3,600 \text{ J}$$

$$FI = 1 - (1,2 * 10^{-4}(\beta - \beta_{opt})^2 + 3,5 * 10^{-5} * \alpha^2)$$

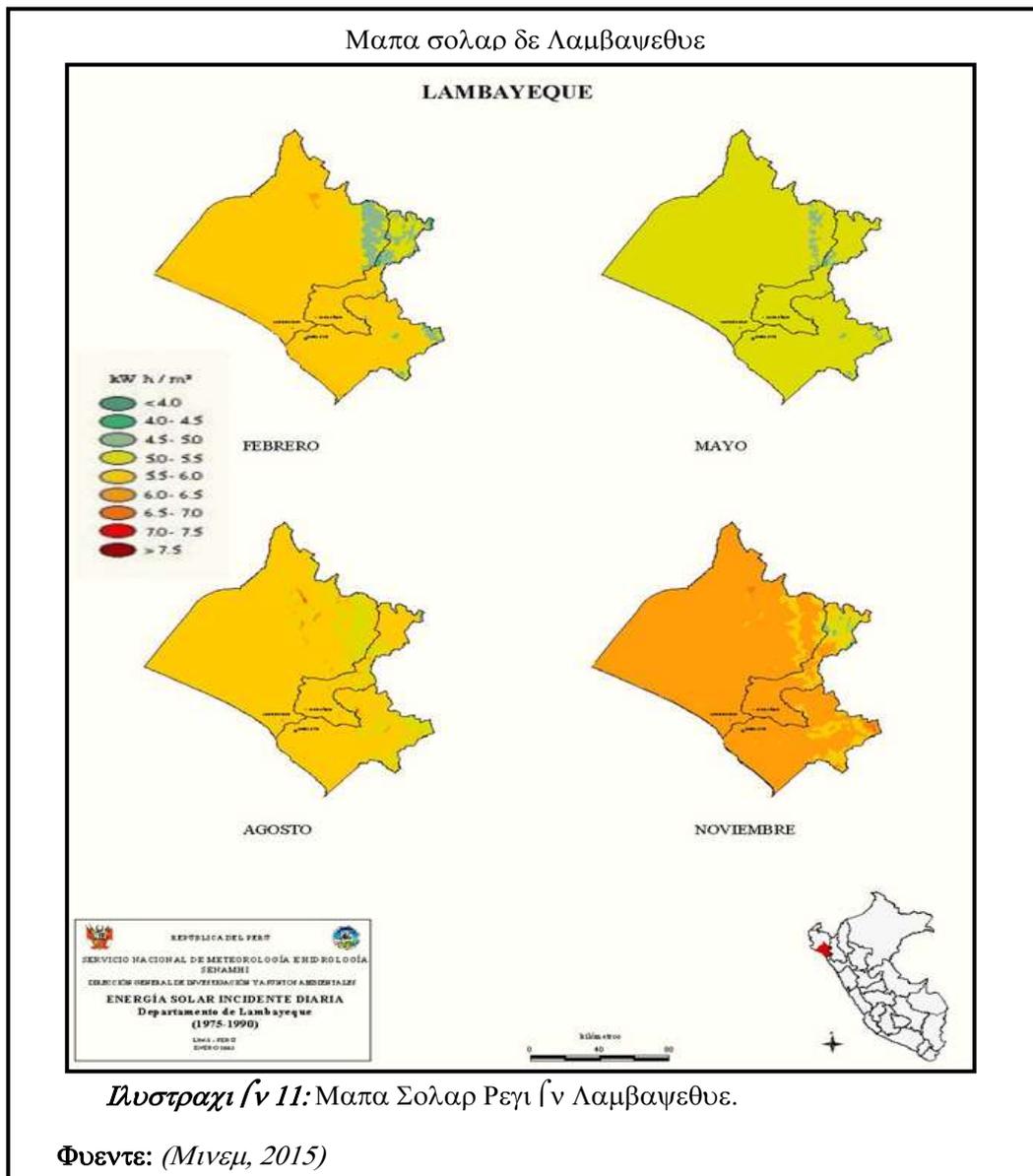
*Εχναχι 1ν 2: Φ ϱμυλα Φαχτορ δε ιρραδιαχι 1ν*

Donde:

*FI = Factor de irradiación*

*$\beta_{opt}$  = Inclinación de la superficie*

De acuerdo al mapa de energía solar incidente diaria (SENAMHI), se puede obtener la información promedio del número de horas – día, de irradiancia de cada localidad. A continuación se muestra el mapa solar de la Región Lambayeque.



**Ταβλα 4:**

*Ραδιαχι ἴν προμεδιο μενσυαλ δε λα Ρεγι ἴν Λαμβανεθυε*

Radiación promedio mensual (KWh/m <sup>2</sup> )					
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
5.4	5.4	5.2	5.0	4.6	3.9
Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
3.8	4.3	4.9	5.1	5.3	5.3

Φυεντε: (ενεργία, 2013)

Φόρμουλα για να υπολογιστεί η ένταση της παροχής.

$$I_e = \frac{P_p}{V_{dc}}$$

*Εξίσωση 3: Ένταση της παροχής*

Όπου:

$I_e$  = Ένταση της παροχής στον ρυθμιστή τάσης (Α)

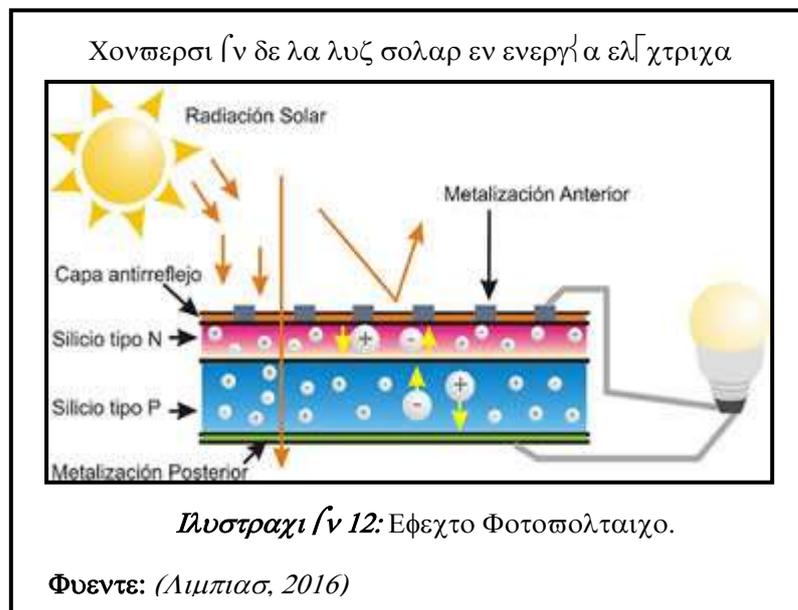
$P_p$  = Ύψος της ισχύος του πάνελ (Wp)

$V_{dc}$  = Ονομαστικό τάση 12V DC.

### 2.4.4.3. Μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική.

#### 2.4.4.3.1. Φωτοβολταϊκό φαινόμενο.

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο είναι η ιδιότητα που έχουν ορισμένα υλικά όπως είναι η κυτταρίνη της ηλιακής κυψέλης να απορροφούν φωτόνια της ηλιακής ακτινοβολίας και να εκπέμπουν ηλεκτρόνια.

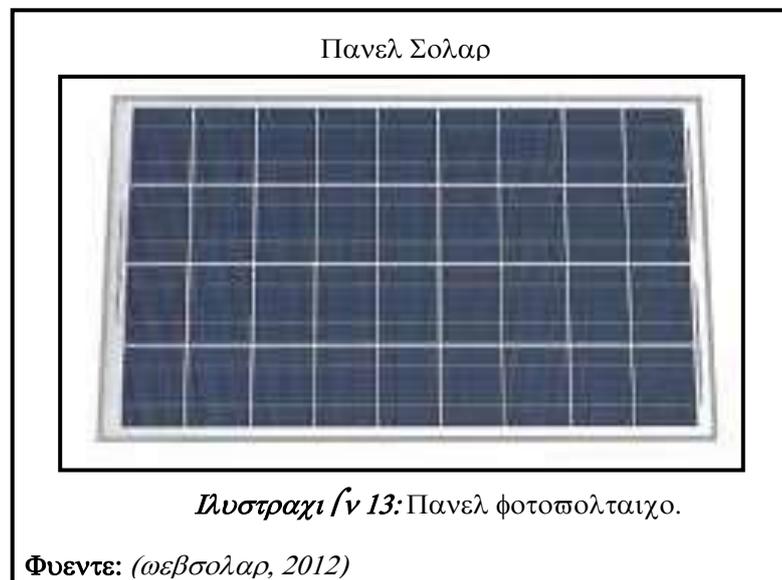


Αυτό σημαίνει ότι όταν οι ηλιακοί ακτίνες (φωτόνια της ηλιακής ακτινοβολίας) πέφτουν στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού συστήματος, το οποίο αποτελείται από δύο λεπτές πλάκες ηλιακού υλικού, P και N, χωρισμένες από έναν ημιαγωγό, όταν έρθουν σε επαφή με την επιφάνεια της πλάκας P προκαλείται μια

reacción (liberación de electrones de los átomos de silicio los cuales se encuentran en movimiento y pasan a través del semiconductor hasta la capa N) dando como resultado una diferencia de potencial con respecto a la capa N, generando una corriente eléctrica directa por lo que si a las terminales del dispositivo se les conecta una carga eléctrica, por ejemplo un foco, entonces éste se encenderá debido a la corriente eléctrica que pasa a través de él.

#### 2.4.4.4. Paneles solares fotovoltaicos.

Los módulos o paneles solares fotovoltaicos están conformados por un grupo de celdas solares de silicio interconectadas entre sí de un espesor aproximado de 100 a 500  $\mu\text{m}$  en la que se ha difundido boro (impureza trivalente tipo P) y 0,2 a 0,5  $\mu\text{m}$  de fosforo (impurezas pentavalentes, región N) las cuales se encuentran protegidas contra la intemperie, impactos y corrosión como se observa en la siguiente imagen:



#### 2.4.4.5. Inclination del módulo fotovoltaico.

Muchos de los módulos fotovoltaicos están inclinados para coleccionar mayor radiación solar. La cantidad óptima de energía se colecciona cuando el módulo está inclinado en el mismo ángulo que el ángulo de latitud, la orientación de un generador

fotovoltaico se define mediante coordenadas angulares, similares a las utilizadas para definir la posición del sol.

#### **2.4.4.5.1. Ángulo acimut ( $\alpha$ ).**

Ángulo que forma la proyección sobre el plano horizontal de la perpendicular a la superficie del generador y la dirección sur. Vale  $0^\circ$  si coincide con la orientación Sur, es positivo hacia el oeste y negativo hacia el este. Si coincide con el Este su valor es  $-90^\circ$  y si coincide con el oeste su valor es  $90^\circ$ .

#### **2.4.4.5.2. Ángulo de inclinación ( $\beta$ ).**

Ángulo que forma la superficie del panel fotovoltaico con el plano horizontal. Su valor es  $0^\circ$  si el módulo se coloca horizontal y  $90^\circ$  si se coloca el panel en forma vertical.

Una superficie recibe la mayor cantidad posible de energía si es perpendicular a la dirección del sol. Como la posición del sol varía al transcurso del día, la posición óptima de la superficie tendrá que estar dirigida hacia el sur en el caso del hemisferio Norte y hacia el norte en caso de ubicaciones en el hemisferio Sur.

Aunque una variación de hasta  $30^\circ$  en el acimut puede provocar variaciones mínimas de alrededor de 1%. Con dicha orientación ( $\delta=0$ ) la máxima captación en promedio anual se obtiene inclinando los paneles a un ángulo igual a la latitud de la región en que se instalan. Cabe señalar que en cualquier caso es más recomendable una inclinación mayor de  $10^\circ$ , para que el agua de la lluvia pueda circular adecuadamente sobre el panel además de la no retención de mucho polvo.

Los módulos deben estar inclinados en la dirección correcta, esto significa que algunas veces hay circunstancias locales que impiden la correcta colocación de los módulos. Por ejemplo los módulos deben acoplarse sobre el techo que no tiene la

inclinación adecuada y que no está mirando exactamente al sol.

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69 * |\Phi|$$

*Εχραχι ίν 4: Ξνγυλο δε ινχλιναχι ίν ίπιμα.*

Dónde:

$\beta_{opt}$  = *Ángulo de inclinación óptima (grados)*

$|\Phi|$  = *Latitud del lugar, sin signo (grados)*

#### **2.4.4.5.3. Sombras y reflejos.**

Es obvio que deben evitarse las sombras lo más posible. ¿Pero cuál es exactamente la influencia de un pequeño árbol al Este de un módulo FV?, ¿un edificio alto a 100 metros?, ¿o una pared detrás de los módulos?

Primero, uno debe considerar que la sombra puede crear problemas con puntos calientes. Suponga, que de una serie de celdas, una está en la sombra y las otras están en el sol. Las celdas que están en el sol producen corriente eléctrica que debe correr también por la celda que está en la sombra, la cual está actuando como una gran resistencia. Esta celda puede calentarse mucho por ese efecto.

En segundo lugar, cualquier sombra tiene su influencia negativa sobre el rendimiento de un sistema solar. Así que aún un árbol pequeño (además del hecho de que árboles pequeños se convierten en árboles grandes) puede tener una influencia sustancial sobre el rendimiento si está justo en el lugar equivocado. Como regla, la influencia de objetos en los alrededores puede descuidarse cuando el ángulo de la línea desde el módulo fotovoltaico hasta la cima del objeto con la horizontal es menor a 20°, así como lo muestra la siguiente figura. Entonces, la influencia de los obstáculos cercanos es

importante. Lo que también es importante es que las circunstancias locales pueden cambiar: se construye nuevos edificios, árboles y arbustos crecen, nuevas fábricas se construyen botando humo y polvo, etc. Al escoger el lugar para un sistema FV, todos estos futuros cambios deben tomarse en cuenta, obviamente si es que pueden predecirse.



$$G_{dm}(\alpha, \beta) = G_{dm}(0) * K * FI * FS$$

*Εχναχι ίν 5: Φ ίρμουλα δελ παλορ μεδιο μενσual δε ιρραδιαχι ίν*

Donde:

*$G_{dm}(\alpha, \beta)$  = Valor medio mensual de irradiación*

*sobre la superficie del generador (Wh/m<sup>2</sup>).*

*$FS = 1$  Factor de sombreado cte.*

*$FI$  = Factor de Irradiación*

*$K$  = Constante.*

#### **CÁLCULO PARA PANEL FOTOVOLTAICO:**

$$P_r = \frac{P_p * G_{cem}}{G_{dm}(\alpha, \beta) * 0,6}$$

*Εχραχι ίν 6: Ποτενχια ρεθυεριδα πορ ελ πανελ.*

Donde:

$P_r$  = *Potencia requerida por el panel (W).*

$P_p$  = *Energía consumida (W.h/día).*

$0,6$  = *Factor de rendimiento (batería, regulador e inversor).*

$G_{dm}(\alpha, \beta)$  = *Valor medio mensual de irradiación sobre la superficie del generador (Wh/m<sup>2</sup>).*

$G_{cem}$  = *Cte (irradiancia en concordancia CEM (1000 W/m<sup>2</sup>)).*

$$P_{max} = P_r * 1.2$$

*Εχραχι ίν 7: Ποτενχια μξιμα εν υν πανελ σολαρ.*

Donde:

$P_{max}$  = *Potencia máxima (Wp)*

$P_r$  = *Potencia requerida (Wp)*

#### **2.4.4.6. Batería o acumulador.**

Se denomina batería eléctrica, acumulador eléctrico o simplemente acumulador, al dispositivo que almacena energía eléctrica, usando procedimientos electroquímicos y que posteriormente la devuelve casi en su totalidad; este ciclo puede repetirse por un determinado número de veces.

El sistema de almacenamiento en un sistema fotovoltaico está conformado por una batería sellada, que almacenara la energía eléctrica generada durante las horas de radiación.

Una de las características más importantes de una batería en una instalación fotovoltaica es el ciclado. El ciclado diario se refiere a que la batería se carga en el día, debido a que las células fotovoltaicas generan electricidad en las horas de sol, el mayor problema con el que nos encontramos es almacenar la energía eléctrica para usarla en horas nocturnas o en momentos del día de baja insolación, de ahí la importancia del acumulador que se carga con la electricidad procedente de los módulos de energía solar, almacena energía eléctrica y se descarga según el consumo y se vuelve a cargar con las células fotovoltaicas.

#### **Profundidad de carga máxima.**

Se define como el tanto por ciento de la capacidad que se ha sacado de la batería al final del periodo de autonomía fijado en comparación con la capacidad nominal a plena carga. El periodo de autonomía viene a ser la cantidad de días durante los cuales la batería ha de ser capaz de abastecer el consumo del circuito de utilización, en ausencia total de generación fotovoltaica.

$$C_n = \frac{N_a \times P_r}{R \times D \times V}$$

*Εχναχι 8: Χαπαχιδαδ δε λα βατερϋα.*

Dónde:

*C<sub>n</sub> = Capacidad de la batería (Wh)*

*N<sub>a</sub> = Días de autonomía = Este es un valor determinado*

*por el diseñador, normalmente se estima dos(2) días de*

*autonomía porque se encuentra ubicado en la parte norte del Perú.*

$P_r = \text{Potencia requerida (W)}$

$R = \text{Eficiencia de la batería} = 80\%$

$D = \text{Descarga de la batería} = 50\%$

$V = \text{Voltaje de trabajo del sistema} = 12V.$

Cálculo del consumo medio diario (Ah)

$$Q_d = \frac{w_d}{U_n}$$

*Εχρησιζόμαστε: Χορηγούμενο μέσο διαρροή.*

Donde:

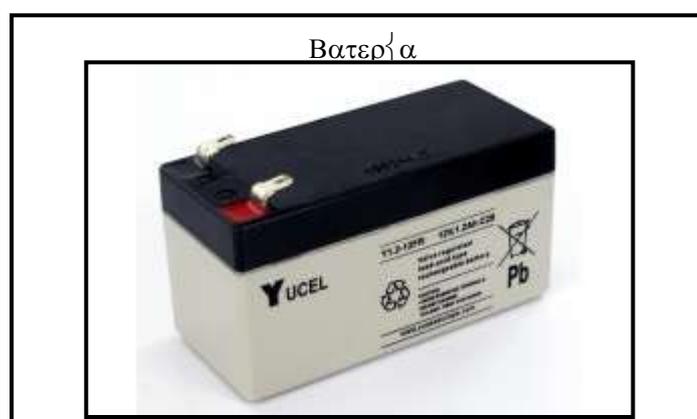
$Q_d = \text{Consumo medio diario (Ah/día)}.$

$w_d = \text{Tensión nominal del sistema de acumulación (V)}.$

$U_n = \text{Energía media diaria (Wh/día)}.$

Como en todo dimensionamiento de circuitos eléctricos debemos de partir de la previsión de cargas o inventario de los consumos eléctricos previstos para el sistema fotovoltaico. Para el correcto dimensionamiento de la batería es suficiente con el resumen del inventario de consumos: Potencia (P) y la energía media diaria (Wd), tensión nominal de la batería de acumuladores (Un), autonomía (A) y rendimiento de la batería, regulador e inversor.

Las baterías a seleccionar para nuestro diseño serían las Baterías Selladas que están hechas con válvulas de aireación que (normalmente) no pueden ser removidas.



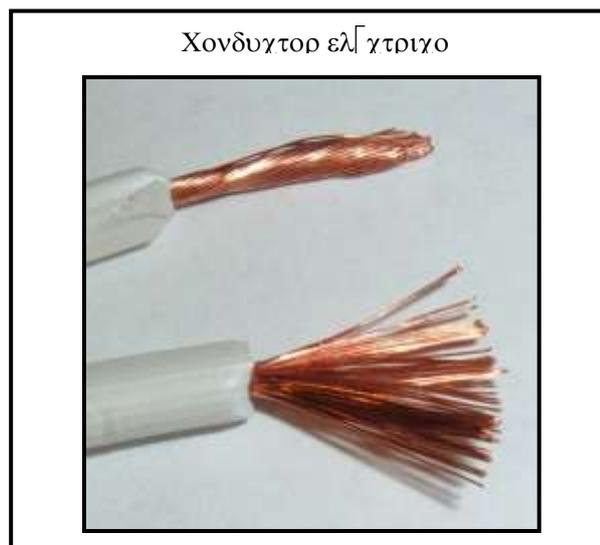
*Εκπαιδευτική Έκδοση: Βατερύα σελλαδα.*

*Φυεντε: (Βατεριασ, 2016)*

#### **2.4.4.7. Conductor eléctrico.**

Un conductor eléctrico es un material que ofrece poca resistencia al movimiento de carga eléctrica. Son materiales cuya resistencia al paso de la electricidad es muy baja. Los mejores conductores eléctricos son metales, como el cobre, el oro, el hierro y el aluminio, y sus aleaciones, aunque existen otros materiales no metálicos que también poseen la propiedad de conducir la electricidad, como el grafito o las disoluciones y soluciones salinas (por ejemplo, el agua de mar).

Para el transporte de energía eléctrica, así como para cualquier instalación de uso doméstico o industrial, el mejor conductor es la plata, pero debido a su elevado precio, los materiales empleados habitualmente son el cobre (en forma de cables de uno o varios hilos), o el aluminio; metal que si bien tiene una conductividad eléctrica del orden del 60% de la del cobre, es sin embargo un material tres veces más ligero, por lo que su empleo está más indicado en líneas aéreas de transmisión de energía eléctrica en las redes de alta tensión.



*Πυσπραχι ρν 16: Χονδυχοτορ ελ[χοτρι  
χο.*

*Φυεντε: (Ωικιπεδια, 2016).*

A continuación se presenta un cuadro los diferentes tipos de cables se dan en el estándar norteamericano American (AWG). El cuadro presentado en el capítulo anterior da el tipo de cable por su diámetro (en mm<sup>2</sup>).

**Ταβλα 5:**

*Αμπαχιδαδ ψ ρεσιστενχια δε χονδυχοτορεσ δε χοβρε (ΑΩΓ).*

<b>CALIBRE [AWG]</b>	<b>AMPACIDAD [A]</b>	<b>Ω/1000m [Ohm]</b>	<b>Ω/1000ft [Ohm]</b>
16	6	14.7277	4.489
14	15	9.2618	2.823
12	20	5.8235	1.775
10	25	3.6647	1.117
8	35	2.3041	0.7023
6	50	1.4488	0.4416
5	55	1.149	0.3502
4	70	0.9114	0.2778
3	80	0.7228	0.2203
2	90	0.5732	0.1747
1	100	0.4544	0.1385

*Φυεντε: (Ινδεχο, Νεξαν, 2012)*

El dimensionamiento del cableado se realizará en función a la forma como están distribuidas las cargas y la ubicación de los equipos, tratando de encontrar la ruta más corta para reducir las perdidas por longitud del cableado.

### **CÁLCULO DEL CABLE DE CONDUCCIÓN ELECTRICA:**

El cable que conduce la corriente eléctrica en CC desde el generador fotovoltaico hasta el controlador se calcula con las siguientes expresiones:

## A.- Selección del cable del Panel - Controlador.

En la siguiente tabla se indican los porcentajes de caída de tensión máximas y recomendadas para cada tramo en una instalación fotovoltaica:

### Ταβλα 6:

Ταβλα πορκενταφες δε χαλδα δε τενσι (V).

Porcentajes de caída de tensión (%)		
Tramo	Máxima	Recomendada
Paneles - Regulador	3%	1%

Φυεντε: (Ιγγεμεχανιχα, 2012)

Para el cálculo de la sección (S) de conductores en corriente continua, como es este el caso de las instalaciones fotovoltaicas, se empleara la siguiente fórmula:

$$S = \frac{2 \times L \times I}{\Delta V \times K}$$

*Εχναχι (V) 10:* Εχναχι (V) δε λα σεχχι (V) δελ χονδυχοτορ

*S = Sección del conductor del cable en CD, en mm<sup>2</sup>*

*L = Longitud del tramo del conductor, en m.*

*I = Intensidad de corriente que circula por el conductor, en Amp.*

*ΔV = Caída de tensión máxima, en voltios.*

*K = Es la conductividad del conductor (56 cu), en m/Ω \* mm<sup>2</sup>.*

## **2.4.5. Sistemas de Control Automatizado**

### **2.4.5.1. Definición**

Es el conjunto de componentes físicos conectados o relacionados entre sí, de manera que regulen o dirijan su actuación por sí mismos, es decir, sin intervención de agentes exteriores, corrigiendo además los posibles errores que se presenten en su funcionamiento. Sus aplicaciones son innumerables (en los hogares, procesos industriales y otros), y tienen especial repercusión en el campo científico (misiones espaciales) y en avances tecnológicos. (Uriarte, 2013)

### **2.4.5.2. Características**

(Robótica, 2012)

- 1) Señal de Corriente de Entrada: Fuente de energía externa con el propósito de que el sistema produzca una respuesta específica.
- 2) Señal de Corriente de Salida: Respuesta obtenida por el sistema que puede o no relacionarse con la respuesta que implicaba la entrada.
- 3) Variable Manipulada: Es el elemento al cual se le modifica su magnitud, para lograr la respuesta deseada.
- 4) Variable Controlada: Es el elemento que se desea controlar. Se puede decir que es la salida del proceso.
- 5) Conversión: Mediante receptores se generan las variaciones o cambios que se producen en la variable.
- 6) Variaciones Externas: Son los factores que influyen en la acción de producir un cambio de orden correctivo.

7) Fuente de Energía: Es la que entrega la energía necesaria para generar cualquier tipo de actividad dentro del sistema.

### **2.4.5.3. Ventajas y Desventajas**

#### **Ventajas**

- a) Se obtiene una reducción de costos, puesto que se racionaliza el trabajo, se reduce el tiempo y dinero dedicado al mantenimiento.
- b) Existe una reducción en los tiempos de procesamiento de información.
- c) Uso eficiente de la energía y la materia prima
- d) Aumento en la seguridad de las instalaciones

#### **Desventajas**

- a) Gran capital.
- b) Algún error en la configuración y el sistema falla.
- c) Incremento en la dependencia del mantenimiento y reparación.

### **2.4.5.4. Tipos de Sistemas de Control**

#### **Sistemas Manuales**

(Técnica, 2011)

La acción del hombre es, entonces, la que actúa siempre sobre el sistema, para producir cambios en el funcionamiento. Encontramos sistemas de control manuales, por ejemplo, en:

- a) El frenado de un auto.
- b) El encendido y el apagado de las luces en una habitación.
- c) La operación de la hornalla de gas de una cocina.
- d) El control del agua de una canilla.

#### **Sistemas Automáticos**

El sistema opera por sí solo, efectuando los cambios necesarios durante su funcionamiento. Así, se reemplaza el operador humano por dispositivos tecnológicos que operan sobre el sistema. Encontramos sistemas automáticos de control en, por ejemplo:

- a) Alumbrado público.
- b) Piloto automático de un avión.
- c) Equipos de aire acondicionado.

## I. Arduino

(Ballestos, 2013)

Arduino es una placa electrónica que contiene un microcontrolador y su objetivo se basa en pequeños proyectos, para aficionados y amantes de la electrónica en general. Su principal característica es la facilidad con la que se programa, a diferencia de las demás placas con microcontroladores del mercado que su programación es más laboriosa, además arduino es una empresa basada en software y hardware libre con la ventaja que se puede utilizar en cualquier ambiente y proyecto.

Las placas de arduino se pueden utilizar de diferentes maneras, ya sean alimentadas a través de USB por medio del ordenador o con una pequeña batería sin necesidad de conectarse con el ordenador. Arduino se programa a través de un programa gratis que se descarga a través de la página web de Arduino, y a través de este se transfiere el programa gratis que se escriba desde el ordenador a la placa, estos programas utilizan un lenguaje de programación propio de Arduino basado en Wiring.

Arduino puede tomar información del entorno a través de sus pines de entrada de toda una gama de sensores y puede interactuar con aquello que le rodea controlando luces, motores, sensor de temperatura, sensor de humedad, ventiladores y otros actuadores.

### **Programación Arduino**

Según los investigadores (Torroja, 2010) Arduino se programa en el lenguaje de alto nivel C/C++ y generalmente tiene los siguientes componentes para elaborar el algoritmo:

1. Estructuras

2. Variables
3. Operadores matemáticos, lógicos y booleanos.
4. Estructuras de control (condicionales y ciclos)
5. Funciones

Πανταλλα πρινιπαλ δελ προγραμμα αρδουινο

```

sec33 Arduino 1.6.9
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
sec33
#include <PID_v1.h> //INCLUIMOS LA LIBRERIA DEL PID
#include <LiquidCrystal.h> //INCLUIMOS LA LIBRERIA DE LA LCD
#include <DHT22.h> //INCLUIMOS LA LIBRERIA DE SENSOR DHT22
#define DHT22_PIN 8 //DEFINIMOS EL PIN DE CONEXION DEL SENSOR AL ARDUINO
DHT22 myDHT22(DHT22_PIN); //DECLARAMOS QUE VAMOS A USAR UN SENSOR DHT22
LiquidCrystal lcd(A5,A4,A3,A2,A1,A0); //DECLARAMOS PINES DE CONEXION DE LA LCD
#define PIN_OUTPUT 3 //DEFNIMOS UN PIN DE SALIDA AL VENTILADOR
double Setpoint, Input,Input2,Output; //TEMPERATURA DE TRABAJO DE LA SECADORA
double Kp=40, Ki=0, Kd=0;
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT);
int a=1;
void setup(void)
{
  pinMode(6,OUTPUT);
  pinMode(12,INPUT); //PULSADOR
  pinMode(11,INPUT); //PULSADOR
  pinMode(10,INPUT); //PULSADOR
  pinMode(9,INPUT); //PULSADOR

  lcd.begin(16,2); //ESTAMOS UTILIZANDO UNA LCD DE 16 X2
  Setpoint = 25; //EMPIZA A TEMP 25° APROX LA TEMP AMBIENTE
  Input=Setpoint; //DICLARAMOS EL COMO ENTRADA AL SET POINT QUE ES LA TEMP DE TRABAJO
  myPID.SetOutputLimits(-255,0); // EL LIMITE DEL PID ES HASTA DE 255 VELOCIDAD MAXIMA DEL VENTILADOR
  myPID.SetMode(AUTOMATIC); //LO A HACER AUTOMATICAMENTE
}

void loop(void)

```

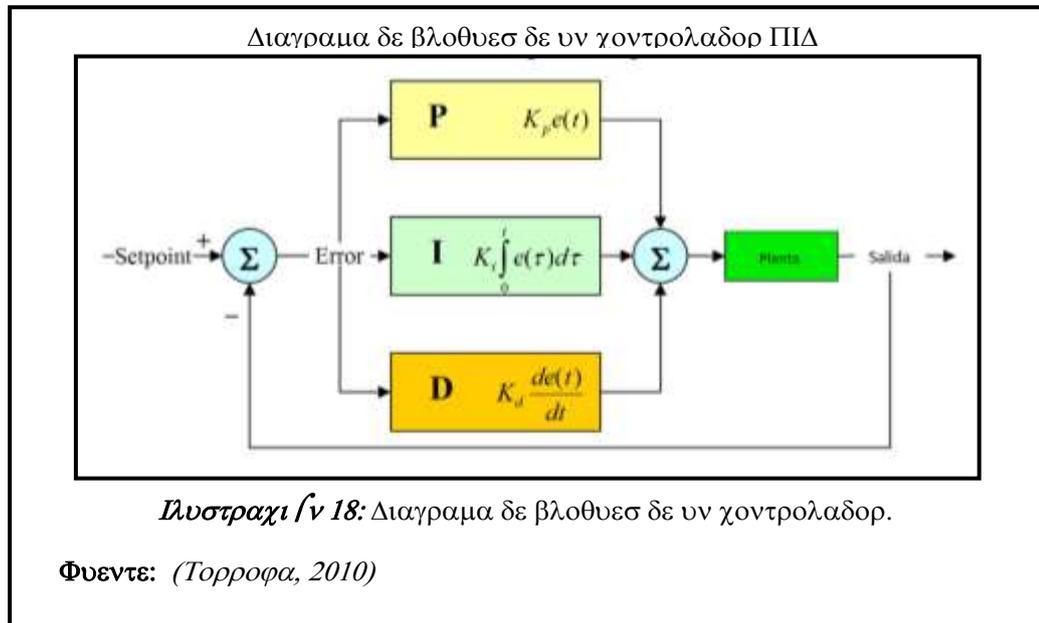
*Ilustraci 17: Πανταλλα δελ προγραμμα Αρδουινο.*

**Φυεντε:** (Τορροφα, 2010)

## Algoritmo de control utilizado en el arduino

### Algoritmo de control PID

**¿Qué es un controlador PID?** Un controlador PID (Proporcional, integral, derivado) es un mecanismo de control retroalimentado en bucle cerrado ampliamente utilizado en sistemas de control industrial. Un PID calcula el error como la diferencia entre el valor actual del sistema y un valor de referencia objetivo.



En el cálculo del controlador PID intervienen tres parámetros, los cuales pueden ser interpretados en función del tiempo. La parte *proporcional* P depende del error actual, la parte *integral* I depende de la suma de todos los errores pasados y la parte *derivada* D es la predicción de los tres términos permiten ajustar un proceso mediante un elemento de control como por ejemplo la temperatura que debe de alcanzar el secador.

$$U = P + I + D$$

Mediante el ajuste de estas tres constantes del algoritmo de control PID, el controlador es capaz de proporcionar acciones de control específicas a los requerimientos de un sistema. La efectividad del controlador se puede medir con tres parámetros. El ajuste de estos parámetros se logra mediante el análisis del sistema

### **Término proporcional**

El término proporcional modifica la salida proporcionalmente con el error actual. La respuesta proporcional se puede ajustar multiplicando el error por una constante  $K_P$ , conocida como ganancia proporcional.

$$P = K_p e_t$$

Siendo “e” el error en un instante de tiempo, cuanto mayor sea este error más rápida será la respuesta y viceversa.

Un controlador proporcional no siempre alcanzará su valor objetivo, ya que no se eliminará el error de estado estacionario. Para eliminarlo hay que emplear el termino integral.

## Tipos de Arduino

### a. Arduino Nano

(Hacedores, tipos de arduino, 2014)

El Arduino Nano es una pequeña y completa placa basada en el ATmega328 (Arduino Nano 3.0) o el ATmega168 en sus versiones anteriores (Arduino Nano 2.x) que se usa conectándola a una protoboard. No posee conector para alimentación externa, y funciona con un cable USB Mini-B.

#### Ταβλα 7:

Χαρακτηριστικασ δελ Αρδουνο Νανο.

Microcontrolador	Atmel ATmega328 (ATmga 168 versiones anteriores)
Tensión de operación (nivel lógico)	5 V
Tensión de entrada (recomendado)	7-12 V
Tensión de entrada (limites)	6-20 V
Pines E/S digitales	14 (de los cuales 6 proveen de salida PWM)
Entradas analógicas	8 corriente máx. por cada PIN de E/S 40 mA
Memoria flash	32 KB (ATmega 328) de los cuales 2KB son usados por bootloader (16 KB – ATmega168)
SRAM	2KB (ATmega328) (1 KB ATmega168)
EEPROM	1 KB (ATmega328) (512 bytes – Atmega168)
Frecuencia de reloj	16 MHz
Dimensiones	18.5 mm x 43.2 mm

Φυεντε: (Ηαχεδορες, τιποσ δε αρδυινο, 2014)



## II. Sensor de temperatura y humedad

### Función del Sensor

(Vignoni, 2010)

Sensores y actuadores son ejemplos de transductores. Un transductor es un dispositivo que convierte energía de tipo calórica, lumínica, acústica, presión, movimiento, caudal, etc. a otra generalmente eléctrica para poder medirla y eventualmente controlarla en forma relativamente fácil.

### Sensor de Temperatura y humedad DHT22

(SCI, 2010)

El DHT22 Sensor digital de temperatura y humedad. Utiliza un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos (no hay pines de entrada analógica). Es bastante simple de usar, pero requiere sincronización cuidadosa para tomar datos. El único inconveniente de este sensor es que sólo se puede obtener nuevos datos una vez cada 2 segundos, así que las

lecturas que se pueden realizar serán mínimo cada 2 segundos.



**Ταβλα 8:**  
Χαρακτηρίστικασ δελ Σενσορ ΔΗΤ22.

<b>Alimentación</b>	<b>3.3Vdc ≤ Vcc ≤ 6Vdc</b>
Rango de medición de temperatura	-40°C a 80 °C
Precisión de medición de temperatura	<±0.5 °C
Resolución Temperatura	0.1°C
Rango de medición de humedad	De 0 a 100% RH
Precisión de medición de humedad	2% RH
Resolución Humedad	0.1%RH
Tiempo de sensado	2s

**Φυεντε:** (Ρδνινοςταρ, 2013)

### III. Pantalla LCD 16x2

(scribd, 2012)

La pantalla de cristal líquido o LCD (Liquido Cristal Display) es un dispositivo Controlado de visualización gráfico para la presentación de caracteres, símbolos o incluso dibujos (en algunos modelos), es este caso dispone de 2 filas de 16 caracteres cada una y cada carácter dispone de una matriz

de 5x7 puntos (píxeles), aunque los hay de otro número de filas y caracteres. Este dispositivo está gobernado internamente por un microcontrolador y regula todos los parámetros de presentación, este modelo es el más comúnmente usado y esta información se basará en el manejo de este u otro LCD compatible.



*Ενστυραχι /ν 21: Πανταλλα ΛΧΔ 16Ξ2.*

*Φυεντε: (σχοιβδ, 2012)*

**Ταβλα 9:**

Χαρακτηρίστικασ δε λα πανταλλα ΛΧΔ. Φυεντε: (σχοιβδ, 2012)

PIN	SIMBOLO	DESCRIPCIÓN
1	VSS	Tierra de alimentación
2	VDD	Alimentación de +5 a Vcc
3	VO	Ajuste de contraste del cristal líquido(0 a +5V)
4	RS	Selección del registro control/datos RS=0 reg. Control RS=1 reg. Datos
5	R/W	Lectura/escritura en LCD R/W=0 escritura (write) R/W=1 lectura (read)
6	E	Habilitación E=0 módulo desconectado E=1 modulo conectado
7	D0	Bits menos significativo (bus de datos bidireccional)
8	D1	
9	D2	
10	D3	
11	D4	
12	D5	
13	D6	
14	D7	Bits más significativo (bus de datos bidireccional)
15	A	Alimentación del backlight +3.5v o +5v (según

*Φυεντε: (σχετιβδ, 2012)*

#### IV. Pulsadores de dos pines

##### Definición

Los pulsadores son un elemento que permite el paso a la interrupción de la corriente mientras es accionado. Cuando ya no se actúa sobre el vuelve a su posición en reposo.



##### Descripción:

Consta del botón pulsador; una lámina conductora que establece contacto con los dos terminales al oprimir el botón, y un muelle que hace recobrar a la lámina su posición primitiva al cesar la presión sobre el botón pulsador.

##### Funcionamiento:

(ERMEC, 2013)

El botón de un dispositivo electrónico funciona por lo general como un interruptor eléctrico, es decir en su interior tiene dos contactos, al ser pulsado uno, se activará la función inversa de la que en ese momento este realizando,

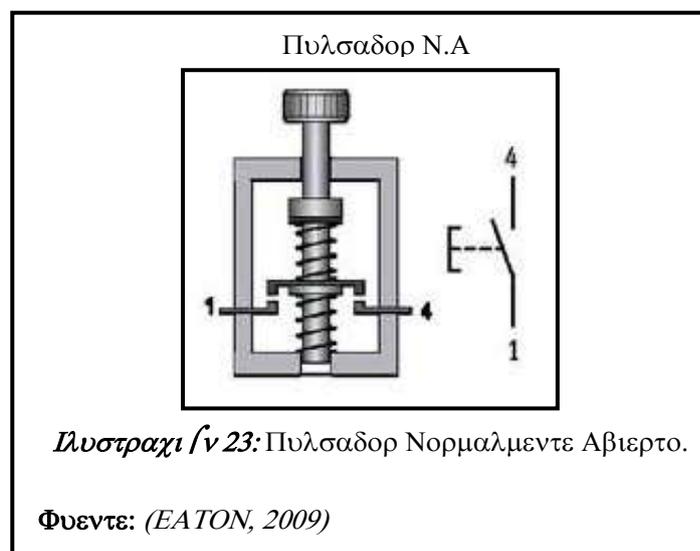
si es un dispositivo NA (normalmente abierto) será cerrado, si es un dispositivo NC (normalmente cerrado) será abierto.

### Características del Pulsador

#### a. Pulsador Normalmente Abierto

Cuando el contacto es normalmente abierto significa que en estado de reposo ese contacto se encuentra abierto, lo que significa que entre los dos puntos del contacto no hay continuidad.

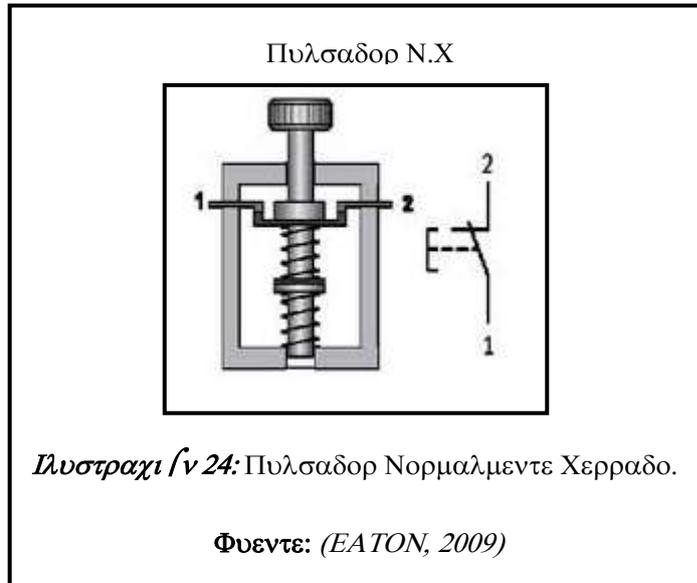
(EATON, 2009)



#### b. Pulsador Normalmente Cerrado

En el caso del contacto normalmente cerrado es justo lo contrario, en reposo el contacto está cerrado teniendo continuidad entre los dos puntos del contacto.

(EATON, 2009)



**Tipos de pulsadores:**

**A) Pulsadores tipo basculante**

Un interruptor basculante es un tipo de interruptor que desconecta y reconecta el circuito eléctrico oscilando en una dirección para romper el circuito y a la otra dirección para reconectarlo. Los interruptores basculantes son extremadamente comunes y pueden encontrarse en muchos tipos de dispositivos, desde consola de videojuegos hasta instrumentos médicos.



**B) Pulsador tipo timbre**

El pulsador tipo timbre consiste en un circuito eléctrico compuesto por un generador, un interruptor y un electroimán. La armadura del electroimán está unida a una pieza metálica llamada martillo, que puede golpear una campana pequeña.



### C) Pulsador tipo circular

Se usa para las máquinas de dardos fabricadas por Bifuca Presas y modelos similares, se puede adaptar a cualquier máquina que necesite un pulsador con dos o tres contactos.



## V. Resistencias

También llamados resistores, son componentes electrónicos que tienen la propiedad de presentar oposición al paso de la corriente eléctrica. La unidad en la que mide esta característica es el Ohmio y se representa con la letra griega Omega ( $\Omega$ ).

El símbolo de un resistor es:



Las características más importantes de las resistencias, también llamadas resistores, son:

Valor nominal: Es el valor en Ohms que posee. Este valor puede venir impreso o en código de colores.

Tolerancia: Es el error máximo con el que se fabrica la resistencia. Esta tolerancia puede ser de  $\pm 5\%$  y  $\pm 10\%$ , por lo general.

## VI. Ventilador de pc

(fácil, 2013)

Se utiliza el ventilador para asistir a un intercambiador de calor con funciones de disipador o de radiador, con el fin de aumentar la transferencia de calor entre sólido y aire o entre fluidos que interactúan. Un ejemplo de esto son los evaporadores y condensadores en los sistemas de refrigeración por aire, en los que un ventilador mejora la eficiencia de la transmisión entre el refrigerante y el aire ambiente. Otro ejemplo muy actual, son los conocidos como coolers de las computadoras. Los equipos de acondicionamiento de aire conocidos como Unidades de tratamiento del aire, disponen de uno o dos ventiladores centrífugos para hacer circular el aire a través de la unidad y de la red de conductos que distribuye el aire tratado en una edificación o en un proceso industrial.

Ταβλα 10:

*Ινφορμαχι ίν τεχνιχα δελ πεντιλαδορ.*

---

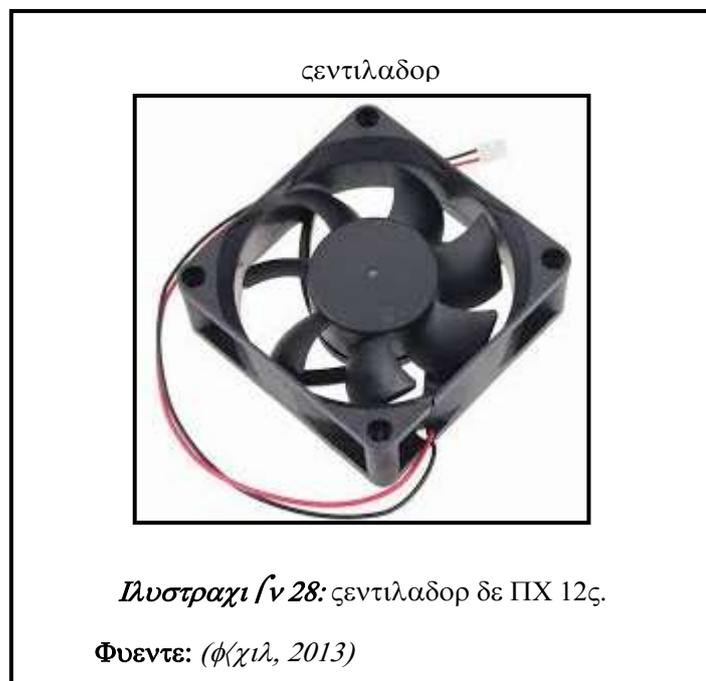
### INFORMACIÓN TÉCNICA

---

Tensión de voltaje	12V DC
Corriente de entrada (máx.)	0.18A
Flujo de aire (máx.)	31 pie <sup>3</sup> /min; 0,8778 m <sup>3</sup> /min
Velocidad del ventilador	2300 rpm
Nivel de ruido (máx.)	29 DBA
Temperatura de funcionamiento	-10°C a 70°C
Dimensiones	80 x 80 x 25mm

---

*Φυεντε:* (φ(χιλ, 2013)

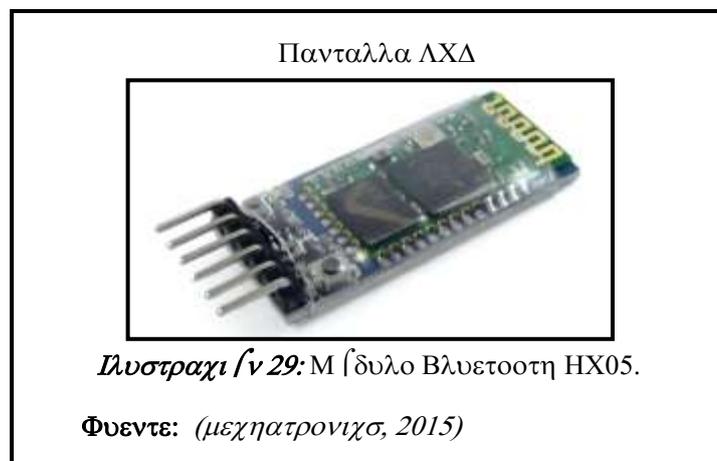


### VII. Módulo Bluetooth HC05

(Naylamp M. , 2015)

Este módulo bluetooth nos permite realizar un enlace inalámbrico entre la PC y nuestro proyecto, con la facilidad de operación de un puerto serial. La transmisión se realiza totalmente en forma transparente, por lo que se conecta en forma directa a los pines seriales de nuestro microcontrolador preferido (respetando los niveles de tensión, ya que el módulo se alimenta con 3.3V). Todos los parámetros del módulo se configuran con comandos

AT. Este módulo es el complemento ideal para nuestros proyectos de robótica, domótica y control remoto con Arduino, PIC, STM32, etc. Se incluye la placa de adaptación DIP, para acceder de forma más sencilla a los pines del módulo. La placa también incluye un regulador de 3.3V, lo que permite alimentar el conjunto con una tensión continua en el rango 3.6V - 6V.



**Ταβλα 11:**

*Εσπεηιφιηαηιονεσ ΤΓηνιηασ δελ Μόδουλο Βλυετοοτη ΗΧ05.*

<b>Especificaciones Técnicas</b>	
Voltaje de Operación:	3.6VDC -6VDC
Consumo Corriente:	50mA
Interface:	Serial TTL
Protocolo Bluetooth:	Bluetooth Specification v2.0+EDR
Frecuencia:	Banda ISM 2.4GHz
Modulación:	GFSK(Gaussian Frequency Shift Keying)
Potencia de transmisión:	4dBm, Class 2
Sensibilidad:	-84dBm a 0.1% BER
Velocidad:	1Mbps
Seguridad:	Autenticación y encriptación
Perfil:	Bluetooth serial port

Temperatura de trabajo:	-20C a +75C
-------------------------	-------------

Φυεντε: (μεχηατρονιχσ, 2015)

### VIII. Aislante térmico

(volcan, 2015)

La lana de vidrio es un material aislante térmico y acústico utilizado en la construcción y en la industria. Se fabrica fundiendo arena a altas temperaturas, y luego mediante un proceso de fibrado se obtiene un producto de óptimas propiedades para aislamiento térmico acústico.

Debido a la gran cantidad de beneficios que brinda la lana de vidrio en la ingeniería y arquitectura, su comercialización ha aumentado considerablemente. El material posee una muy buena relación entre resistencia térmica y precio.

Su estructura está conformada por largas y finas fibras de vidrio ligadas con una resina térmicamente fraguada para formar una frazada aislante, de peso liviano y flexible. Las frazadas son de 12 o 30 metros de largo por 1.2m de ancho, y están disponibles en tres grosores 30, 50 y 75 mm. Normalmente vienen armadas con papel kraft, polietileno o foil de aluminio para refractar los rayos solares.

Ταβλα 12:

*Ινφορμαχι ίν τχνιχα δε λα λανα δε πιδριο.*

<b>Especificaciones Técnicas</b>	
Atributo	Detalle
Características	Aislante térmico y acústico
Marca	Aislanglass
Unidades	1 paquete
Medidas	1.2 x 12 m

Rendimiento	14.4 m2
Espesor	50mm
Material	Fibra de vidrio

Φυεντε: (πολχαν, 2015)



### IX. Motor DC caja reductora

Este motor DC posee una caja reductora integrada que le permite entregar un buen torque en un pequeño tamaño y bajo voltaje. La carcasa del motor es de plástico resistente, no toxico y de color amarillo



**Ταβλα 13:***Εσπεχιφιχαχιονες τριχνιχασ δελ μοτορεδυχτορ.*

<b>VOLTAJE DE OPERACIÓN</b>	<b>Parámetros</b>	<b>DC 3V</b>	<b>DC 5V</b>	<b>DC 6V</b>
<b>PARÁMETROS DE LA CAJA REDUCTORA</b>	Reducción		48:1	
	Velocidad sin carga	125 RPM	200 RPM	230 RPM
	Velocidad con carga	95 RPM	152 RPM	175 RPM
	Torque de salida	0.8 kg.cm	1.0 kg.cm	1.1 kg.cm
	Corriente	110mA	120mA	130mA
	Dimensiones	70mm x 22mm x 18 mm		
	Peso	50 g		
	Ruido	<65dB		

*Φυεντε:* (σηοπ, 2011)**X. Correa Dentada GT2**

La correa dentada GT2 es especial para aplicaciones de movimiento lineal como impresión 3D y sistemas CNC. Trabaja mejor que las correas T5 o T2.5 pues la forma redondeada de su diente evita que haya deslizamiento. El movimiento es suave y preciso,



*Ιλυστραχι fν 32: Χορρεα δενταδα ΓΤ2.*

*Φυεντε: (μεχηατρονιχσ, 2015)*

**Ταβλα 14:**

*Εσπεχιφιχαχιονεσ τ[χνιχασ δε λα χορρεα δενταδα*

<b>Tipo</b>	<b>GT2</b>
Paso	2mm
Ancho	6mm
Altura	1.52mm
Altura diente	0.76mm
Material	Caucho con fibra de vidrio en el núcleo
Color	negro

*Φυεντε: (μεχηατρονιχσ, 2015)*

**XI. Polea dentada GT2-20T-5**

Estas poleas son especiales para aplicaciones de movimiento lineal como el que se utiliza en las impresoras 3D y los sistemas CNC. Con estas poleas se obtiene una buena precisión en el movimiento, sin el inconveniente del juego. Este modelo en especial es el recomendado para las impresoras 3D, su uso ha sido verificado por miles de usuarios alrededor del mundo. Estas poleas están diseñadas para trabajar con motores paso a paso Nema14 o Nema17 con un diámetro de eje de 5mm.



*Ελυστραχι 33: Πολέα δενταδα ΓΤ2.*

*Φυεντε: (Ναυλαμπ, 2015)*

**Ταβλα 15:**

Εσπεχιφιχαχιονες τ' χνιχασ δε λα πολέα ΓΤ2.

<b>Material</b>	<b>Aluminio</b>
Eje interno	5mm
Especial para correa dentada GT2, grosor	6mm
Dientes	20
Flange	Doble
Paso del diente	2mm
Doble Tornillo prisionero Allen M3 para ajuste de eje	

*Φυεντε: (μεχηατρονιχσ, 2015)*

#### **2.4.6. Tipos y diseño de secadoras**

##### **A) Tipos de secadoras**

##### **1. Tipos de circulación**

El aire circula dentro del secador con el fin de eliminar la humedad evaporada del producto. Esta circulación se logra por dos métodos: circulación forzada y por convección natural.

##### **1.1. Circulación forzada:**

El aire es movido por un ventilador que consume energía mecánica o eléctrica. Este tipo de circulación facilita el diseño en el caso de los equipos de tamaño grande, además de facilitar el control del proceso de secado. Usando este tipo de circulación se pueden obtener velocidades de circulación de aire entre 0.5 y 1 m/s. La principal desventaja de la circulación forzada es el hecho de que se debe disponer de una fuente de energía eléctrica.

##### **1.2. Circulación por convección natural:**

El aire es movido por las diferencias de temperatura entre las distintas partes del equipo, que promueven la convección térmica del aire. Este tipo de circulación se hace más difícil de incorporar con equipos grandes. Para equipos pequeños o medianos se pueden lograr velocidades de aire de 0.4 a 1 m/s al interior de la cámara, pero en equipos grandes esta velocidad no sobrepasa los 0.1 a 0.3 m/s.

## **2. Tipos de Secadores Solares:**

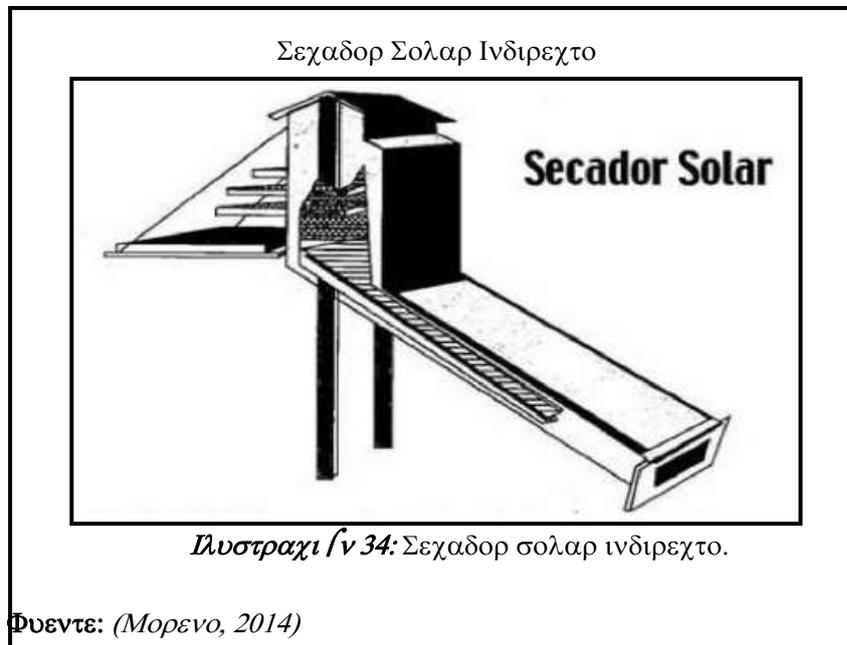
### **2.1. Indirecto:**

El colector y la cámara de secado están separados. El aire es calentado en el colector y la radiación no incide sobre el producto colocado en la cámara de secado. La cámara de secado no permite la entrada de la radiación solar. Este secador es esencialmente un secador convectivo convencional sobre el cual el sol actúa como fuente energética. Los secadores directos difieren de los indirectos en la transmisión de calor y la separación de vapor. A continuación se dan varias características de operación que definen a este tipo de secadores.

- Los secadores indirectos que utilizan fluidos de condensación como medio de calentamiento son, en general, económicos desde el punto de vista del consumo de calor, ya que suministran calor sólo de acuerdo con la demanda hecha por el material que se está secando.
- El calor se transfiere al material húmedo por conducción a través de una pared de retención de sólidos, casi siempre de naturaleza metálica.
- Las temperaturas de superficie pueden variar desde niveles inferiores al de congelación, hasta mayores de 550°C, en el caso de secadores indirectos calentados por medio de productos de combustión.
- Su funcionamiento se caracteriza por algún método de agitación para aumentar el contacto entre el material húmedo y la superficie metálica caliente, así como para efectuar un cambio continuo de material húmedo en la superficie caliente. La naturaleza de dicho contacto determina la velocidad de secado total de los secadores indirectos. Los materiales

granulares pesados dan mayor coeficiente de transferencia de calor de contacto que los materiales sólidos voluminosos.

A continuación en la figura se muestra un secador solar indirecto.



## 2.2. Directo:

En este tipo de secador, el colector y la cámara de secado, pueden juntarse, en cuyo caso la cámara que contiene el producto también cumple la función de colector recibiendo la radiación solar.

En los secadores solares directos la radiación solar es absorbida por el propio producto, resultando más efectivo el aprovechamiento de la energía para producir la evaporación del agua. Esto se debe a que la presión de vapor en la superficie del producto crece por la absorción de radiación solar. Por lo tanto el gradiente de presiones de vapor entre producto y aire se hace mayor y se acelera el secado. La combinación de colector y cámara en una sola unidad puede ser más económica en muchos casos, especialmente en los secadores de menor tamaño. Este tipo de secadores es casi siempre con circulación de aire por convección natural. Esto hace que a veces el control del proceso sea poco confiable. Para algunos productos la acción de la radiación solar puede destruir algún compuesto orgánico que lo compone y que tiene interés comercial. Las características generales de operación de los secadores directos son:

- El agente de secado puede ser aire calentado por vapor, gases de combustión, gas inerte calentado (nitrógeno por ejemplo), o vapor de agua sobrecalentado.
- El secado se efectúa por transferencia de calor por convección entre los gases calientes y el sólido mojado, en donde el flujo de gases extrae el líquido vaporizado y separa el vapor.
- Un secador directo consume más combustible por kilogramo de agua evaporada, mientras más bajo sea el contenido de humedad.
- La eficiencia mejora al aumentarse la temperatura del gas de entrada a una temperatura de salida constante.

A continuación en la figura se muestra un secador solar directo.



### 2.3. Mixto:

Son aquellos donde la colección de radiación se realiza tanto en el colector solar previo a la cámara de secado como en la misma cámara de secado. El Secador solar mixto presenta varias ventajas; en primer lugar el control del proceso es más simple (sobre todo en el caso de secadores con circulación forzada de aire). Es fácil de integrar una fuente auxiliar de

energía para construir un sistema híbrido. El tener una cámara de secado separada de los colectores facilita la manipulación del producto y las labores de carga y descarga. Dado que la cámara no permite la entrada de la radiación solar, este sistema permite secar en forma conveniente productos que se puedan dañar o perder su calidad de aspecto por una exposición directa al sol. Una desventaja de este tipo de secadores es el hecho de que al añadir el colector previo a la cámara para recolectar energía solar, el tamaño del equipo y sus costos aumentan. Una segunda desventaja es que para evaporar la misma cantidad de agua se necesita mover más kilogramos de aire a mayor temperatura que en el caso de los secadores directos.

A continuación en la figura se muestra un secador solar mixto.



### 3. Forma de Operación

La forma de operar un secador da lugar a dos alternativas:

#### 3.1. Secado en tandas:

El producto es cargado en una sola tanda y la misma no se retira hasta que esté completamente seca. Todo el producto dentro del secador va pasando de un estado húmedo a un estado seco en forma paulatina. Permite un diseño más sencillo del proceso de carga y movimiento del

producto dentro del equipo, por lo que resulta apropiado en secadores pequeños y medianos.

### 3.2. Secado continuo

El producto se va cargando y descargando en tandas parciales. Dentro del mismo secador se encuentra una parte de producto húmedo y otra casi seca. El período entre cargas de las tandas varía de acuerdo al diseño. En algunos casos la carga y descarga parcial se realiza una vez por día. En otros casos se puede llevar a cabo varias veces en el mismo día. Estos secadores pueden ser de convección natural o forzada.

### 4. Capacidad de Producción.

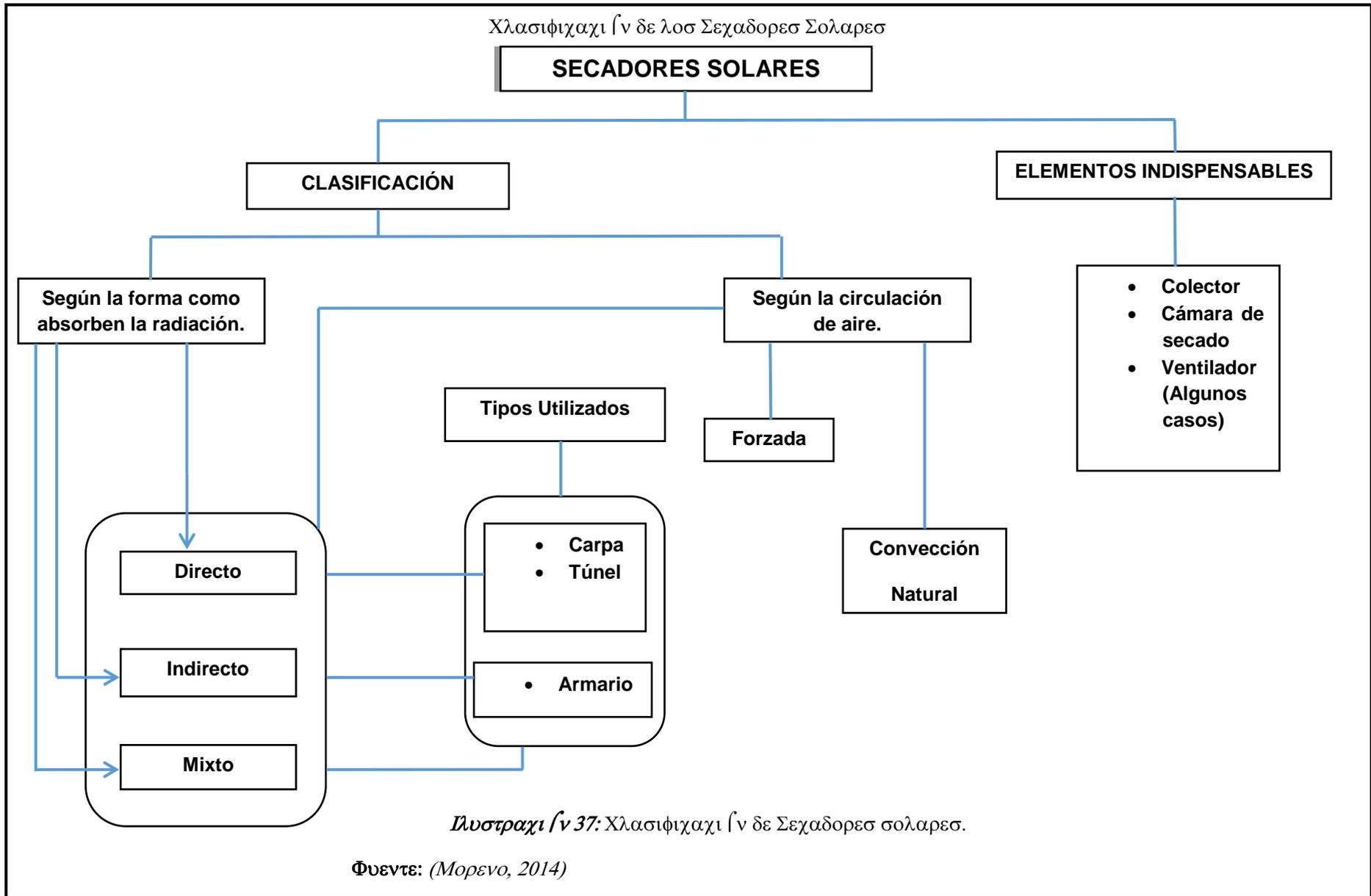
La capacidad de producción se define con relación al peso del producto fresco total que se alimenta para ser secado. En general, cada tipo de secador solar tiene un funcionamiento más apropiado en cierto rango de capacidad de producción. Enseguida se describen las características de algunos tipos de secadores más comunes según la capacidad de su producción.

**Ταβλα 16:**  
*Χαρακτηριστικά δε προδουχλι ίν.*

Capacidad de producción	Modo de calentamiento	Circulación de aire	Forma de operación
Pequeña o baja	Directo	Convección natural	En tanda
Baja o media	Directo	Acción del viento	En tanda
		Convección natural	En tanda
	Indirecto	Convección natural	En tanda
Media a alta	Indirecto	Forzada	En tanda
	Mixto o indirecto	Convección forzada	Continua

Φυεντε: (Μορενο, 2014)

Χλασιφιχαχι Γν δε λος Σεχαδορες Σολαρες



Ελυστραχι Γν 37: Χλασιφιχαχι Γν δε Σεχαδορες σολαρες.

Φυεντε: (Μορενο, 2014)

## **Ventajas y Desventajas**

### **Ventajas**

- a) Permite aprovechar el calor de fuentes renovables.
- b) Permite secar cualquier tipo de grano.
- c) Gran capacidad de evaporación.
- d) Vapores fácilmente condensables
- e) Mínimo riesgo de explosión e ignición.
- f) Mejor eficacia térmica.

### **Desventajas**

- a) Gran cantidad de vapores a depurar.
- b) No rentable para instalaciones pequeñas.
- c) Construcción complicada.
- d) Gran mantenimiento.

## **5. Selección de la mejor opción de diseño**

Seleccionamos el método indirecto con tiro forzado con forma de operación en tanda porque son muy económicos y muy eficientes, ya que el aire tiene un papel muy importante; es el aire en contacto con el producto el encargado de extraer su humedad.

## **6. Diseño de secadores**

Diseñar un secador consiste en determinar el tipo, las dimensiones y las características de un equipo, en el cual, en condiciones definidas, se eliminará agua de un material, hasta un nivel deseado en un tiempo dado.

Si se desea secar un material cualquiera, previo al diseño del secador propiamente dicho, habrá que determinar el tipo de equipo más adecuado, los cuales se obtienen a partir de los datos existentes en las bibliografías. Definido el tipo de aparato, queda definido también el sentido y la forma de circulación del aire, así como el medio calefactor a usar.

Conocidos estos datos habrá que elegir las características del aire a usar, así como la humedad final que se desea en el producto. La elección de dichas características o parámetros no se debe de realizar al azar, sino que ha de ser fruto de un trabajo de optimización. El objetivo final del secado es obtener un producto con unas determinadas características organolépticas y aptitudes para su almacenamiento con el menor costo posible. Es por ello que se hace necesario ensayar distintas condiciones de secado evaluando su costo y las características finales del producto. (FITO MAUPOEI, 2001, pág. 91).

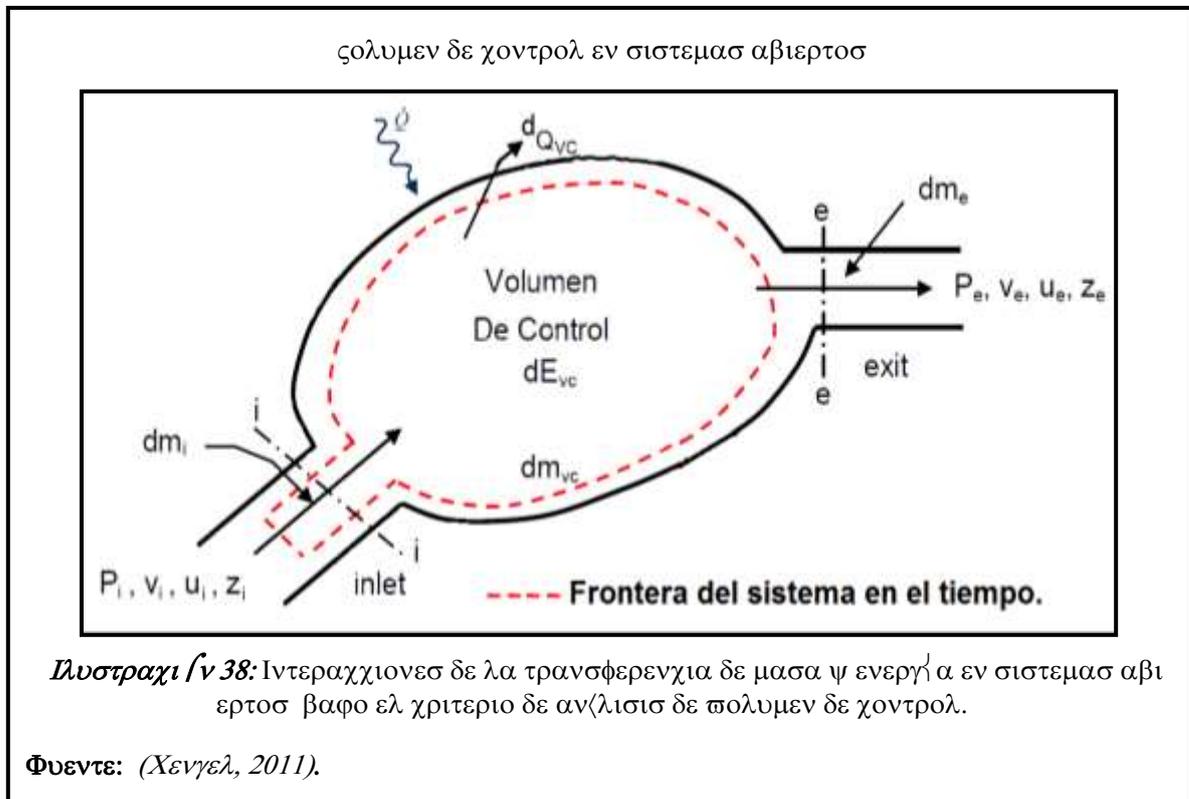
#### **2.4.7. Metodología del cálculo**

##### **Análisis energético del secador**

En el aspecto relacionado a los requerimientos termodinámicos, estos están vinculados a la aplicación de las leyes de conservación de masa y energía (principios termodinámicos). Utilizar el análisis termodinámico permite determinar las características termodinámicas de un sistema bajo estudio, que es la región o conjunto de materia en el espacio que es seleccionada para su análisis.

Este tipo del análisis de sistemas (Ilustración 55), emplea los principios de conservación de masa y de la energía, para así valorizar la interacción del sistema con su entorno, consigo mismo o con otro sistema, cuando se analizan procesos compuestos por un número específico de equipos interconectados entre sí. En términos generales, el análisis termodinámico permite cuantificar las transferencias de energía, a través de interacciones de calor y trabajo, así como las transferencias de masa cruzando sus fronteras, cuando el sistema se encuentra en un estado específico para su análisis.

El análisis aplicado a un sistema abierto (figura), también denominado volumen de control, desde el punto de vista termodinámico, establece las siguientes formulaciones para los principios de conservación de masa y energía, respectivamente:



$$\sum_{in} m_i - \sum_{out} m_e = \frac{dm_{vc}}{dt}$$

*Εχναχι σν 11: Βαλανχε δε μασα*

$$Q + W + \sum_{in} m_i \left( h + \frac{v^2}{2} + gz \right)_i - \sum_{out} m_e \left( h + \frac{v^2}{2} + gz \right)_e = \frac{dE_{vc}}{dt}$$

*Εχναχι σν 12: Βαλανχε δε Ενεργΐα*

Se trabajarán las ecuaciones para el acondicionamiento del aire de secado, que corresponde a la cuantificación de la cantidad de agua eliminada y flujo másico de aire necesario.

## **Análisis Termodinámico del Secador (Energía de calentamiento del aire)**

Un adecuado análisis termodinámico para el secador implica asumir consideraciones, desde el punto de vista termodinámico, para aplicar los principios de conservación de masa y conservación de energía a cada uno de los flujos bajo análisis:

1. El proceso de secado del arroz y, cada uno de sus flujos existentes en particular, serán analizados bajo los criterios de sistemas abiertos.
2. En este sistema abierto bajo análisis, las propiedades del sistema como la densidad del producto, flujos de aire e interacciones de energía específica no cambian con el tiempo. Sin embargo, tales propiedades pueden variar espacialmente de un punto a otro dentro del volumen de control.
3. En la aplicación del principio de conservación de energía, ecuación (20), Esta consideración fue asumida en base a los criterios expuestos por Peters<sup>3</sup>, M y otros autores, en la que establece que como los procesos de secado generalmente involucran la remoción de grandes cantidades de líquido ocasionada por la transferencia de calor, atravesando la interface entre el medio calefactor y el sólido, entonces estos flujos de calor y de entalpía asociadas a las corrientes de materia, son en magnitud, considerablemente mayores con respecto a los valores de energía suministrados en forma de trabajo mecánico.
4. Los términos de energía cinética y potencial para la ecuación (21) de conservación de energía se consideran despreciables por ser poco significantes.
5. Las propiedades termodinámicas para caracterizar a la materia prima, como son el calor específico a presión constante y la

---

<sup>3</sup> Peters M. y otros autores. —*Plant Design and Economics for Chemical Engineers*”, Quinta Edición, McGraw Hill. New York. 2003

entalpía, para formular las expresiones de energía, fueron consideradas con el modelo de sustancia incompresible. Considerando el análisis del secador como un sistema abierto operando bajo condición de estado estacionario (Ilustración 42) implica que las propiedades del sistema como densidad y energía específica no cambian con el tiempo. Sin embargo, tales propiedades pueden variar espacialmente de un punto a otro dentro del volumen de control. En consecuencia, si el sistema opera de esta forma, los términos de la forma  $d/dt = 0$  en las ecuaciones (15) y (16) desaparecen y toman la forma:

$$\sum_{in} m_i = \sum_{out} m_e$$

$$Q + W + \sum_{out} m_e \left( h + \frac{v^2}{2} + gz \right)_e - \sum_{in} m_i \left( h + \frac{v^2}{2} + gz \right)_i$$

$$Q = \sum_{out} m_e (h)_e - \sum_{in} m_i (h)_i$$

En adelante, teniendo en cuenta los cálculos previos y los resultados obtenidos para cuantificar inicialmente las condiciones de operación del secador y aplicando las consideraciones de análisis termodinámico de sistemas se obtendrán las nuevas especificaciones del secador en operación.

El enfoque que se centra en los procesos de secado para el arroz y otros frutos subtropicales se ha estudiado ampliamente y en gran parte de este tipo de investigaciones, se delimitan a los siguientes aspectos: las condiciones del aire y las condiciones del grano del arroz; para esto realiza la aplicación de balances para la entalpía y humedad del aire así como balances para la entalpía y humedad del grano.

### a. Determinación de la cantidad de aire

El primer dato que debe obtenerse es la cantidad de aire necesario para poder transportar el agua que se va a evaporar. Determinando la cantidad de agua a extraer del producto tenemos que la velocidad de secado puede hallarse experimentalmente en laboratorio para distinto flujo de aire y luego proyectándolo para un sistema mucho mayor sin embargo, una forma práctica de calcularlo es determinando la cantidad de agua que se va a evaporar a través de:

$$W = M \left( \frac{h_i - h_f}{1 - h_f} \right)$$

*Εχναχι fν 13:* Πέσο δε αγυα α επαποραρ δελ προδυχτο (Κγ)

Dónde:

W: Peso de agua a evaporar del producto (Kg).

M: Peso húmedo (inicial) del producto.

$h_i$ : Humedad inicial del producto (Kg agua / Kg producto seco).

$h_f$ : Humedad final del producto (Kg agua / Kg producto seco).

La masa de agua se divide entre el tiempo que se estima el más adecuado para secar el producto.

$$\dot{W} = \frac{W}{t_s}$$

*Εχναχι fν 14:* Χαντιδαδ δε αγυα επαποραδα πορ ηορα.

Dónde:

$\dot{W}$ : Cantidad media de agua evaporada por hora o pérdida de peso del producto (agua) por unidad de tiempo (kg de agua/ hora).

$t_s$ : Tiempo de secado.(h)

$W$ : Peso de agua a evaporar del producto (Kg)

Conocida la velocidad de evaporación ( $\dot{W}$ ), determinamos:

Flujo másico de aire necesario para secar el producto ( $m_a$ )

$$m_a = \frac{W}{X} \text{ (kg aire / hora)}$$

*Εχναχι 15*: Φλυφο μ(σιχο δε αιρε παρα σεχαρ ελ προδυχο.

Dónde:

$X = H_s - H_a$  : Capacidad real de secado del aire que se obtiene del diagrama Psicométrico.

$H_s$ : Humedad absoluta del aire en contacto con la superficie del solido (kg de agua por kg de aire seco).

$H_a$ : Humedad absoluta del aire necesario para secar el producto (kg de agua / kg de aire seco).

$m_a$ : Flujo másico de aire necesario para secar el producto (kg aire / hora).

Flujo másico de aire disponible ( $m_b$ )

$$m_b = \rho \times U \times A_t$$

*Εχναχι 16*: Φλυφο μ(σιχο δισπονιβλε.

Dónde:

$\rho$ : Densidad del aire en condiciones de trabajo.

$U$ : Velocidad del aire.

$A_t$ : Área de la sección transversal de la entrada del aire.

### b. Cálculo del calor total ( $Q_t$ )

El calor necesario para secar el producto lo calculamos mediante la siguiente ecuación:

$$Q_t = q_1 + q_2$$

*Εχνοαχι ίν 17*: Ενεργί α νεχεσαρια παρα σεχαρ ελ προδυχο (κ χαλ/ηρ)

Dónde:

$Q_t$ : Energía necesaria para secar el producto (k cal/hr).

$q_1$ : Energía necesaria para evaporar el agua (k cal/hr).

$q_2$ : Energía necesaria para calcular el producto (k cal/hr).

Además:

$$q_1 = m(h_i - h_f)[C_0\Delta T + \lambda]$$

*Εχνοαχι ίν 18*: Ενεργί α νεχεσαρια παρα εσαποραρ ελ αγυα (κ χαλ/ηρ)

Dónde:

m: Masa del producto (kg producto seco / hr).

$h_i$ : Humedad inicial del producto (k agua / kg producto seco).

$h_f$ : Humedad final del producto (k agua / kg producto seco).

$C_0$ : Calor específico del aire (0.24 kcal / kg °C)

$$\Delta T: t_2 - t_1$$

$t_2$ : Temperatura final del producto (°C)

$t_1$ : Temperatura inicial del producto (°C)

$\lambda$ : Calor específico latente del agua (k cal/kg)

$$q_2 = m C_a t$$

*Εχναχι 19:* Ενέργεια νεχεςαρια παρα χαλχυλαρ ελ προδυχτο (κ χαλ / ηρ)

Dónde:

m: Masa del producto (kg producto seco / hora).

$C_a$ : Calor específico del producto (kcal / kg °C).

t: Tiempo (Hr).

### c. Producto del secador (m)

$$m = \frac{W}{Ts(hi - hf)}$$

*Εχναχι 20:* Μασα δελ προδυχτο (κγ προδυχτο σεχο / ηορα)

Dónde:

m: Masa del producto (kg producto seco / hora).

W: Cantidad de agua a extraer del producto (kg).

Ts: Tiempo de secado (Hr).

hi: Humedad inicial del producto (kg agua / kg producto seco).

hf: Humedad final del producto (kg agua / kg producto seco).

### d. Humedad de aire a la entrada (Ha)

La tabla Psicométrica, nos dará las características del aire atmosférico a una temperatura de 25°C.

### e. Cálculo del calor húmedo (CH)

$$CH = 0.24 + 0.45 Ha$$

*Εχναχι 21:* Χ(λχυλο δελ χαλορ η |μεδο

Dónde:

Ha: Humedad del aire (kg agua / kg aire seco).

#### f. Cantidad de aire a calentar (C)

$$C = \frac{Q}{CH(te - ts)}$$

*Εχραχι fν 22:* Χαντιδαδ δε αιρε (κγ αιρε σεχο / ηορα)

Donde:

C: Cantidad de aire (kg aire seco / hora).

Q: Energía total (kcal / hora).

CH: Calor húmedo (kcal / °C aire seco).

t: Temperatura del aire al entrar al secador.

#### g. Humedad del aire del secador (Hs)

$$Hs = Ha + \dot{W}/C$$

*Εχραχι fν 23:* Ηυμεδαδ δελ αιρε αλ σαλιρ δελ σεχαδορ (κγ αγυα/κγ. Δε αιρε σεχο)

Dónde:

Hs: Humedad del aire al salir del secador (kg agua / kg. De aire seco).

Ha: Humedad del aire a la entrada del secador (kg agua / kg aire seco).

$\dot{W}$ : Cantidad media de agua evaporada por hora (kg agua / hora).

C: Cantidad de aire (kg aire seco / hora).

Con la temperatura Ts y con la humedad Hs en la tabla Psicométrica le corresponde una temperatura de bulbo húmedo.

#### h. Volumen de aire usado (m<sup>3</sup> / Hr)

Utilizando la tabla Psicométrica, el volumen específico de aire a la temperatura del aire a la salida del secador ( $T_s$ ), utilizando la cantidad de aire a calentar ( $C$ ) y un volumen específico a temperatura del flujo.

## 8. Cálculos en el secador

Intensidad de la radiación solar directa:

$$Rad = w/m^2$$

Eficiencia de un secador:

Se determina por la energía solar que incide y la energía útil que se puede extraer, la eficiencia varía a medida que cambia la radiación solar incidente.

$T_e$ ,  $T_a$ ,  $Rad$

$$N = (T_e - T_a)/rad$$

*Εχρησιζόμενα 24: Εφικτικότητα δε υν σεχαδορ σολαρ*

## 9. Estimación del área del secador

$$q = A_c \eta_c Rad$$

*Εχρησιζόμενα 25: Ενεργία παρα χαλενταρ ελ αιρε*

Donde:

$q$ : Energía necesaria para calentar el aire (W)

$A_c$ : Área del colector ( $m^2$ )

$Rad$ : Radiación solar ( $W/m^2$ )

$\eta_c$ : Eficiencia del colector.

## 10. Cálculos en la cámara de secado

Para el secado se debe tener en cuenta los contenidos de humedad y cantidad del producto a secar.

## Contenidos de humedad:

### Humedad inicial del producto

$h_i$ : 21 % kg de agua / kg producto seco.

### Humedad crítica del producto

$h_c$ : 17,5 % kg de agua / kg producto seco.

### Humedad final del producto

$h_f$ : 14 % kg de agua / kg producto seco.

## Contenidos de humedad expresado en peso

$$h_{ip} = \frac{h_i}{(1 - h_i)} = \frac{0,21}{(1 - 0,21)} = 0,27 \text{ kg agua/kg producto seco}$$

$$h_{cp} = \frac{h_c}{(1 - h_c)} = \frac{0,175}{(1 - 0,175)} = 0,21 \text{ kg agua/kg producto seco}$$

$$h_{fp} = \frac{h_f}{(1 - h_f)} = \frac{0,14}{(1 - 0,14)} = 0,124 \text{ kg agua/kg producto seco}$$

## Densidad del producto

$$\rho = \frac{M}{V}$$

*Εχραχι ίν 26:* Δενσιδαδ δελ προδυχτο

Dónde:

$\rho$ : Densidad referencial del Arroz (500-630 kg de producto seco/m<sup>3</sup>).

M: Masa del producto seco (kg).

V: Volumen de la bandeja (m<sup>3</sup>).

Despejando M:

$$M = \rho * V$$

Kilos del producto fresco para obtener un kilogramo de producto seco.

1 kg de producto fresco = 0,21 kg de agua.

X = 0,79 kg de producto seco.

1 kg de producto seco = 0,79 kg de grano seco.

### **C. Manual de mantenimiento**

Como toda máquina, estas se desgastan y debe existir un mantenimiento adecuado para el buen funcionamiento de la misma, por lo tanto se recomienda:

- Limpiar los módulos de secado utilizando un compresor de aire, realizar la limpieza cada seis meses.
- Limpiar el ventilador axial debido a la exposición directa a pelusas.
- En el sistema de control se debe realizar una limpieza cada año teniendo cuidado con las partes sensibles.
- Revisar la bandeja, observar que no exista un deterioro por rozamiento, y si lo existiese reemplazarla oportunamente para que no exista un agrietamiento y pueda existir un desfogue de arroz.
- Revisar instalaciones eléctricas cada seis meses, observando que no exista cables pelados o mal conectados.

### **D. Normatividad**

Para el diseño y construcción del recipiente se escogió las normas contenidas en el código ASME Sección VIII, División 1, ya que ahí se encuentran las reglas de diseño, construcción e inspección para recipientes sometidos a las condiciones requeridas.

## **E. Gestión seguridad y riesgos**

### **Seguridad:**

La máquina debe ir con las instrucciones de montaje, uso y mantenimiento. La máquina debe tener un nivel de seguridad para preservar a las personas, instalación, funcionamiento, mantenimiento y reparación. Deberá tener un sistema de indicadores de fallas para evitar peligros en el funcionamiento. Se debe evitar el ingreso de elementos perjudiciales en el sistema ya que puede dañar elementos en los mecanismos.

### **Riesgos:**

#### **Riesgos por carga física:**

La cantidad de horas, la postura corporal y el esfuerzo realizado al trabajar,

Puede generar dolores de espalda y cuello, contracturas y lesiones a nivel de músculo y articulaciones.

#### **Riesgos por contaminantes químicos, biológicos y físicos:**

La inhalación del polvillo puede producir afecciones en las vías respiratorias, tales como alergias, crisis de broncoespasmo y asma.

El contacto de la piel con el arroz puede originar alergias y/o producir picazón.

## **F. Evaluación económica.**

La metodología establecida para decidir sobre la conveniencia o no de financiar un determinado proyecto se denomina evaluación económica. Como su nombre lo indica pondera los principales elementos de un proyecto y en función de su análisis se toma una decisión respecto al financiamiento.

Un proyecto involucra el uso de recursos para la obtención de beneficios, por lo que la evaluación deberá contestar la siguiente pregunta: ¿La

inversión requerida permitirá generar beneficios que justifiquen el uso de los recursos en este fin? (EROSSA MARTIN, 1987, pág. 182).

El objetivo de la evaluación económica de proyectos es optimizar la asignación de recursos disponibles mediante la selección de aquellos proyectos que generen mayor valor.

Toda evaluación económica deberá resolver algunas de estas cuestiones:

- Establecer si un proyecto es conveniente, o no, y el momento óptimo para ejecutarlo.
- Determinar qué proyectos deben ser eliminados.
- Entablar en qué orden se deben ejecutar los proyectos más convenientes en función de la disponibilidad de recursos.
- Identificar los parámetros o variables más relevantes en el desarrollo de un proyecto.

### **1.- valor actual neto (VAN).**

“El método del valor presente se basa en el concepto del valor equivalente de todos los flujos de efectivo relativos a alguna base o punto de inicio en el tiempo, llamado presente. Es decir todos los flujos de entrada y salida de efectivo se descuentan al momento presente del tiempo con una tasa de interés. (SULLIVAN, 2004).

El método de valor presente establece la relación de rentabilidad, y toma en consideración el valor actual de las futuras utilidades.

“El valor presente de una alternativa de inversión es una medida de cuánto dinero podría dedicar un individuo o empresa a una inversión, adicional a su costo. O, bien dicho de otra forma, un valor presente positivo de un proyecto de inversión es la cantidad de dinero de utilidad por encima de la cantidad mínima que requieren los inversionistas. (SULLIVAN, 2004)

Este método se sustenta en el criterio de que las inversiones deben aumentar el valor total de la empresa, como parte de una sana y productiva política administrativa.

“Para encontrar el valor presente como función de  $i\%$  (por periodo de interés) de una serie de flujos de entrada y salida de efectivo, es necesario descontar al presente las cantidades futuras usando la tasa de interés durante el periodo de estudio apropiado. (SULLIVAN, 2004).

$$VP(i\%) = F_0 (1 + i)^0 + F_1(1 + i)^{-1} + \dots + F_k(1 + i)^{-k} + \dots + F_N (1 + i)^{-N}$$

$$VP(i\%) = \sum_{k=0}^N F_k (1 + i)^{-k}$$

*Εχρησις 27: 5AN*

**Donde:**

$i$  = Tasa efectiva de interés o TREMA, por periodo de interés.

$k$  = Índice de cada periodo de composición.

$F_k$  = Flujo de efectivo futuro al final del periodo  $k$ .

$N$  = Número de periodos de capitalización en el horizonte de planeación.

Cuando se están analizando proyectos únicos, si el valor presente es mayor a cero, el proyecto es factible; si el valor presente es igual a cero, el proyecto es indiferente; y si valor presente es menor que cero, el proyecto no es factible.

Cuando se están analizando proyectos múltiples excluyentes, se escoge el proyecto con el mayor valor presente.

## **2.- tasa interna de retorno (TIR)**

En todos los criterios de decisión, se utiliza alguna clase de índice, medida de equivalencia, o base de comparación capaz de resumir las diferencias de importancia que existe entre las alternativas de inversión. (COSS BU, 1981).

La tasa interna de retorno de un proyecto de inversión es la tasa de descuento que hace que el valor actual de los flujos de beneficio

(positivos) sea igual al valor actual de los flujos de inversión negativos. (FERNANDEZ ESPINOZA, 2007).

$$I_0 = \sum_{n=1}^n \frac{Rn}{(1 + TIR)^n}$$

*Εχθαλι ίν 28: TIP*

Donde:

TIR = Tasa interna de retorno

Rn = Flujo de efectivo anual

$I_0$  = Inversión inicial

La tasa interna de retorno mide la factibilidad financiera de un proyecto determinado al considerar la inversión y beneficios o utilidades que obtienen quienes aportan el capital. Desde luego que el indicador será ajustado por los niveles de precios que afecten a los insumos y con ello a la inversión durante el tiempo de materialización del proyecto, una vez que ha cumplido su función como elemento de decisión en la evaluación financiera. (EROSSA MARTIN, 1987, pág. 208).

Para proyectos individuales, es necesario calcular la tasa de interés que satisface la ecuación anterior y compararla con la tasa de recuperación mínima atractiva (TREMA). Cuando  $i$  sea mayor a la TREMA, conviene que el proyecto sea emprendido.

Para proyectos mutuamente excluyentes, el criterio de selección que se recomienda usar, implica determinar la TIR del incremento de inversión. Esta tasa puede ser encontrada por cualquiera de las siguientes alternativas:

- Encontrar la tasa de interés para la cual los valores anuales equivalentes de las 2 alternativas son iguales.
- Encontrar la tasa de interés para la cual los valores presentes de las 2 alternativas son iguales.

- Encontrar la tasa de interés para la cual el valor presente del flujo de efectivo neto de la diferencia entre las 2 alternativas es cero.

## 2.5. Definición de términos.

### **Prototipo:**

Un prototipo es un modelo del comportamiento del sistema que puede ser usado para entenderlo completamente o ciertos aspectos de él y así clarificar los requerimientos. Un prototipo es una representación de un sistema, aunque no es un sistema completo, posee las características del sistema final o parte de ellas.

### **Secador solar:**

El secado mediante una corriente de aire, donde se aprovecha la radiación solar como fuente de energía, es uno de los tratamientos más antiguos. Se conoce como deshidratación y se usa como técnica para la preservación de materiales pues los microorganismos que provocan la descomposición de la materia orgánica no pueden crecer y desarrollarse en ausencia de agua.

Además, es una operación energética elemental y representa una de las acciones térmicas básicas en la industria de procesos y agro-alimentaria.

Una de las maneras más simples para lograr el secado (de cualquier material) es el secado al sol donde el material húmedo se extiende en grandes superficies y sólo hay que esperar a que el contenido en agua se elimine por medio del aire. Este procedimiento es de muy bajo coste pero puede producir fuertes mermas ocasionadas por las lluvias durante el proceso de secado y el ataque de insectos y animales si el material se expande en el suelo directamente.

### **Tiro forzado:**

El aire es movido por un ventilador que consume energía mecánica o eléctrica. Este tipo de circulación facilita el diseño en el caso de los equipos de tamaño grande, además de facilitar el control del proceso de secado. Usando este tipo de circulación se pueden obtener

velocidades de circulación de aire entre 0.5 y 1.0 m/s. La principal desventaja de la circulación forzada es el hecho de que se debe disponer de una fuente de energía eléctrica para el ventilador, pero esto se puede solventar utilizando un módulo solar que proporcione el flujo de aire requerido, con lo que el sistema es independiente de la red eléctrica.

### **Automatizar:**

La automatización es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos.

### **Convección:**

La convección es una de las tres formas de transferencia de calor y se caracteriza porque se produce por medio de un fluido (líquido o gas) que transporta el calor entre zonas con diferentes temperaturas. La convección se produce únicamente por medio de materiales, la evaporación del agua o fluidos. Lo que se llama convección en sí, es el transporte de calor por medio del movimiento del fluido, por ejemplo: al trasegar el fluido por medio de bombas o al calentar agua en una cacerola, la que está en contacto con la parte de abajo de la cacerola se mueve hacia arriba, mientras que el agua que está en la superficie, desciende, ocupando el lugar que dejó la caliente.

La transferencia de calor implica el transporte de calor en un volumen y la mezcla de elementos macroscópicos de porciones calientes y frías de un gas o un líquido. Se incluye también el intercambio de energía entre una superficie sólida y un fluido o por medio de una bomba, un ventilador u otro dispositivo mecánico (convección mecánica, forzada o asistida).

En la transferencia de calor libre o natural un fluido es más caliente o más frío y en contacto con una superficie sólida, causa una circulación debido a las diferencias de densidades que resultan del gradiente de temperaturas en el fluido.

**Entalpía:**

Es una función de estado de la termodinámica donde la variación permite expresar la cantidad de calor puesto en juego durante una transformación isobárica, es decir, a presión constante en un sistema termodinámico, teniendo en cuenta que todo objeto conocido se puede entender como un sistema termodinámico. Se trata de una transformación en el curso de la cual se puede recibir o aportar energía (por ejemplo la utilizada para un trabajo mecánico). En este sentido la entalpía es numéricamente igual al calor intercambiado con el ambiente exterior al sistema en cuestión.

Dentro del Sistema Internacional de Unidades, la entalpía se mide habitualmente en joules que, en principio, se introdujo como unidad de trabajo.

**Temperatura del bulbo seco:**

Es la medida con un termómetro convencional de mercurio o similar cuyo bulbo se encuentra seco.

Esta temperatura junto a la temperatura de bulbo húmedo es utilizada en la valoración del confort higrotérmico, en la determinación de la humedad relativa, en la determinación del punto de rocío, en psicrometría para el estudio y determinación del comportamiento de mezclas de aire.

Mediante el diagrama psicrométrico o tablas psicrométricas es posible a partir de dos valores de entrada conocer el resto de las propiedades de las mezclas de aire seco y aire húmedo.

**Higrómetro:**

Un higrómetro es un instrumento desarrollado para el uso de medir la densidad relativa o gravedad específica de varios líquidos. Mide la densidad en relación a su radio, comparado contra la densidad del agua. La densidad relativa del agua es una constante de 1.0, y para obtener una lectura precisa, debe haber partes iguales de agua y del otro líquido a medir.

**Higroscopía:**

Es la capacidad de algunas sustancias de absorber humedad del medio circundante. También es sinónimo de higrometría, siendo ésta el estudio de la humedad, sus causas y variaciones (en particular de la humedad atmosférica).

**Centrífuga:**

Aceleración que aparece en un cuerpo sometido a rotación. Su dirección es perpendicular al movimiento del cuerpo y va dirigida hacia el exterior. La aceleración centrífuga es proporcional al cuadrado de la velocidad y es inversamente proporcional al radio.

Al contrario que la aceleración centrípeta, la centrífuga es una aceleración de inercia, es decir, tan sólo puede advertirse en el interior del sistema en rotación y aparece únicamente cuando el cuerpo en cuestión se ve obligado a girar por la acción de una aceleración centrípeta. Por ejemplo, para hacer que un automóvil tome una curva, es preciso ejercer una acción centrípeta (es decir, dirigida hacia el interior de la curva) aprovechando la adherencia de los neumáticos al suelo. Frente a esta acción, se presenta una reacción de los cuerpos situados en el interior del vehículo, que, por inercia, tienden a mantener su movimiento rectilíneo; dicha reacción constituye la aceleración centrífuga.

**Batería:**

Es el dispositivo que permite el almacenamiento de energía eléctrica, mediante la transformación reversible de energía eléctrica en energía química.

**Células fotovoltaicas:**

Dispositivos de estado sólido que convierten la luz solar en electricidad. Carecen de partes móviles o fluidos a presión o temperatura. Son altamente confiables y razonablemente eficientes.

# **CAPÍTULO III**

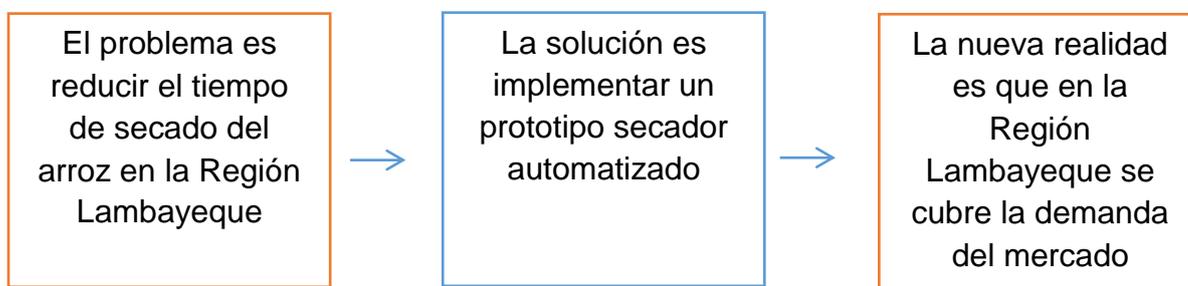
## **MARCO METODOLÓGICO**

### 3.1. Tipo y Diseño de Investigación

#### 3.1.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es **TECNOLÓGICA EXPERIMENTAL**, porque busca optimizar el proceso de secado, y así innovar esta nueva tendencia en los sectores productores y comerciantes que hayan construido secadores de granos sin criterio técnico, es decir, de forma empírica y también de minimizar el uso del método artesanal, es decir el tradicional secado al sol en tendales.

#### 3.1.2. Diseño de Investigación



### 3.2. Población y Muestra

#### 3.2.1. Población

**Población 1:** Está conformada por los centros de acopio de la ciudad de Ferreñafe, donde se realizará el estudio y diagnóstico descriptivo.

Este análisis será de carácter prospectivo debido a que los datos aportados fueron tomados al momento de realizarse la investigación.

**Población 2:** Que será la parte experimental del estudio, se considerará a las muestras de grano seco obtenido en el prototipo cuyo análisis proporcionará los datos para estimar las condiciones óptimas operacionales para la obtención de un producto de calidad.

### **3.2.2. Muestra**

**Muestra 1:** Estará conformada por toda información que se recogerá de los centros de acopios que se encuentran dentro de la ciudad de Ferreñafe. Los mismos que en sus labores de secado estarán sujetas a análisis para monitorear el comportamiento de las variables antes mencionadas y que son sujeto de interés, y también las muestras aquí obtenidas, serán sometidas a análisis físico, donde se determinará su humedad final, con el fin de evidenciar la calidad del producto que se obtiene con las secadoras que actualmente utilizan.

**Muestra 2:** Se define en base al producto obtenido bajo distintas condiciones de temperatura que se producirá en la máquina (prototipo) de la propuesta que se plantea. Las muestras aquí obtenidas, se analizará el tiempo de secado, calidad del grano de arroz con el fin de confirmar la calidad del producto para confrontarlos con los resultados obtenidos en la primera muestra.

### **3.3. Hipótesis**

Con la implementación de un prototipo secador automatizado tipo invernadero con tiro forzado con una capacidad de 1kg se busca reducir el tiempo de secado del grano de arroz controlando las variables de temperatura y el porcentaje de humedad, para la obtención de un grano de calidad.

### **3.4. Variables**

#### **3.4.1. Variables independientes**

a) Variables Independientes

1. Características del arroz.
  - Porcentaje de humedad.
  - Tamaño del grano.

#### **3.4.2. Variables dependientes**

b) Variables Dependientes

1. Tiempo de secado.
2. Temperatura de secado.
3. Caudal de aire.

### 3.5. Operacionalización

#### 3.5.1. Variables Independientes

Variables Independientes	Dimensión	Indicadores	Sub Indicadores	Índice	Técnica en recolección de datos	Instrumentos de recolección de información	Instrumentos de medición
Características del arroz	Tamaño del grano	Cantidad de arroz a secar	-----	kg	Entrevista y observación	Cuestionario y Guía de observación	Balanza.
	Porcentaje de humedad	Apariencia Y textura	-----	12 a 14%	Entrevista y observación	Cuestionario y Guía de observación	Higrómetro, Sensor de humedad

*Ταβλα 17:* Ταβλα δε Οπεραχιοναλιζαχι Γν δε ζαριαβλεσ Ινδεπενδιεντεσ. Φουεντε: Προπια.

### 3.5.2. Variables Dependientes

Variables Independientes	Dimensión	Indicadores	Sub Indicadores	Índice	Técnica en recolección de datos	Instrumentos de recolección de información	Instrumentos de medición
Tiempo de secado	Humedad Relativa	sensor	Tiempo total del secado	4 a 5 horas	Entrevista y observación	Cuestionario y Guía de observación	Reloj, cronómetro, sensor de temperatura
Temperatura de secado	Tiempo	Sensor de temperatura	-----	25°C a 27°C	Entrevista y observación	Cuestionario y Guía de observación	Termómetro.
Velocidad de secado	Velocidad	Medición de la velocidad del aire	-----	m/s	Entrevista y observación	Cuestionario y Guía de observación	Higrómetro.

*Ταβλα 18:* Ταβλα δε Οπεραχιοναλιζαχι Γν δε ζαριαβλεσ Δεπενδιεντεσ. Φυεντε: Προπια.

## 3.6. Métodos, técnicas e instrumentación de recolección de datos

### 3.6.1. Métodos

Análisis: Permitió la recolección y la construcción de nuestro proyecto, permitiendo la selección de los componentes del sistema automatizado, proporcionando un diseño fiable. Pudiendo cumplir con los objetivos planteados.

Síntesis: Este método se utilizó en la recopilación de información de los mecanismos y elementos mecánicos y eléctricos del sistema automatizado, con el fin de comprender el funcionamiento del sistema, permitiendo su construcción.

Deductivo: Ayudó a la formación de la hipótesis, investigación de leyes científicas, y las demostraciones.

### 3.6.2. Técnicas

Nosotros utilizamos las siguientes técnicas de investigación:

Observación: Porque el uso de esta técnica nos permitió describir, conocer y registrar datos en estudio de campo.

Entrevista: Porque nos permitió la obtención de información mediante el diálogo con los ingenieros y operarios a cargo del área de elaboración en un encuentro formal y planeado.

Encuesta: Porque nos sirvió para conocer la realidad en el proceso de secado del arroz.

### 3.6.3. Instrumentación

**Se emplearon los siguientes instrumentos de investigación:**

- **Hoja de encuesta**: Se encuestó a los molinos de Ferreñafe y Lambayeque, para obtener información sobre el manejo, porcentaje de humedad óptimo para su almacenamiento, secado y comercialización de arroz. **(Ver anexo 03)**.

- **Entrevista**: Hemos formado una agenda para visitar a la empresa y entrevistarnos con el gerente de fábrica para solicitar autorización de entrada a la fábrica y acceso a la información. También se dialogó con los operarios de turno del área de secado

con el fin de conocer a detalle el funcionamiento de los secadores artificiales. **(Ver anexo 4).**

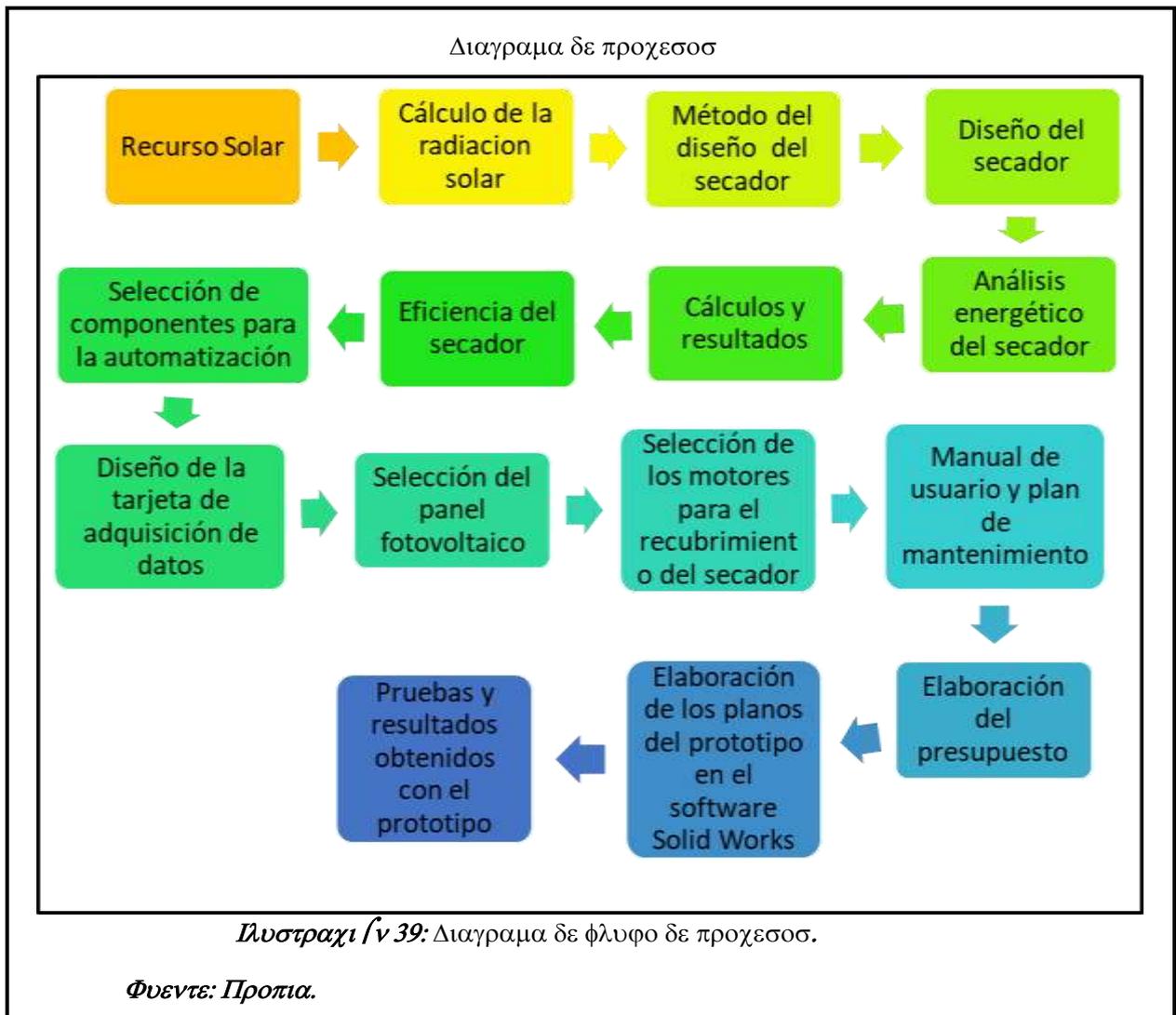
**- Guías de Observación:**

Las guías que utilizamos en el área de secado de arroz, tuvieron el siguiente diseño con el fin de poder tener una base de datos sobre la cantidad de secado de arroz que proceden por día. **(Ver anexo 2).**

### 3.7. Procedimiento para la recolección de datos

#### Diagrama de procesos.

Este proyecto de tesis se realizará de acuerdo al siguiente gráfico:



### **3.7.1. Descripción del proceso**

#### **3.7.1.1. Datos de radiación solar de la zona.**

Para el análisis se procederá a obtener los datos de temperatura y de radiación solar obtenidos del Atlas de Energía Solar del Perú (SENAMHI). Con los datos obtenidos se hallará el valor de la radiación solar incidente para los meses de Enero hasta Diciembre.

Para el panel fotovoltaico se tomará en cuenta la radiación solar existente en la región, por medio del mapa solar del Perú y de la región de Lambayeque, dicha información es proporcionada por el MINEM.

#### **3.7.1.2. Método del Diseño.**

Se seguirá la metodología de diseño aplicada en el curso de Diseño de Sistemas Mecánicos, según la norma VDI 2222.

#### **3.7.1.3. Diseño del secador**

Se revisó varias bibliografías, las cuales demuestran que para el dimensionamiento de secadores de arroz se toma en cuenta tres grandes aspectos:

- La mecánica de transferencia de calor.
- Los requerimientos termodinámicos vinculados a la aplicación de las leyes de conservación de masa y energía y los fenómenos de transferencia de calor.
- El aspecto relacionado netamente al dimensionamiento de los equipos basados en los dos aspectos anteriores.

#### **3.7.1.4. Análisis energético del secador.**

Para el análisis energético se puso en práctica los conocimientos adquiridos en el curso de termodinámica, específicamente el tema de Análisis de Masa y Energía de volúmenes de control de Cengel Yunus. Así mismo se revisó la bibliografía del cálculo del balance energético de un invernadero.

#### **3.7.1.5. Cálculos y resultados.**

Se determinaron todos los parámetros de secado de arroz, teniendo en cuenta las características técnicas del producto.

#### **3.7.1.6. Eficiencia del Secador.**

La finalidad es determinar la eficiencia del secador la cual se calculó el calor total de energía útil y la energía total perdida en el proceso de secado del arroz.

#### **3.7.1.7. Selección de componentes para la automatización.**

**Arduino Nano:** Consta de 14 pines, los cuales 6 son salidas y 8 son entradas, posee una memoria flash de 32 KB, este microcontrolador puede programarse de forma muy fácil y es de bajo costo a comparación con otros tipos de Arduinos, nos facilita la automatización en nuestro proceso de secado.

**Sensor de Temperatura y Humedad DHT22:** Este sensor es bastante eficiente y simple de usar, mide la temperatura a un rango de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $80^{\circ}\text{C}$ , con una precisión de  $\leq \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ; mide la humedad de manera exacta el grado de humedad

en la que se encuentra la materia prima, tiene un rango de medición de humedad de 0 a 100% RH, con una precisión de 2% RH, este sensor obtiene nuevos datos una vez cada 2 segundos.

**Pantalla LCD 16x2:** Pantalla de cristal líquida, nos sirvió para visualizar los datos reales de temperatura y humedad en el proceso de secado, está gobernado internamente por un microcontrolador en este caso el Arduino.

**Ventilador de PC 12v:** Se utiliza para eliminar la humedad del producto y mantener la temperatura requerida en la cámara de secado.

**Pulsadores Electrónicos:** La función principal que cumple estos pulsadores es ejecutar una determinada acción o un determinado proceso, de tal manera que al accionarlo procese a iniciar o culminar una acción.

**Bluetooth HC-05:** Nos permitió transferir los datos de los sensores a nuestra laptop para las gráficas de temperatura y humedad.

#### **3.7.1.8. Diseño de la tarjeta de adquisición de datos con ayuda del software Altium Designer.**

El programa que se utilizó fué el software de ingeniería asistida por computadora, en este caso se usó el software Altium Designer , es un programa de automatización de diseño electrónico de software para la placa del circuito impreso de nuestro secador solar, lo utilizamos porque es compatible con el programa solid works que nos sirve para el diseño de los elementos electrónicos, se utilizó Altium Designer para ensamblar los componentes electrónicos

que se utilizaron en el diseño del sistema de automatización en el proceso de secado de arroz.

#### **3.7.1.9. Selección del panel fotovoltaico**

Se elaboró la tabla de consumo de energía en horas de todas las cargas utilizadas en el prototipo, para luego hallar mediante fórmula la potencia del panel fotovoltaico.

#### **3.7.1.10. Selección de los motores para el recubrimiento del secador.**

Para la selección de los motores se calculó el torque de diseño y luego de acuerdo a los parámetros del motor se seleccionó la correa dentada síncrona y la polea con la que trabajará.

#### **3.7.1.11. Plan de mantenimiento**

El plan de mantenimiento se elaboró con la finalidad de prevenir cualquier tipo de falla y mantener el sistema operativo y libre de inconvenientes.

En este plan se hace un detalle de cada componente con la finalidad de realizar el mantenimiento preventivo correspondiente.

#### **3.7.1.12. Manual de usuario**

Se elaboró un manual en el cual se plasmará el manejo y monitoreo de la tarjeta de adquisición de datos, con la finalidad de realizar un buen manejo y control de todo el sistema.

### **3.7.1.13. Elaboración del presupuesto**

Se elaboró el presupuesto del Prototipo utilizando el programa Excel.

### **3.7.1.14. Elaboración de los planos del Prototipo en el software Solid Works.**

Se realizaron los planos del prototipo con el software Solid Works.

### **3.7.1.15. Pruebas y resultados obtenidos con el prototipo.**

El prototipo diseñado y fabricado satisface plenamente las necesidades de secado.

## **3.8. Análisis estadístico e interpretación de datos**

### **A. Enfoque cualitativo**

Se realizó encuesta, guías de observación, entrevista, cuyos datos nos sirvieron para determinar el porcentaje de humedad ideal del secado de arroz. Se examinarán las guías de instituciones como el SENAMHI, Ministerio de Energía y Minas y entidades que brinden información para el análisis del recurso solar.

### **B. Enfoque Cuantitativo**

Se utilizara la estadística descriptiva, mediante el software SPSS para la validación de la encuesta, y el software Microsoft Office Excel para procesar los datos obtenidos de las pruebas del prototipo.

### **3.9. Criterios éticos**

#### **3.9.1. Credibilidad.**

Se realizó una entrevista al especialista en el proceso de secado del Molino “Cristo Morado” el cual nos permitió conocer a profundidad el tema estudiado, se elaboró un formato que permitió anotar las diferentes cantidades y humedades de los lotes que llegan a la molinera. El análisis de estos datos nos permitió relacionar nuestros resultados con el tema de investigación estudiado.

### **3.10. Criterios de rigor científico**

#### **3.10.1. Validez**

La validez de este proyecto de investigación nos concierne a la interpretación correcta y cuidado exhaustivo del proceso metodológico de los resultados que obtendremos en el estudio del tema científico estudiado en este caso el estudio del proceso de secado de arroz y el diseño de Prototipo secador automatizado, que se convertirá en un soporte fundamental para la validez del proyecto.

**CAPÍTULO IV**

**ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN  
DE RESULTADOS**

## **4.1. Resultados en tablas y gráficos**

### **4.1.1. Enfoque cuantitativo**

#### **Adquisición de datos obtenidos del molino Cristo Morado.**

En el siguiente cuadro podemos apreciar valores de peso y humedad, el indicador que más destaca en este análisis es el porcentaje de humedad que la materia prima contiene. Los valores obtenidos se encuentran en un rango inicial de 20.1 % hasta 29.2% de humedad, llevado al proceso de secado, existen dos rangos de temperatura a la que es sometida la materia prima, los rangos son los siguientes:

- a. 50°C para un rango entre 20% a 25% de humedad.
- b. 60°C para un rango entre 25% a 30% de humedad.

La variación de porcentajes de humedad obedecen a la procedencia de la materia prima, por lo general el mayor índice de humedad en la materia prima proviene de la selva.

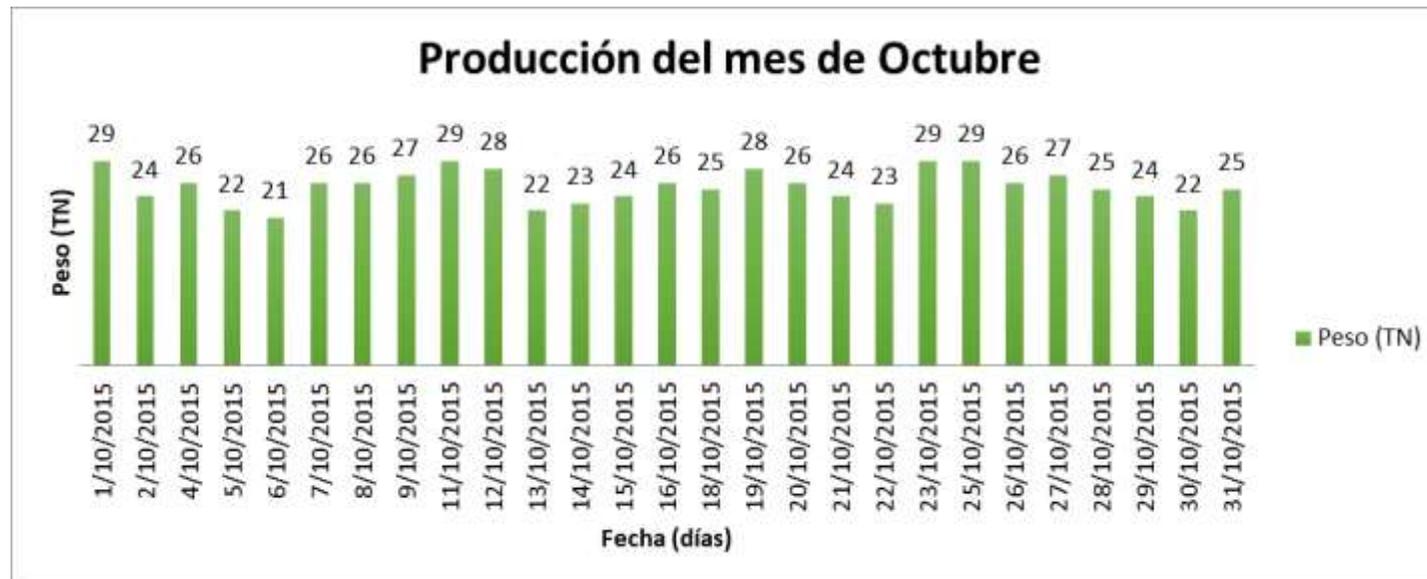
**Ταβλα 19:**

*Δατος οβτενιδος δελ μολινο □Χριστο Μοραδο□.*

<b>Datos obtenidos del molino "Cristo Morado" correspondiente a los meses de octubre y noviembre del 2015.</b>					
<b>Mes de octubre</b>			<b>Mes de noviembre</b>		
Fecha	Peso (TN)	Humedad (%)	Fecha	Peso (TN)	Humedad (%)
01/10/2015	29	22.6	01/11/2015	28	23.6
02/10/2015	24	26.4	02/11/2015	23	27.4
04/10/2015	26	23.9	03/11/2015	27	24.9
05/10/2015	22	28.6	04/11/2015	26	29.6
06/10/2015	21	21.4	05/11/2015	20	20.4
07/10/2015	26	27.5	06/11/2015	22	28.5
08/10/2015	26	25.3	08/11/2015	27	24.3
09/10/2015	27	24.7	09/11/2015	30	25.7
11/10/2015	29	23.6	10/11/2015	20	22.6
12/10/2015	28	22.7	11/11/2015	30	20.7
13/10/2015	22	29.2	12/11/2015	30	29.2
14/10/2015	23	22.1	13/11/2015	28	20.1
15/10/2015	24	25.6			
16/10/2015	26	25.4			
18/10/2015	25	25.9			
19/10/2015	28	27.6			
20/10/2015	26	22.4			
21/10/2015	24	26.5			
22/10/2015	23	26.3			
23/10/2015	29	27.7			
25/10/2015	29	24.6			
26/10/2015	26	22.7			
27/10/2015	27	28.2			
28/10/2015	25	25.1			
29/10/2015	24	22.3			
30/10/2015	22	27.4			
31/10/2015	25	25.5			
El molino "Cristo Morado" utiliza diferentes temperaturas para las diferentes humedades:					
			Humedad:	20% a 25%	
			Temperatura:	50°C	
			Humedad:	25% a 30%	
			Temperatura:	60°C	

*Φυεντε: Προπια.*

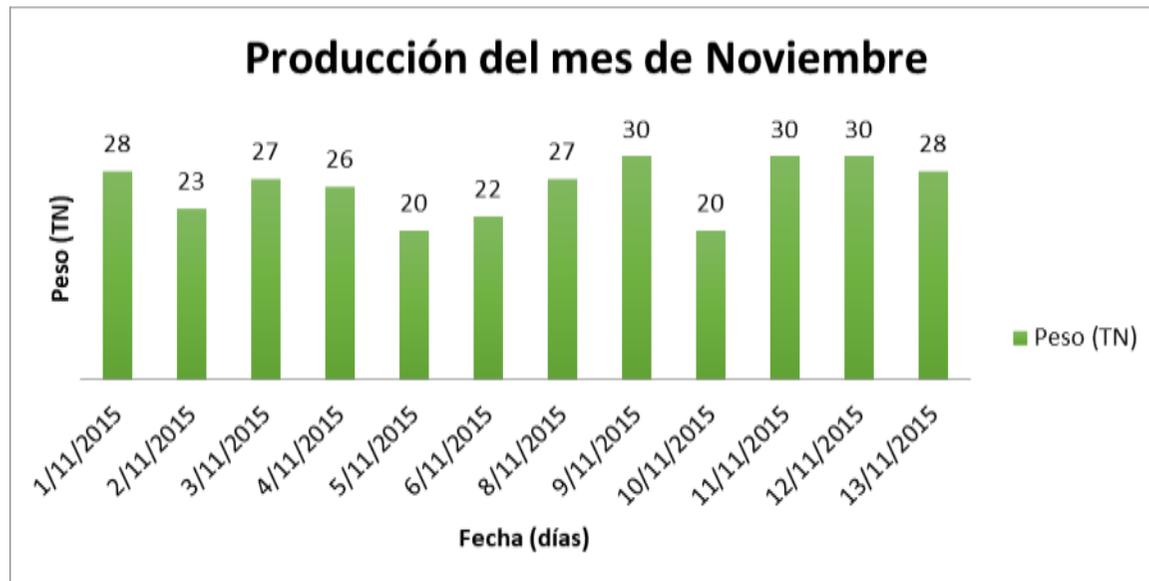
Los diagramas que se muestra a continuación muestra las proporciones de materia prima que ingresaron a la molinera “Cristo Morado”, podemos apreciar que en el mes de octubre las cantidades de materia prima fluctuan en un rango entre 21 a 29 toneladas – día, lo cual nos permite referenciar las cantidades producidas en dicho mes, todo esto tiene como finalidad tener como referencia la producción de la cámara de secado en el mes de octubre.



Γράφημα 1: Διαγραμμα δελ Πεσο (T

*ν) ποσ Τιεμπο (Οχτυβρε). Φυεντε: Προπια.*

En el gráfico 2 se puede apreciar los índices diarios de materia prima que ingresaron en el mes de noviembre, estos valores se obtuvieron en un plazo de 12 días, aquí se aprecia que en la segunda semana de dicho mes, las proporciones de materia prima llegan a las 30 toneladas por día lo cual favorece a la empresa, y la cantidad es proporcional a la capacidad de la cámara de secado, en el caso que la cantidad exceda, la materia restante procede a esperar a que el proceso culmine.



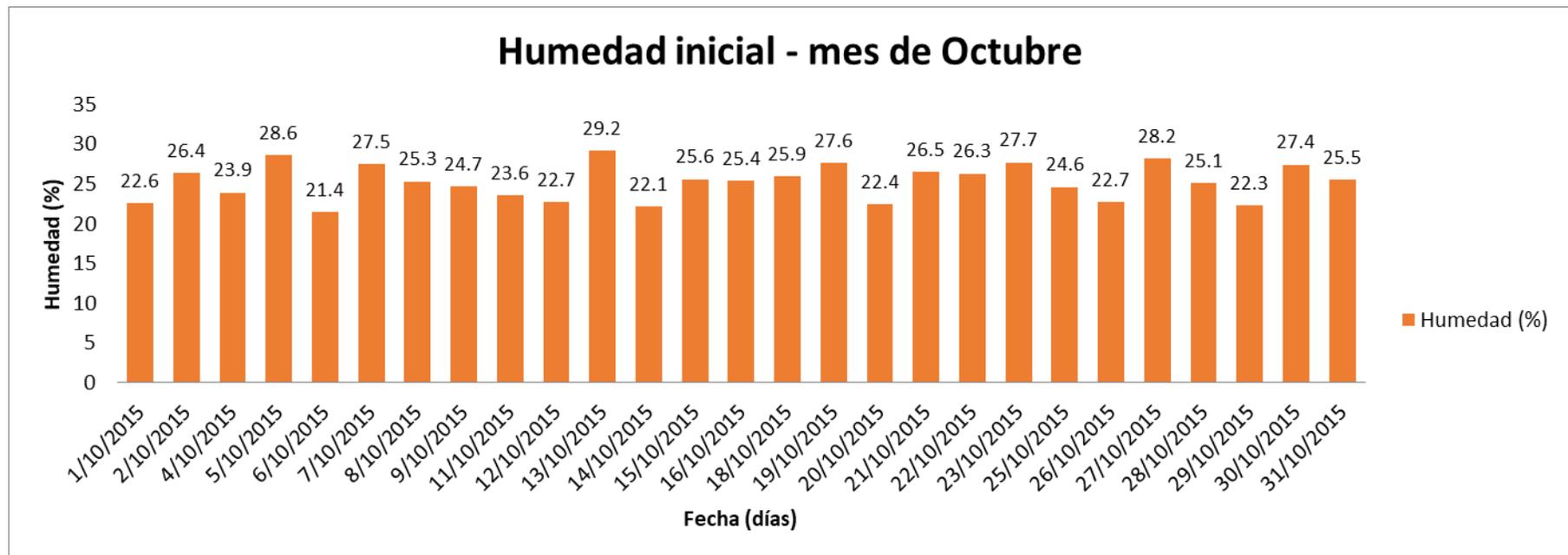
Γράφημα 2: Διαγράμμα δελ Πεσο (TN) πω Τιεμπο (Νοπιεμβ

ρε). Φυεντε: Προπια.

\* En los gráficos mostrados se observa que los lotes ingresados cada día son diferentes, entonces se deduce que el tiempo de secado dependerá también de la cantidad ingresada a la cámara de secado.

### DIAGRAMA DE HUMEDAD INICIAL (%) EN LOS MESES DE OCTUBRE Y NOVIEMBRE

El gráfico 3 está en función a la humedad y el tiempo, el grado de humedad es un valor muy importante en el proceso de secado, al encontrarse con índices de humedad elevados, el proceso de secado se prolongará más. En el cuadro siguiente se aprecia que el porcentaje de humedad se encuentra en los rangos que la molinera considera favorables (20% - 30% de humedad). La fluctuación de la humedad obedece a que la materia prima proviene de diferentes lugares, por lo general la materia que proviene de la selva contiene mayor porcentaje de humedad.



υχο 3: Διαγραμμα δε Ηυμεδαδ (%) ποσ Τιεμπο (Οχτυβρε). Φυενητε: Προπηα.

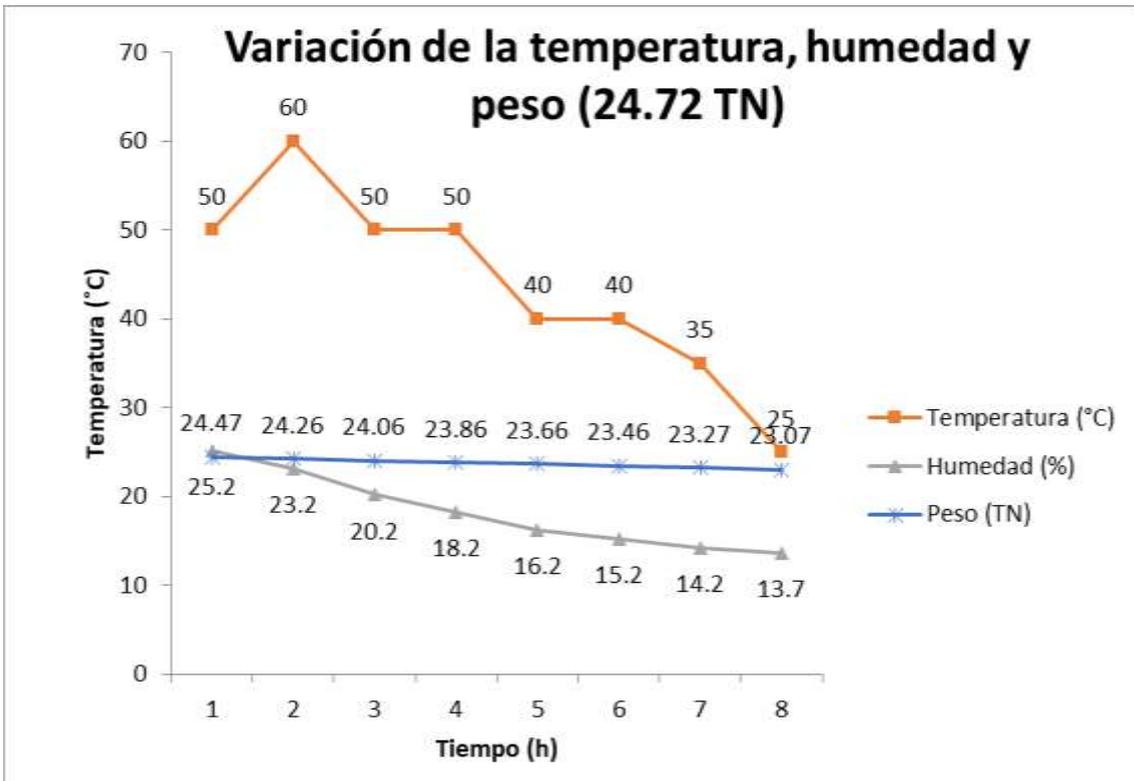
Γρ(φ

El gráfico 4 proporciona valores, que en su mayoría se encuentran entre 20% y 25% humedad, aunque algunos días llegó hasta el 29% de humedad, al mantener rangos semejantes al 20% esto favorece al proceso de secado, reduciendo el tiempo en la cámara de secado.



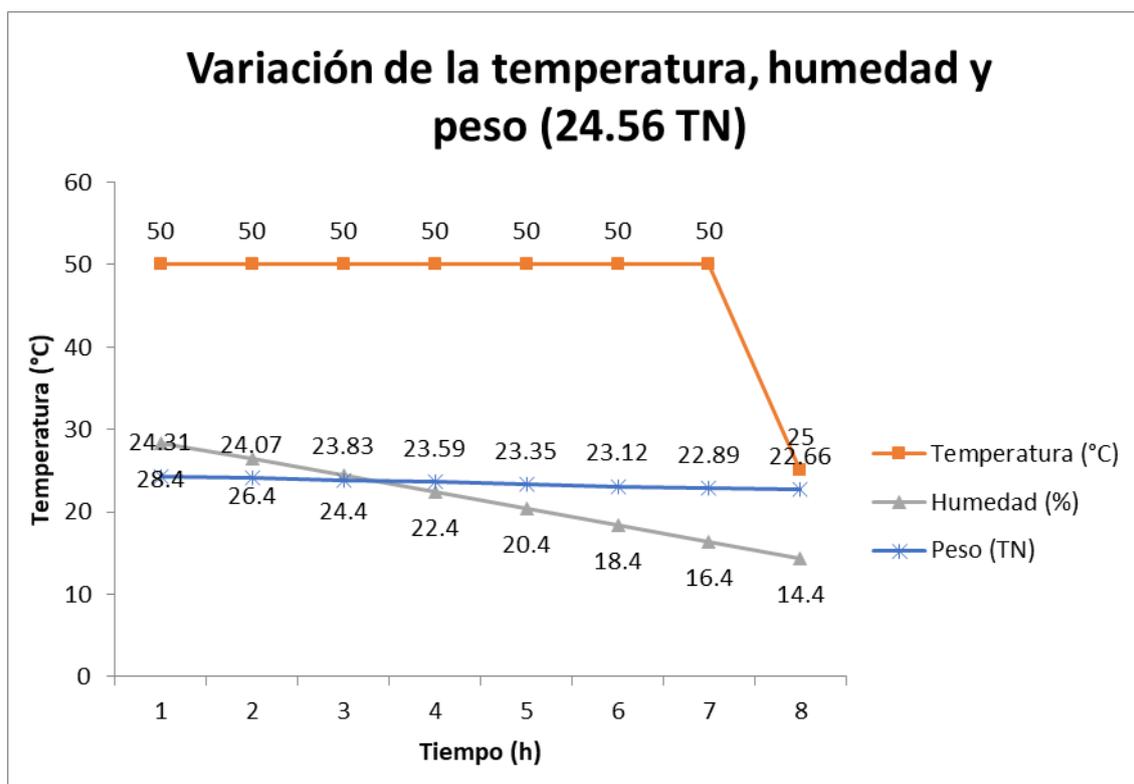
*Γράφημα 4:* Διαγραμμα δε λα Ηυμεδαδ (%) πσ Τιεμπο (Νοπιεμβρε). Φυεντε: Προπια.

\* Estos datos determinarán el rango que va a tener nuestro sensor de humedad, es decir que la humedad con la que ingresará a la cámara estará con un porcentaje máximo del 30% y tendrá que disminuir hasta un rango de 13.5 o 14% dependiendo del porcentaje inicial con el que ingresará a la cámara de secado



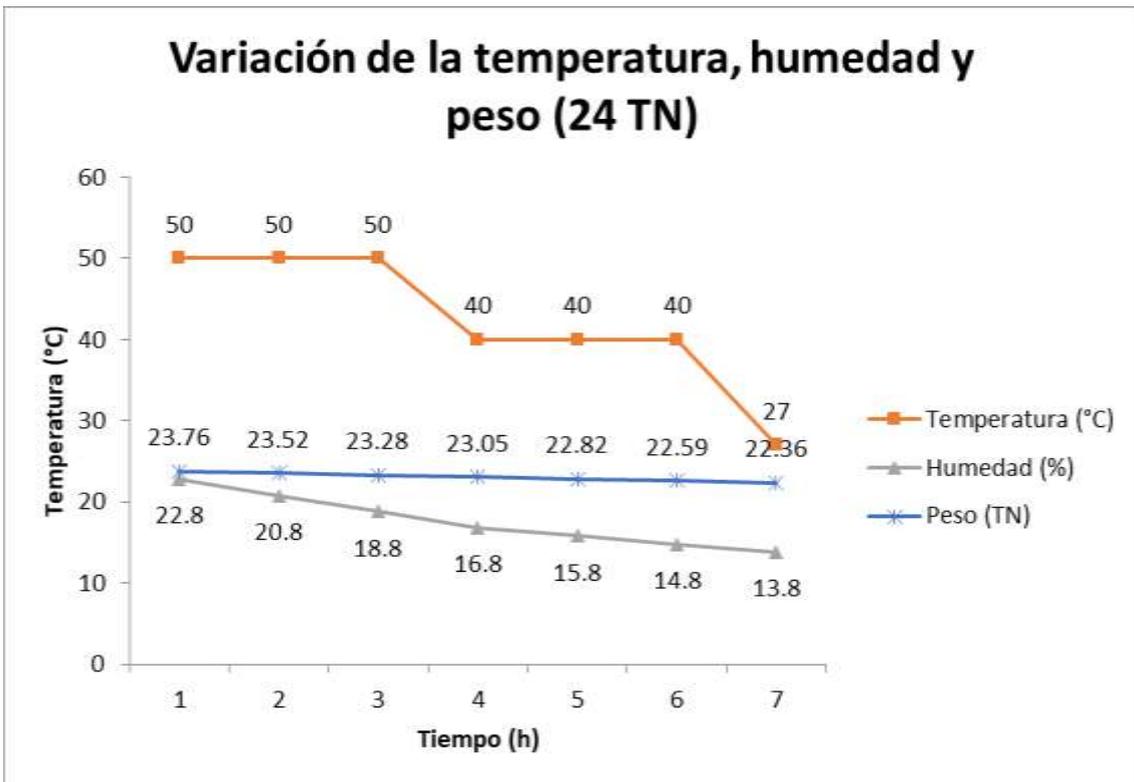
*Γράφηκο 5:* Ρεσουλταδος δε λος δατος οβτενιδος εν υν λοτε. Φυεντε: Προπια.

El proceso de secado inicia con un peso de 24.72 toneladas de arroz a temperatura de 50° C y una humedad de 25.2%, se aprecia que al transcurrir el tiempo la temperatura varía, esto según el rango de humedad, con la finalidad que la materia prima no pierda sus propiedades, al finalizar todo el proceso se reduce 1.4 toneladas debido al porcentaje de humedad con la que ingresa.



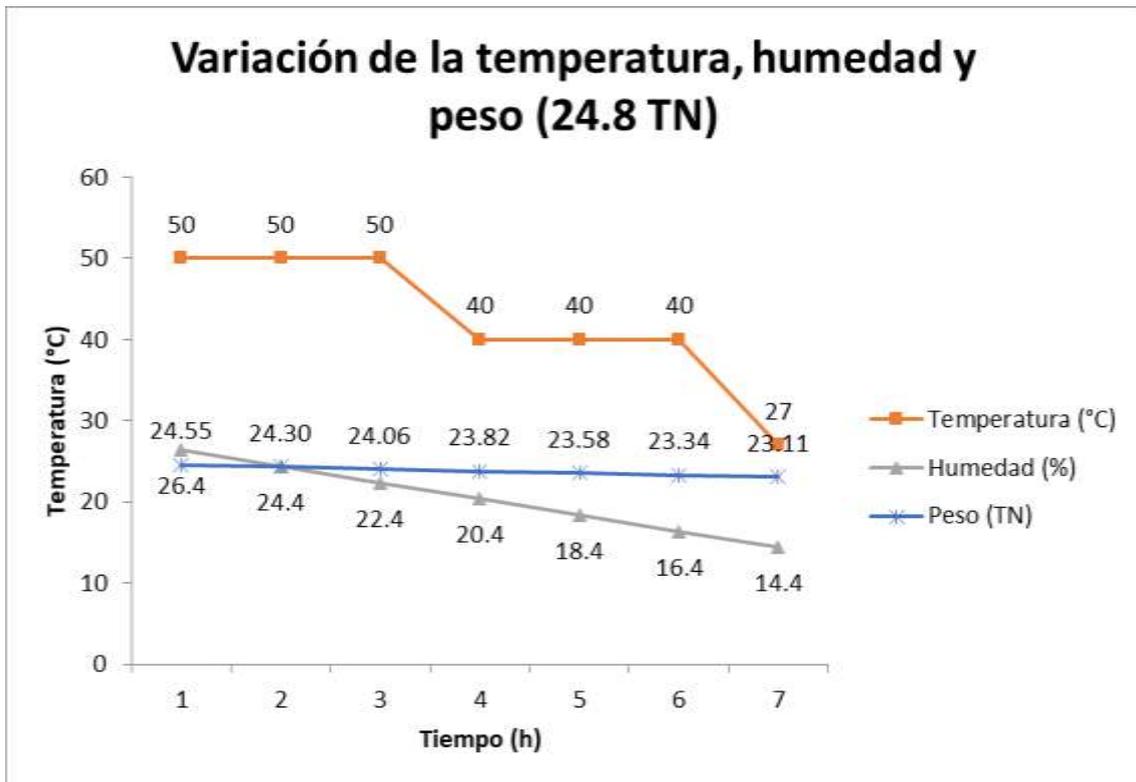
*Γράφημα 6:* Ρεσυλταδος δε λος δατος οβτενιδος εν υν λοτε. **Φυεντε: Προπια.**

En el gráfico podemos apreciar una que inicia con un peso de 24.56 toneladas de arroz en cáscara a temperatura inicial de 50°C y una humedad de 28.4%, la temperatura permanece constante por un periodo de 8 horas, la proporción de humedad que disminuye por cada hora es de 2%, llegando así a la humedad requerida 14.4%, al finalizar todo el proceso se reduce 1.9 toneladas.



*Γράφημο 7:* Ρεσουλταδος δε λος δατος οβτενιδος εν υν λοτε. **Φυεντε: Προπια.**

En el siguiente proceso se muestra temperaturas de trabajo de 50 °C y 40°C, y peso de 24 toneladas, las proporciones que disminuyen según el grado de humedad son 2% y 1.5% humedad respecto a las temperaturas antes mencionadas, el tiempo de secado para este proceso se realizó en 7 horas, al finalizar todo el proceso se reduce 1.64 toneladas de arroz en cáscara.



*Γράφημο 8:* Ρεσουλταδος δε λος δατος οβτενιδος εν υν λοτε. **Φυεντε: Προπια.**

El proceso se realizó a temperatura constante (50°C) con un peso de 24.8 toneladas y una proporción de humedad inicial de 26.4% humedad, según el rango de temperatura la proporción de humedad que se pierde es de 2% según la temperatura de antes mencionada, así mismo el periodo de trabajo para la humedad ideal fué de 7 horas, al finalizar todo el proceso se reduce 1.69 toneladas de arroz en cáscara.

## **Pruebas para la obtención de datos.**

Para obtener información a detalle del proceso de secado automatizado, recurrimos a la molinera Chiclayo quienes nos proporcionaron información sobre su proceso automatizado.

El proceso tiene como finalidad realizar un trabajo automático, bajo la supervisión del operador, el cual crea un registro para verificar cualquier variación brusca en la temperatura y humedad.

En este registro se mide la cantidad de humedad que posee el arroz, obteniendo tres mediciones para una mayor exactitud, este proceso suele ser realizado cada hora, con el propósito analizar el grado de humedad en función a temperatura de la cámara de secado, como se puede ver en el siguiente cuadro.

Las características del formato permiten tomar las temperaturas de entrada y salida, con la finalidad manejar con mayor exactitud los rangos de temperatura.

## **Conclusión de la obtención de los datos**

El porcentaje de humedad permite apreciar las proporciones de humedad que se pierden a medida que transcurre el tiempo, hasta llegar al porcentaje ideal (14% de humedad).

Los resultados nos indican que se pierde un 2% de humedad por cada hora a temperaturas que alcanzan un rango de 50°C a 60°C.

En relación al peso se concluye que en mayor porcentaje de humedad mayor será la pérdida de peso, llegando hasta un 10% de su masa.

CONTROL OPERACIONAL DE SECADORA DE ARROZ - MOLINO CHICLAYO								
FECHA:	<u>01/09/2014</u>	TURNO:	<u>Día</u>	<b>PRE LIMPIEZA</b>				
CLIENTE	<u>Balerio Robinson</u>	PESO:	<u>247.20</u>	SILO HUMEDO N°	<u>4</u>			
SACOS	<u>309</u>	%HUMD.:	<u>26%</u>	H. INICIO	<u>                    </u>			
VARIEDAD	<u>Esperanza</u>			H. TERMINO	<u>                    </u>			
<b>SECADORA N° 01</b>								
H. INICIO LLENADO:		<u>11:40 p.m.</u>	H. INICIO SECADO:		<u>01:40 p.m.</u>	H. INICIO DESCARGA:		
H. FINAL LLENADO:		<u>01:40 p.m.</u>	H. FINAL SECADO:		<u>11:40 p.m.</u>	H. FINAL DESCARGA:		
OP. INICIO: <u>Elmer</u>				OP. FINAL: <u>Elmer</u>				
HORA	% HUMEDAD			T° ENT. AIRE	T° SAL. AIRE	T° GRANO	H.R	T° AMB.
01:40 p.m.	25.2	25.1	25.3	35	20			
02:40 p.m.	23.2	23.1	23.3	39	24			
03:40 p.m.	20.2	20.1	20.3	42	26			
04:40 p.m.	18.2	18.4	18.3	44	27			
05:40 p.m.	16.2	16.4	16.3	43	28			
08:40 a.m.	16.2	16.4	16.3	35	20			
09:40 a.m.	15.2	15.4	15.3	37	24			
10:40 a.m.	14.5	14.4	14.3	42	26			
11:40 a.m.	13.6	13.7	13.5	44	28			
OBSERVACION: <u>Se continuo pilando el 02/09 a las 8:40am</u>								
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; width: 40%;"> FECHA: _____  CLIENTE: _____  SACOS: _____  H.F.: _____ </div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; width: 40%;"> FECHA: _____  CLIENTE: _____  SACOS: _____  H.F.: _____ </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; width: 40%;"> FECHA: _____  CLIENTE: _____  SACOS: _____  H.F.: _____ </div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; width: 40%;"> FECHA: _____  CLIENTE: _____  SACOS: _____  H.F.: _____ </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; width: 40%;"> FECHA: _____  CLIENTE: _____  SACOS: _____  H.F.: _____ </div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; width: 40%;"> FECHA: _____  CLIENTE: _____  SACOS: _____  H.F.: _____ </div> </div>								

*Cuadro 1: Control de operación del 01/09*

\* Como se observa en la hoja de control, la humedad empieza a descender a medida que se le suministra el calor, todo este proceso se realiza durante 7 horas, debido al alto porcentaje de humedad del grano.

CONTROL OPERACIONAL DE SECADORA DE ARROZ - MOLINO CHICLAYO								
FECHA:	<u>02/09/2014</u>		TURNO:	<u>Dia</u>		<b>PRE LIMPIEZA</b>		
CLIENTE	<u>Balerio Robinson</u>		PESO:	<u>                    </u>		SILO HUMEDO N°	<u>3</u>	
SACOS	<u>307</u>		%HUMD.:	<u>28%</u>		H. INICIO	<u>                    </u>	
VARIEDAD	<u>Esperanza</u>					H. TERMINO	<u>                    </u>	
<b>SECADORA N° 02</b>								
H. INICIO LLENADO:	<u>08:20 a.m.</u>		H. INICIO SECADO:	<u>09:20 a.m.</u>		H. INICIO DESCARGA:	<u>08:15 a.m.</u>	
H. FINAL LLENADO:	<u>09:20 a.m.</u>		H. FINAL SECADO:	<u>04:20 p.m.</u>		H. FINAL DESCARGA:	<u>09:15 a.m.</u>	
OP. INICIO:	<u>Elmer</u>			OP. FINAL:	<u>Elmer</u>			
HORA	% HUMEDAD			T° ENT. AIRE	T° SAL. AIRE	T° GRANO	H.R	T° AMB.
09:20 a.m.	28.4	28.3	28.5	35	22			
10:20 a.m.	26.4	26.3	26.5	39	24			
11:20 a.m.	24.4	24.3	24.5	44	25			
12:20 p.m.	22.4	22.3	22.5	46	26			
01:20 p.m.	20.4	20.3	20.5	47	27			
02:20 p.m.	18.4	18.3	18.5	46	29			
03:20 p.m.	16.4	16.3	16.5	45	31			
04:20 p.m.	14.4	14.3	14.3	44	32			
OBSERVACION: <u>El 03/09 se ha empesado la descarga a las 8:20</u>								
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; width: 40%;">           FECHA: _____            CLIENTE: _____            SACOS: _____            H.F.: _____         </div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; width: 40%;">           FECHA: _____            CLIENTE: _____            SACOS: _____            H.F.: _____         </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; width: 40%;">           FECHA: _____            CLIENTE: _____            SACOS: _____            H.F.: _____         </div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; width: 40%;">           FECHA: _____            CLIENTE: _____            SACOS: _____            H.F.: _____         </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; width: 40%;">           FECHA: _____            CLIENTE: _____            SACOS: _____            H.F.: _____         </div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; width: 40%;">           FECHA: _____            CLIENTE: _____            SACOS: _____            H.F.: _____         </div> </div>								

*Cuadro 2: Control de operación del 02/09*

\* Como se observa en la hoja de control, la humedad empieza a descender a medida que se le suministra el calor, todo este proceso se realiza en 7 horas, debido al alto porcentaje de humedad del grano.

CONTROL OPERACIONAL DE SECADORA DE ARROZ - MOLINO CHICLAYO								
FECHA:	<u>04/09/2014</u>	TURNO:	<u>Día</u>	<b>PRE LIMPIEZA</b>				
CLIENTE	<u>Balerio Robinson</u>	PESO:	<u>                    </u>	SILO HUMEDO N°	<u>                    </u>	<u>3</u>		
SACOS	<u>310</u>	%HUMD.:	<u>26%</u>	H. INICIO	<u>                    </u>	<u>                    </u>		
VARIEDAD	<u>                    </u>			H. TERMINO	<u>                    </u>	<u>                    </u>		
<b>SECADORA N° 02</b>								
H. INICIO LLENADO:	<u>11:00 a.m.</u>	H. INICIO SECADO:	<u>12:00 p.m.</u>	H. INICIO DESCARGA:	<u>08:10 a.m.</u>			
H. FINAL LLENADO:	<u>12:00 a.m.</u>	H. FINAL SECADO:	<u>06:00 p.m.</u>	H. FINAL DESCARGA:	<u>09:10 a.m.</u>			
OP. INICIO:	<u>Elmer</u>			OP. FINAL:	<u>Elmer</u>			
HORA	% HUMEDAD			T° ENT. AIRE	T° SAL. AIRE	T° GRANO	H.R	T° AMB.
12:00 p.m.	26.34	26.5	26.3	35	22			
01:00 p.m.	24.4	24.5	24.3	40	24			
02:00 p.m.	22.4	22.5	22.3	44	26			
03:00 p.m.	20.4	20.5	20.3	46	28			
04:00 p.m.	18.4	18.5	18.3	47	29			
05:00 p.m.	16.4	16.5	16.3	48	30			
06:00 p.m.	14.4	14.5	14.3	47	32			
OBSERVACION: <u>El 05/09 se descargo a las 8:10</u>								
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; width: 40%;">           FECHA: _____            CLIENTE: _____            SACOS: _____            H.F.: _____         </div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; width: 40%;">           FECHA: _____            CLIENTE: _____            SACOS: _____            H.F.: _____         </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; width: 40%;">           FECHA: _____            CLIENTE: _____            SACOS: _____            H.F.: _____         </div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; width: 40%;">           FECHA: _____            CLIENTE: _____            SACOS: _____            H.F.: _____         </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; width: 40%;">           FECHA: _____            CLIENTE: _____            SACOS: _____            H.F.: _____         </div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; width: 40%;">           FECHA: _____            CLIENTE: _____            SACOS: _____            H.F.: _____         </div> </div>								

*Cuadro 3: Control de operación del 04/09*

\* Como se observa en la hoja de control, la humedad empieza a descender a medida que se le suministra el calor, todo este proceso se realiza en 6 horas, debido al alto porcentaje de humedad del grano.

CONTROL OPERACIONAL DE SECADORA DE ARROZ - MOLINO CHICLAYO								
FECHA: <u>05/09/2014</u>		TURNO: <u>Dia</u>		<b><u>PRE LIMPIEZA</u></b>				
CLIENTE <u>Balerio Robinson</u>		PESO: _____		SILO HUMEDO N° _____		3		
SACOS <u>310</u>		%HUMD.: <u>26%</u>		H. INICIO _____		_____		
VARIEDAD _____		_____		H. TERMINO _____		_____		
<b><u>SECADORA N° 01</u></b>								
H. INICIO LLENADO: <u>08:20 a.m.</u>		H. INICIO SECADO: <u>09:20 a.m.</u>		H. INICIO DESCARGA: <u>03:30 p.m.</u>		_____		
H. FINAL LLENADO: <u>09:00 a.m.</u>		H. FINAL SECADO: <u>03:20 p.m.</u>		H. FINAL DESCARGA: <u>04:30 p.m.</u>		_____		
OP. INICIO: _____				OP. FINAL: _____				
HORA	% HUMEDAD			T° ENT. AIRE	T° SAL. AIRE	T° GRANO	H.R	T° AMB.
09:20 a.m.	26.8	26.9	26.7	35	20			
10:20 a.m.	24.8	24.9	24.7	38	22			
11:20 a.m.	22.8	22.9	22.7	39	24			
12:20 p.m.	20.8	20.9	20.7	44	26			
01:20 p.m.	18.8	18.9	18.7	45	28			
02:20 p.m.	16.5	16.6	14.4	46	30			
03:20 p.m.	14.5	14.6	14.4	45	32			
OBSERVACION: _____								
FECHA: _____ CLIENTE: _____ SACOS: _____ H.F.: _____				FECHA: _____ CLIENTE: _____ SACOS: _____ H.F.: _____				
FECHA: _____ CLIENTE: _____ SACOS: _____ H.F.: _____				FECHA: _____ CLIENTE: _____ SACOS: _____ H.F.: _____				
FECHA: _____ CLIENTE: _____ SACOS: _____ H.F.: _____				FECHA: _____ CLIENTE: _____ SACOS: _____ H.F.: _____				

*Cuadro 4: Control de operación del 05/09*

\* Como se observa en la hoja de control, la humedad empieza a descender a medida que se le suministra el calor, todo este proceso se realiza en 6 horas, debido al alto porcentaje de humedad del grano.

CONTROL OPERACIONAL DE SECADORA DE ARROZ - MOLINO CHICLAYO								
FECHA: <u>06/09/2014</u>		TURNO: <u>Día</u>		<b>PRE LIMPIEZA</b>				
CLIENTE: <u>Balerio R.</u>		PESO: _____		SILO HUMEDO N° _____		<u>1</u>		
SACOS: <u>300</u>		%HUMD.: <u>22%</u>		H. INICIO _____		H. TERMINO _____		
VARIEDAD _____								
<b>SECADORA N° 01</b>								
H. INICIO LLENADO: <u>08:20 a.m.</u>		H. INICIO SECADO: <u>09:20 a.m.</u>		H. INICIO DESCARGA: <u>12:30 p.m.</u>				
H. FINAL LLENADO: <u>09:20 a.m.</u>		H. FINAL SECADO: <u>01:20 p.m.</u>		H. FINAL DESCARGA: <u>01:30 p.m.</u>				
OP. INICIO: <u>Elmer</u>				OP. FINAL: <u>Elmer</u>				
HORA	% HUMEDAD			T° ENT. AIRE	T° SAL. AIRE	T° GRANO	H.R	T° AMB.
09:20 a.m.	22.6	22.4	22.5	35	20			
10:20 a.m.	20.6	20.4	20.5	40	24			
11:20 a.m.	18.6	18.4	18.5	46	26			
12:20 p.m.	16.6	16.4	16.5	47	28			
01:20 p.m.	14.6	14.4	14.5	46	30			
OBSERVACION: <u>El 08/09 se descargo por falta de silos</u>								
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; width: 40%;">           FECHA: _____            CLIENTE: _____            SACOS: _____            H.F.: _____         </div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; width: 40%;">           FECHA: _____            CLIENTE: _____            SACOS: _____            H.F.: _____         </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; width: 40%;">           FECHA: _____            CLIENTE: _____            SACOS: _____            H.F.: _____         </div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; width: 40%;">           FECHA: _____            CLIENTE: _____            SACOS: _____            H.F.: _____         </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; width: 40%;">           FECHA: _____            CLIENTE: _____            SACOS: _____            H.F.: _____         </div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; width: 40%;">           FECHA: _____            CLIENTE: _____            SACOS: _____            H.F.: _____         </div> </div>								

*Cuadro 5: Control de operación del 06/09*

\* Como se observa en la hoja de control, la humedad empieza a descender a medida que se le suministra el calor, todo este proceso se realiza en 4 horas, debido al bajo porcentaje de humedad del grano.

CONTROL OPERACIONAL DE SECADORA DE ARROZ - MOLINO CHICLAYO								
FECHA: <u>08/09/2014</u>		TURNO: <u>Día</u>		<b>PRE LIMPIEZA</b>				
CLIENTE <u>Balerio R.</u>		PESO: _____		SILO HUMEDO N° _____		1		
SACOS <u>315</u>		%HUMD.: <u>22%</u>		H. INICIO _____		H. TERMINO _____		
VARIEDAD _____								
<b>SECADORA N°</b>								
H. INICIO LLENADO: <u>03:10 p.m.</u>		H. INICIO SECADO: <u>04:10 p.m.</u>		H. INICIO DESCARGA: <u>12:20 p.m.</u>				
H. FINAL LLENADO: <u>04:10 p.m.</u>		H. FINAL SECADO: <u>12:10 p.m.</u>		H. FINAL DESCARGA: <u>01:20 p.m.</u>				
OP. INICIO: _____				OP. FINAL: _____				
HORA	% HUMEDAD			T° ENT. AIRE	T° SAL. AIRE	T° GRANO	H.R	T° AMB.
04:10 p.m.	22.8	22.9	22.7	35	20			
05:10 p.m.	20.8	20.9	20.7	44	24			
06:10 p.m.	18.8	18.9	18.7	45	26			
07:10 p.m.	16.8	16.9	16.7	44	28			
09:20 a.m.	16.8	16.9	16.7	35	20			
10:20 a.m.	15.8	15.9	15.7	38	24			
11:20 a.m.	14.8	14.9	14.7	44	26			
12:20 p.m.	13.8	13.9	13.7	44	28			
OBSERVACION: <u>el 09/09 se ha contiduando secando a las 09:00 pm</u>								
<div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; width: fit-content; margin: 0 auto;">           FECHA: _____            CLIENTE: _____            SACOS: _____            H.F.: _____         </div>				<div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; width: fit-content; margin: 0 auto;">           FECHA: _____            CLIENTE: _____            SACOS: _____            H.F.: _____         </div>				
<div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; width: fit-content; margin: 0 auto;">           FECHA: _____            CLIENTE: _____            SACOS: _____            H.F.: _____         </div>				<div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; width: fit-content; margin: 0 auto;">           FECHA: _____            CLIENTE: _____            SACOS: _____            H.F.: _____         </div>				
<div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; width: fit-content; margin: 0 auto;">           FECHA: _____            CLIENTE: _____            SACOS: _____            H.F.: _____         </div>				<div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; width: fit-content; margin: 0 auto;">           FECHA: _____            CLIENTE: _____            SACOS: _____            H.F.: _____         </div>				

*Cuadro 6: Control de operación del 08/09*

\* Como se observa en la hoja de control, la humedad empieza a descender a medida que se le suministra el calor, todo este proceso se realiza en 6 horas, debido al alto porcentaje de humedad del grano.

### Registro y análisis de los datos obtenidos en las pruebas.

El siguiente cuadro se observa la comparación del proceso de secado del molino “Cristo Morado” es el molino en el cual se está analizando su proceso de secado, el cual no cuenta con el sistema automatizado, con el molino Chiclayo que cuenta con el sistema automatizado con el propósito de analizar las mejoras que se obtiene al implementar un sistema automatizado al proceso de secado.

ANÁLISIS COMPARATIVOS DE DATOS - SEPTIEMBRE DEL 2015											
Proceso de Secado del Molino Chiclayo - Sistema automatizado						Proceso de Secado del Molino Cristo Morado - Sistema no automatizado					
Fecha	Humedad inicial	Humedad final	Tiempo (hr)	Temp (°C)	Cantidad (TN)	Fecha	Humedad inicial	Humedad final	Tiempo (hr)	Temp (°C)	Cantidad (TN)
01/09/2015	25.2	13.6	8	40.11	24.72	01/09/2015	23.6	13.9	10	60	28
02/09/2015	28.4	14.3	7	43.33	24.56	02/09/2015	27.4	14.2	13	60	23
02/09/2015	24.2	14.2	4	41.40	26.40	03/09/2015	24.9	13.8	11	50	27
04/09/2015	26.4	14.4	6	43.86	24.80	04/09/2015	29.6	14.2	15	60	26
04/09/2015	24.6	14.4	5	43.00	22.40	05/09/2015	20.4	13.7	8	50	20
05/09/2015	25.8	14.5	6	41.71	24.80	06/09/2015	28.5	14.3	14	60	22
05/09/2015	25.8	14.5	6	43.00	23.60	07/09/2015	No se trabajó				
06/09/2015	22.5	14.5	4	42.80	24.00	08/09/2015	24.3	14.1	16	60	27
08/09/2015	24.2	14.4	5	42.50	25.84	09/09/2015	25.7	13.7	12	60	30
08/09/2015	22.8	13.8	7	41.13	25.20	10/09/2015	22.6	13.6	9	50	20
08/09/2015	22.8	14.4	4	42.80	29.20	11/09/2015	20.7	13.5	8	60	30
09/09/2015	22.8	14.5	4	42.80	24.40	12/09/2015	30.2	14.1	16	60	30
10/09/2015	20.7	14.5	3	42.00	24.08	13/09/2015	20.1	13.6	12	60	60

Cuadro 7: Análisis comparativo de datos

En el cuadro comparativo anterior podemos visualizar indicadores de temperatura, tiempo, humedad y peso, la variable temperatura puede ser modificada de manera constante si es que el proceso lo requiere, cada sistema ya sea automatizado o no automatizado permite la modificación de esta variable.

En los sistemas automatizados la temperatura puede ser modificada desde un monitor o tablero de control de manera instantánea, generando un mayor control de esta variable y reduciendo los tiempos de secado.

En los sistemas no automatizados la temperatura puede modificarse pero no desde un tablero de control, sino directamente desde el horno, lo cual genera cierto riesgo y debido a esto cuentan con rangos de temperatura según la proporción de humedad.

En la mayoría de los casos los sistemas automatizados mejoran los tiempos de secado, esto se debe a que el sistema transmite valores más exactos en tiempo real y permite incrementar o disminuir la temperatura sí lo requiere el proceso.

En los sistemas convencionales por lo general se procede a medir el nivel de humedad inicial y de acuerdo al porcentaje de este se procede a determinar el grado de temperatura a la que será secado, en el transcurso del proceso se realizan muestreos del grado de humedad que la materia posee, con la finalidad de alcanzar el nivel requerido.

#### **4.1.2. Enfoque cualitativo**

Para determinar la importancia y la aceptación de los sistemas automatizados, se realizó la entrevista al especialista en el proceso de secado de la molinera Cristo Morado, al plantearle este tipo de implementación, creyeron conveniente e importante invertir en este tipo de proyectos para beneficio de la producción y de la empresa.

El especialista tiene como finalidad hacer las mediciones del porcentaje de humedad que posee la materia prima al ser sometido

al proceso de secado, así mismo se encarga de verificar los niveles de temperatura a los cuales se trabaja según el grado de humedad. Con la aprobación de la importancia de la implementación de este tipo de sistemas automatizados, por personal de la empresa, se cree conveniente la automatización para este tipo de procesos, a fin de reducir riesgos y crear mejoras en el área de secado.

#### 4.2. Cálculo de la radiación solar

Para el análisis se procederá a obtener los diferentes datos de temperatura y de radiación solar según, (Hargreaves y Samani ,2008). La Radiación solar incidente  $R_s$  se calcula con la Ecuación:

$$R_s = R_0 \times K_t \times (t_{max} - t_{min})^{0.5}$$

$R_s$  = Radiación Solar Incidente.

$R_0$  = Radiación Solar Extraterrestre (Tabla 20).

$K_t$  = Coeficiente Calculado.

$T_{máx}$  = Temperatura diaria máxima.

$T_{mín}$  = Temperatura diaria mínima.

Para el cálculo del coeficiente  $K_t$  tenemos la ecuación

$$K_t = 0.229 + 0.508\left(\frac{n}{N}\right)$$

$n$  = Número de horas de sol reales

$N$  = Número máximo teórico de horas de sol (Tabla 21)

Para encontrar el valor de  $R_s$  (Radiación Solar Incidente), se utiliza valores de las siguientes tablas:

**Ταβλα 20:**

*Ραδιαχι  $\dot{\nu}$  Σολαρ εξτρατερρεστρε εν  $MJ m^{-2} d^{-1}$*

HEMISFERIO SUR												
Lat deg.	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Junio	Julio	Agos	Sep	Oct	Nov	Dic
70	41.4	28.6	15.8	4.9	0.2	0.0	0.0	2.2	10.7	23.5	37.3	45.3
68	41.0	29.3	16.9	6.0	0.8	0.0	0.0	3.2	11.9	24.4	37.4	44.7
66	40.9	30.0	18.1	7.2	1.5	0.1	0.5	4.2	13.1	25.4	37.6	44.1
64	41.0	30.8	19.3	8.4	2.4	0.6	1.2	5.3	14.4	26.3	38.0	43.9
62	41.2	31.5	20.4	9.6	3.4	1.2	2.0	6.4	15.5	27.2	38.3	43.9
60	41.5	32.3	21.5	10.8	4.4	2.0	2.9	7.6	16.7	28.1	38.1	43.9
58	41.7	33.0	22.6	12.0	5.5	2.9	3.9	8.7	17.9	28.9	39.1	44.0
56	42.0	33.7	23.6	13.2	6.6	3.9	4.9	9.9	19.0	29.8	39.5	44.1
54	42.2	34.3	24.6	14.4	7.7	4.9	6.0	11.1	20.1	30.6	39.9	44.3
52	42.5	35.0	25.6	15.6	8.8	6.0	7.1	12.2	21.2	31.4	40.2	44.4
50	42.7	35.6	26.6	16.7	10.0	7.1	8.2	13.4	22.2	32.1	40.6	44.5
48	42.9	36.2	27.5	17.9	11.1	8.2	9.3	14.6	23.3	32.8	40.9	44.5
46	43.0	36.7	28.4	19.0	12.3	9.3	10.4	15.7	24.3	33.5	41.1	44.6
44	43.2	37.2	29.3	210.1	13.5	10.5	11.6	16.8	25.2	34.1	41.4	44.6
42	43.3	37.7	30.1	21.2	14.6	11.6	12.8	18.0	26.2	34.7	41.6	44.6
40	43.4	38.1	30.9	22.3	15.8	12.8	13.9	19.1	27.1	35.3	41.8	44.6
38	43.4	38.5	31.7	23.3	16.9	13.9	15.1	20.2	28.0	35.8	41.9	44.5
36	43.4	38.9	32.4	24.3	18.1	15.1	16.2	21.2	28.8	36.3	42.0	44.4
34	43.4	39.2	33.0	25.3	19.2	16.6	17.4	22.3	29.6	36.7	42.0	44.3
32	43.3	39.4	33.7	26.3	20.3	17.4	18.5	23.3	30.4	37.1	42.0	44.3
30	43.1	39.6	34.3	27.2	21.4	18.5	19.6	24.3	31.1	37.5	42.0	43.9
28	43.0	39.8	34.8	28.1	22.5	19.7	20.7	25.3	31.8	37.8	41.9	43.6
26	42.8	39.9	35.3	29.0	23.5	20.8	21.8	26.3	32.5	38.0	41.8	43.3
24	42.5	40.0	35.8	29.8	24.6	21.9	22.9	27.2	33.1	38.3	41.7	43.0
22	42.2	40.1	36.2	30.6	25.6	23.0	24.0	28.1	33.7	38.4	41.4	42.6
20	41.9	40.0	36.6	31.3	26.6	24.1	25.0	28.9	34.2	38.6	41.2	42.1
18	41.5	40.0	37.0	32.1	27.5	25.1	26.0	29.8	34.7	38.7	40.9	41.7
16	41.1	39.9	37.2	32.8	28.5	26.2	27.0	30.6	35.2	38.7	40.6	41.2
14	40.6	39.7	37.5	33.4	29.4	27.2	27.9	31.3	35.6	38.7	40.2	40.6
12	40.1	39.6	37.7	34.0	30.2	28.1	28.9	32.1	36.0	38.6	39.8	40.0
10	39.5	39.3	37.8	34.6	31.1	29.1	29.8	32.8	36.3	38.5	39.3	39.4
8	38.9	39.0	37.9	35.1	31.9	30.0	30.7	33.4	36.6	38.4	38.8	38.7
6	38.3	38.7	38.0	35.6	32.7	30.9	31.5	34.0	36.8	38.2	38.2	38.0
4	37.6	38.3	38.0	36.0	33.4	31.8	32.3	34.6	37.0	38.0	37.6	37.2
2	36.9	37.9	38.0	36.4	34.1	32.6	33.1	33.1	35.2	37.1	37.7	36.4
0	36.2	37.5	37.9	36.8	34.8	33.4	33.9	35.7	37.2	37.4	36.3	35.6

*Φυεντε:* (φαο, 1998)

Para tomar correctamente el valor de la radiación Solar según el mes que corresponde se necesita la latitud de la zona donde va estar ubicado el prototipo la cual se obtendrá de la figura, la cual es información proporcionada por Google Earth.

Λογίτυδ ψ λατιτυδ δε λα ζονα εν εστυδιο

*Ελυστραχι fν 40: Λογίτυδ ψ Λατιτυδ δε λα Υνιπερσιδαδ Σε)ορ δε Σιπ(ν.*

**Φυεντε:** Γοογλε Εαρτη.

**Ταβλα 21:**

Ηορα δε σαλιδα δελ σολ (ΗΣ), ηορα δε πυεστα δελ σολ (ΗΠ) ψ δυραχι fν αστρον fμια δελ δfα (N), παρα διφερεντεσ λατιτυδεσ

Lat (S)	0°			2°			4°			6°			8°		
	HS	HP	N												
Ene	06:06	18:13	12.1	06:03	18:16	12.2	06:00	18:19	12.3	05:56	18:22	12.4	05:53	18:26	12.6
Feb	06:11	18:18	12.1	06:09	18:19	12.2	06:07	18:21	12.2	06:05	18:23	12.3	06:03	18:25	12.4
Mar	06:06	18:12	12.1	06:05	18:12	12.1	06:05	18:13	12.1	06:05	18:13	12.1	06:04	18:13	12.2
Abr	05:57	18:03	12.1	05:58	18:02	12.1	05:59	18:01	12.0	06:01	17:59	12.0	06:02	17:58	11.9
May	05:53	18:00	12.1	05:56	17:57	12.0	05:58	17:54	11.9	06:01	17:52	11.9	06:04	17:49	11.8
Jun	05:57	18:04	12.1	06:00	18:01	12.0	06:04	17:57	11.9	06:07	17:54	11.8	06:11	17:50	11.7
Jul	06:02	18:10	12.1	06:06	18:06	12.0	06:09	18:03	11.9	06:12	18:00	11.8	06:15	17:57	11.7
Ago	06:01	18:08	12.1	06:03	18:06	12.1	06:05	18:04	12.0	06:07	18:02	11.9	06:09	18:00	11.9
Set	05:52	17:58	12.1	05:52	17:58	12.1	05:53	17:58	12.1	05:53	17:57	12.1	05:54	17:57	12.1
Oct	05:42	17:49	12.1	05:41	17:50	12.2	05:40	17:52	12.2	05:39	17:53	12.2	05:38	17:54	12.3
Nov	05:41	17:48	12.1	05:35	17:51	12.3	05:36	17:54	12.3	05:33	17:56	12.4	05:30	17:59	12.5
Dic	05:51	17:59	12.1	05:48	18:02	12.2	05:45	18:06	12.4	05:41	18:09	12.5	05:38	18:13	12.6

**Φυεντε:** (Σεναμηι, 2003).

Con los datos que obtenemos de la tabla 21 y la Latitud de la figura se calcula La Radiación solar incidente para el mes de Enero hasta Diciembre, se toma la latitud de 6° en la tabla 20, los datos de temperatura máxima y mínima están en la referencia. Para el cálculo de  $K_t$ , se toma el valor de  $N$  de la Tabla 21 siendo  $N= 12$  horas teóricas, el valor de  $n = 9$  horas avilés de sol.

$$K_t = 0.229 + 0.508 \left( \frac{n}{N} \right)$$

$$K_t = 0.229 + 0.508 \left( \frac{9}{12} \right)$$

$$K_t = 0.61$$

Enero:

$$R_0 = 38.3 \frac{Mjulios}{m^2 \text{ día}}$$

$$K_t = 0.61$$

$$t_{max} = 31^\circ C$$

$$t_{min} = 21^\circ C$$

$$\frac{J}{s} = W$$

$$R_s = R_0 \times K_t \times (t_{max} - t_{min})^{0.5}$$

$$R_s = 38.3 \frac{Mjulios}{m^2 \text{ día}} \times 0.61 \times (31 - 21)^{0.5}$$

$$R_s = 38.3 \frac{Mjulios}{m^2 \text{ día}} \times \frac{1 \text{ día}}{86400s} \times 0.61 \times (10)^{0.5}$$

$$R_s = 443.287 \frac{J}{m^2 s} \times 0.61 \times (10)^{0.5}$$

$$R_s = 855,095 \frac{W}{m^2}$$

Febrero:

$$R_s = 38.7 \frac{Mjulios}{m^2 \text{ día}} \times \frac{1 \text{ día}}{86400s} \times 0.61 \times (34 - 22)^{0.5}$$

$$R_s = 447.917 \frac{J}{m^2 s} \times 0.61 \times (12)^{0.5}$$

$$R_s = 946,494 \frac{W}{m^2}$$

Marzo:

$$R_s = 38.0 \frac{Mjulios}{m^2 \text{ día}} \times \frac{1 \text{ día}}{86400s} \times 0.61 \times (34 - 21)^{0.5}$$

$$R_s = 439.816 \frac{J}{m^2 s} \times 0.61 \times (13)^{0.5}$$

$$R_s = 967,325 \frac{W}{m^2}$$

Abril:

$$R_s = 35.6 \frac{Mjulios}{m^2 \text{ día}} \times \frac{1 \text{ día}}{86400s} \times 0.61 \times (33 - 18)^{0.5}$$

$$R_s = 412.037 \frac{J}{m^2 s} \times 0.61 \times (15)^{0.5}$$

$$R_s = 973,446 \frac{W}{m^2}$$

Mayo:

$$R_s = 32.7 \frac{Mjulios}{m^2 \text{ día}} \times \frac{1 \text{ día}}{86400s} \times 0.61 \times (31 - 17)^{0.5}$$

$$R_s = 378.472 \frac{J}{m^2 s} \times 0.61 \times (14)^{0.5}$$

$$R_s = 863,828 \frac{W}{m^2}$$

Junio:

$$R_s = 30.9 \frac{Mjulios}{m^2 \text{ día}} \times \frac{1 \text{ día}}{86400s} \times 0.61 \times (27 - 14)^{0.5}$$

$$R_s = 357.639 \frac{J}{m^2 s} \times 0.61 \times (13)^{0.5}$$

$$R_s = 786,586 \frac{W}{m^2}$$

Julio:

$$R_s = 31.5 \frac{Mjulios}{m^2 \text{ día}} \times \frac{1 \text{ día}}{86400s} \times 0.61 \times (25 - 16)^{0.5}$$

$$R_s = 364.583 \frac{J}{m^2 s} \times 0.61 \times (9)^{0.5}$$

$$R_s = 667,187 \frac{W}{m^2}$$

Agosto:

$$R_s = 34.0 \frac{Mjulios}{m^2 \text{ día}} \times \frac{1 \text{ día}}{86400s} \times 0.61 \times (25 - 16)^{0.5}$$

$$R_s = 393.519 \frac{J}{m^2 s} \times 0.61 \times (9)^{0.5}$$

$$R_s = 720,139 \frac{W}{m^2}$$

Septiembre:

$$R_s = 36.8 \frac{Mjulios}{m^2 \text{ día}} \times \frac{1 \text{ día}}{86400s} \times 0.61 \times (25 - 16)^{0.5}$$

$$R_s = 425.926 \frac{J}{m^2 s} \times 0.61 \times (9)^{0.5}$$

$$R_s = 779,445 \frac{W}{m^2}$$

Octubre:

$$R_s = 38.2 \frac{Mjulios}{m^2 \text{ día}} \times \frac{1 \text{ día}}{86400s} \times 0.61 \times (25 - 16)^{0.5}$$

$$R_s = 442.130 \frac{J}{m^2 s} \times 0.61 \times (9)^{0.5}$$

$$R_s = 809,098 \frac{W}{m^2}$$

Noviembre:

$$R_s = 38.2 \frac{Mjulios}{m^2 \text{ día}} \times \frac{1 \text{ día}}{86400s} \times 0.61 \times (27 - 17)^{0.5}$$

$$R_s = 442.130 \frac{J}{m^2 s} \times 0.61 \times (10)^{0.5}$$

$$R_s = 852,864 \frac{W}{m^2}$$

Diciembre:

$$R_s = 38.0 \frac{Mjulios}{m^2 \text{ día}} \times \frac{1 \text{ día}}{86400s} \times 0.61 \times (29 - 18)^{0.5}$$

$$R_s = 439.816 \frac{J}{m^2 s} \times 0.61 \times (11)^{0.5}$$

$$R_s = 889.807 \frac{W}{m^2}$$

**Ταβλα 22:**

Χυαδρο ρεσυμεν δε λα Ραδιαχι (ν Σολαρ ινχιδεντε οβτενιδα πορ μεσεσ

<b>RADIACIÓN SOLAR INCIDENTE</b>	
<b>MESES</b>	<b><i>W/m<sup>2</sup></i></b>
Enero	855.095
Febrero	946.494
Marzo	967.325
Abril	973.446
Mayo	863.828
Junio	786.586
Julio	<b>667.187</b>
Agosto	720.139
Septiembre	779.445
Octubre	809.098
Noviembre	852.864
Diciembre	889.807

Φυεντε: Προπια.

### 4.3. Método de diseño

En la presente sección se seguirá la metodología de diseño aplicada en el curso de Diseño de Sistemas Mecánicos.

El objetivo principal es el de conseguir un secador de arroz hasta un rango de 12% a 14% de contenido de humedad en el grano de arroz, este ejemplar nos sirve para tener un enfoque de secado a diferentes temperaturas para obtener un grano de calidad.

La problemática es que el secado natural trae problemas de quebrantamiento de grano, esto se debe a que no se tiene un control de la temperatura.

Teniendo claro los objetivos y problemática del proyecto se detalla el procedimiento sistemático del diseño según la norma VDI 2222:

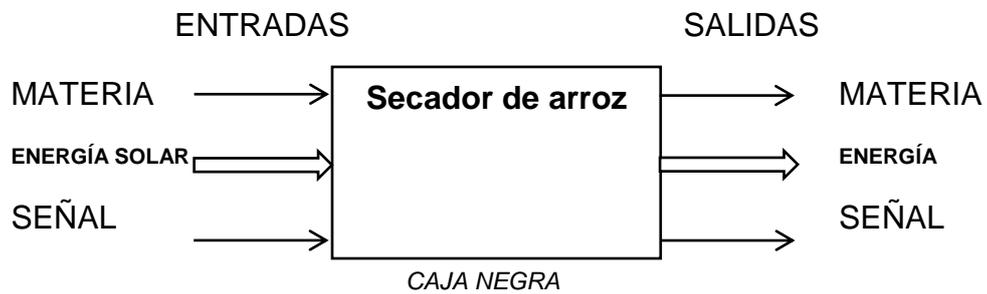
- Lista de exigencias.
- Estructura de funciones.
- Matriz Morfológica.
- Conceptos de solución.
- valoración técnico – económica.

#### **4.3.1. Lista de exigencias**

Se resumen los requerimientos más importantes y funciona como un contrato entre el diseñador y el cliente. Aquí se registra la aprobación de ambas partes sobre las exigencias y especificaciones del diseño.

LISTA DE EXIGENCIAS			Pág.:	1 de 1
			Revisado:	NO
PROYECTO:		IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO SECADOR AUTOMATIZADO TIPO INVERNADERO CON TIRO FORZADO PARA EL SECADO DE ARROZ CON UNA CAPACIDAD DE 1 KG.		
Nº	Deseo (D) Exigencia (E)	Descripción	Responsables	
<b>FUNCIÓN PRINCIPAL</b>				
1	E	Secar el grano de arroz.	T.CH.L y G.B.R.Y	
2	E	Sistema automatizado para el secado en función a temperatura y humedad.	T.CH.L y G.B.R.Y	
3	E	La secadora deberá secar 1kg de arroz en aproximadamente 5 horas.	T.CH.L y G.B.R.Y	
4	E	El calor será generado de manera que no contamine el producto afectando su calidad.	T.CH.L y G.B.R.Y	
5	E	La temperatura estará es un rango de entre 40°C a 50°C.	T.CH.L y G.B.R.Y	
6	E	La humedad final del producto estará entre 12% a 14%.	T.CH.L y G.B.R.Y	
7	D	Se desea que el equipo no genere alto nivel de ruido debido al funcionamiento	T.CH.L y G.B.R.Y	
8	E	La secadora estará preparada para trabajar en diversas condiciones.	T.CH.L y G.B.R.Y	
9	E	Deberá evitar pérdidas de calor a través de las paredes del secador.	T.CH.L y G.B.R.Y	
<b>ENERGÍA</b>				
10	E	Tendrá como fuente la energía solar fotovoltaica.	T.CH.L y G.B.R.Y	
<b>ERGONOMÍA - ANTROPOMETRÍA</b>				
11	D	El usuario debe ser capaz de alimentar la máquina con mezcla, sin la ayuda de escaleras o similares.	T.CH.L y G.B.R.Y	
12	D	Grupo de trabajo máximo de dos personas.	T.CH.L y G.B.R.Y	
<b>USO</b>				
13	D	Debe ser de operación sencilla y no requerir especialización técnica.	T.CH.L y G.B.R.Y	
14	E	Deberá contar con manual de usuario.	T.CH.L y G.B.R.Y	
<b>TRANSPORTE</b>				
15	E	Su transporte, deberá ser posible por no más de dos personas.	T.CH.L y G.B.R.Y	
<b>FABRICACIÓN</b>				
16	E	Debe ser posible en un taller rural, con el uso de máquinas herramientas, sin equipos de precisión (CNC, etc.) y con componentes accesibles en el mercado nacional.	T.CH.L y G.B.R.Y	
<b>PESO</b>				
17	D	Deberá ser alrededor de los 30 kg.	T.CH.L y G.B.R.Y	
<b>ENSAMBLAJE</b>				
18	E	Montaje y desmontaje con herramientas usuales en un taller rural.	T.CH.L y G.B.R.Y	
19	D	Esta operación no debe exigir conocimientos técnicos especializados.	T.CH.L y G.B.R.Y	
<b>MANTENIMIENTO</b>				
20	D	Debe ser básicamente engrase y limpieza.	T.CH.L y G.B.R.Y	

### 4.3.2. Estructura de funciones



#### Entradas:

- **Materia:** Ingreso de arroz de un 20 a 22% de humedad.
- **Energía solar:** Activar los sensores de temperatura y humedad, ventilar, mediante panel solar.
- **Señal:** Activada al inicio de funcionamiento.

#### Salidas:

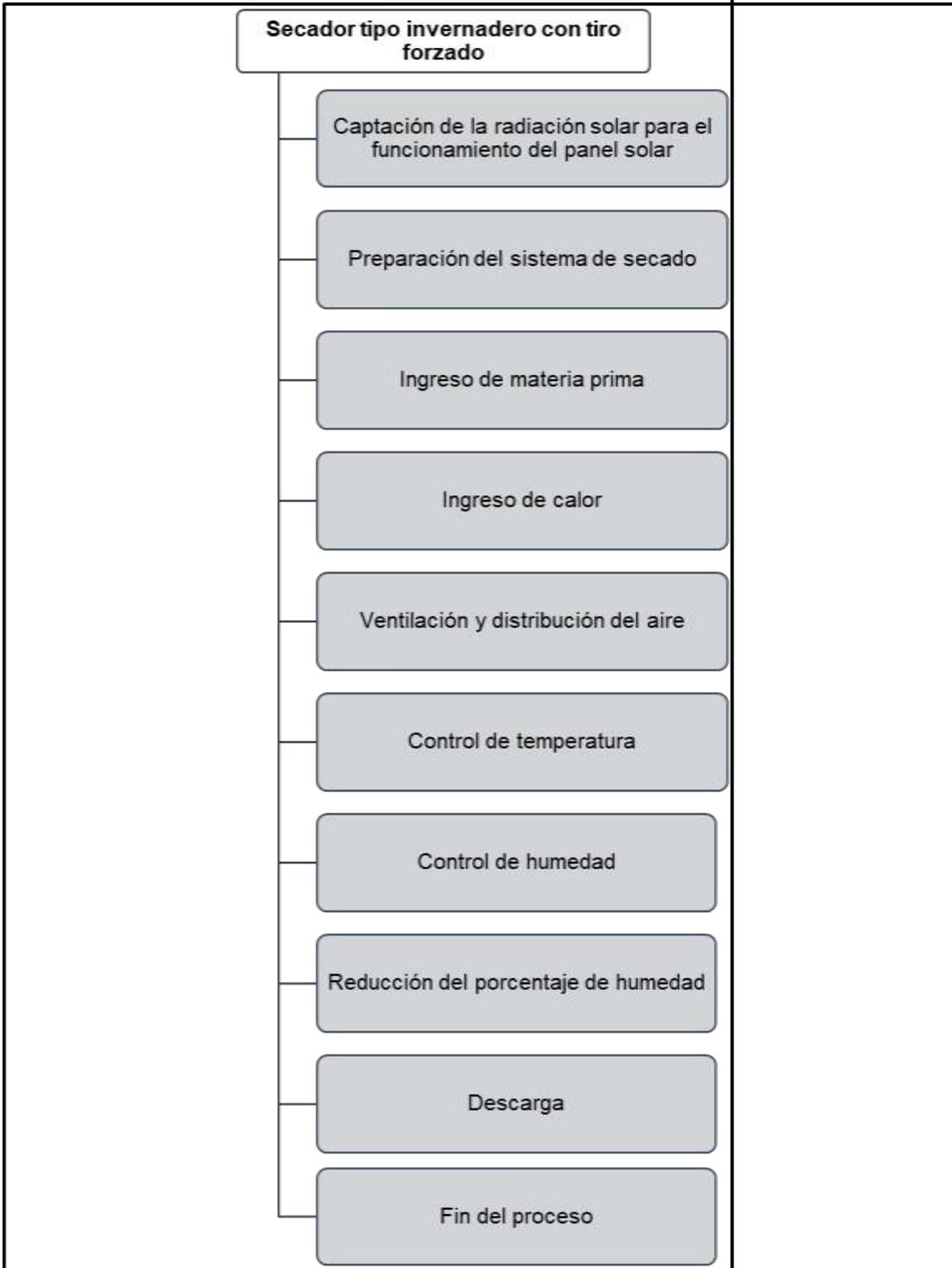
- **Materia:** Arroz con un 12 a 14% de humedad.
- **Energía:** Calor, ruido.
- **Señal:** Que indique que la máquina está funcionando.

de

Δεσγραπτι ἴν δε φονχιονεσ δελ σεγαδορ

Descripción

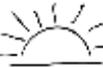
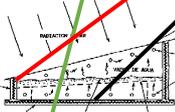
funciones



Ἰλοστραχι ἴν 41: Προπονεστα δε εστρυχτυρα δε φονχιονεσ.

Φυεντε: Προπια.

### 4.3.3. Matriz morfológica

FUNCIONES PARCIALES	A	B	C	D
Fuente de energía	 <p>Panel solar</p>	 <p>Energía solar</p>	 <p>Corriente eléctrica</p>	 <p>Energía eólica</p>
Alimentación del arroz	 <p>Manual</p>	 <p>Faja transportadora</p>	 <p>Tolva</p>	
Número de bandejas	 <p>una</p>	 <p>dos</p>	 <p>tres</p>	
Producción de aire	 <p>Soplador</p>	 <p>Ventilador axial</p>		
Energía para calor	 <p>Resistencias eléctricas</p>	 <p>Combustible</p>	 <p>solar</p>	
Calentamiento	 <p>Contacto directo</p>	 <p>Contacto indirecto</p>		
Flujo de aire	 <p>Paralelo</p>	 <p>Perpendicular</p>		

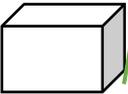
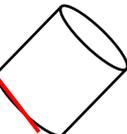
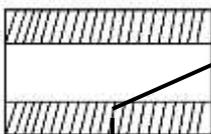
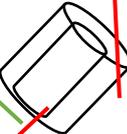
Control de temperatura	Manual 	Automatizado 		
Geometría	Rectangular 	Circular 	Mixta 	
Aislamiento	Mate rial aislante 	Aire 		
Control de secado	Sensor DHT22 	Higrómetro 		
Descarga	Manual 	Automatizado 		
	CONCEPTO 1	CONCEPTO 2	CONCEPTO 3	

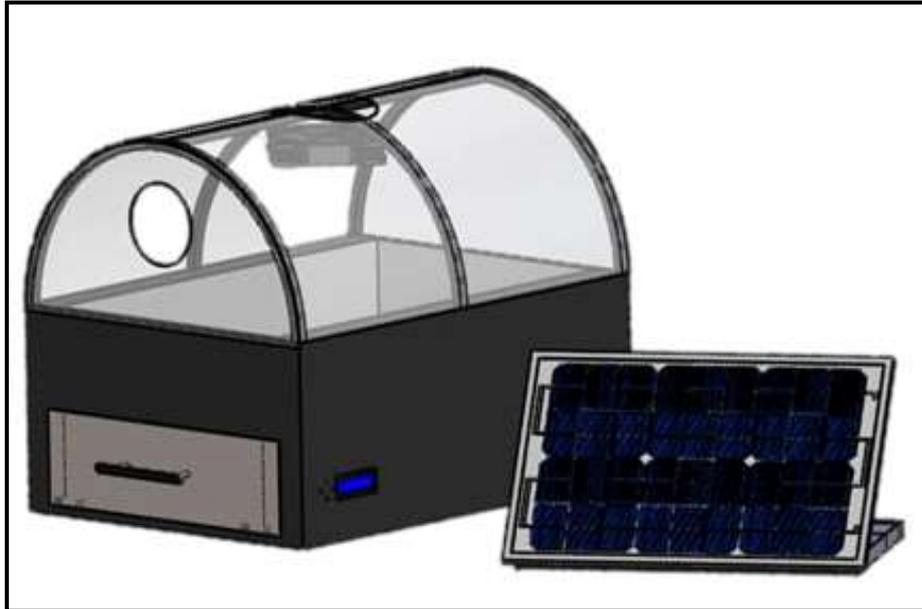
Ilustración 42: Matriz Morfológica

Φροντε: Προπια

#### 4.3.4. Conceptos de solución

Proyecto preliminar óptimo

Προσχετο προεπιμιναρ ίπιτιμο



Ιλυστραχι ίν 43: Προσχετο προεπιμιναρ ίπιτιμο

Φθεντε: Προπια

#### 4.3.5. Valoración técnico - económica.

**Tabla 23:**  
*Valoración técnica del proyecto*

PROPIEDAD TÉCNICA (X)	PROYECTO			
	1	2	3	IDEAL
FUNCIÓN	4	3	2	4
NORMA	3	3	2	4
SEGURIDAD	4	2	3	4
ERGONOMÍA	3	1	3	4
FABRICACIÓN	3	2	2	4
CONTROL DE CALIDAD	4	4	3	4
MONTAJE	3	2	2	4
USO	4	3	3	4
MANTENIMIENTO	4	3	1	4
TOTALES	32	23	21	36
PORCENTAJE	<b>88.9</b>	<b>63.9</b>	<b>58.3</b>	<b>100</b>

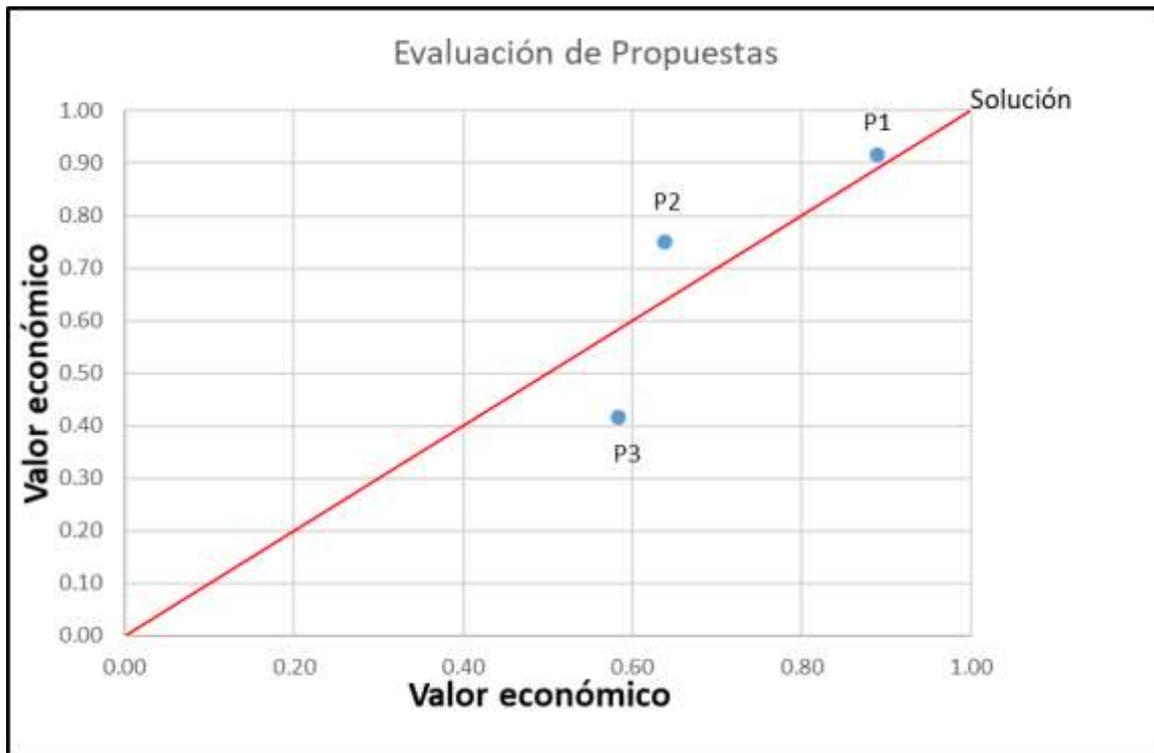
**Fuente:** Propia

**Tabla 24:**  
*Valoración económica del proyecto*

PROPIEDAD ECONÓMICA (Y)	PROYECTO			
	1	2	3	IDEAL
COSTO DEL MATERIAL	4	3	2	4
COSTO DE FABRICACIÓN	4	3	1	4
COSTO DE MANO DE OBRA	3	3	2	4
TOTALES	11	9	5	12
PORCENTAJE	<b>91.7</b>	<b>75.0</b>	<b>41.7</b>	<b>100</b>

**Fuente:** Propia

### Επαλμαχι ίν δε λας προπυεστας



Ιλυστραχι ίν δε λας προπυεστας.

Φυεντε: Προπια

Se observa que el proyecto óptimo es el P1.

#### 4.4. Diseño del secador

Se definirán los criterios para realizar el diseño del secador propuesto en el presente trabajo de investigación.

La revisión bibliográfica demuestra que para el dimensionamiento de secadores para arroz, los investigadores enfocan los esfuerzos para sus diseños en tres grandes aspectos:

1. La mecánica de la transferencia de calor para evaporar el contenido líquido presente en el arroz y la mecánica de la transferencia de masa que se lleva en el interior del grano de arroz también para evaporar su contenido de líquido; ambos procesos suceden en forma simultánea y son independientes al tipo de secador que se pretenda dimensionar y diseñar.

2. Los requerimientos termodinámicos que son aplicados una vez definidas las variables importantes de la cinética del proceso de secado. Estos requerimientos termodinámicos están vinculados a la aplicación de las leyes de conservación de masa y energía (principios termodinámicos) y a los fenómenos de transferencia de calor que permitirán definir que equipos son necesarios para que el secador cumpla con los requerimientos para los cuales debe operar obteniendo el producto en las condiciones para las cuales se ha concebido su diseño.

3. El aspecto relacionado netamente al dimensionamiento de los equipos basados en los dos aspectos anteriores.

En el aspecto que involucra el fenómeno propiamente dicho del secado, asociado a la cinética del secado, se abordan conceptos de operaciones unitarias referentes al secado por aire caliente donde se definen las variables para el tiempo de secado, las isotermas de sorción, la temperatura del producto durante el secado y el contenido de humedad crítica; lo anterior en conjunto con los datos de entrada permitirá cuantificar las especificaciones iniciales del diseño del secador.

#### **4.5. Análisis energético del secador**

En forma general para un secador tipo estacionario estas ecuaciones toman la siguiente forma general:

El balance para la entalpía del aire:

*Energía que sale = Energía que entra – Energía transferida por convección.*

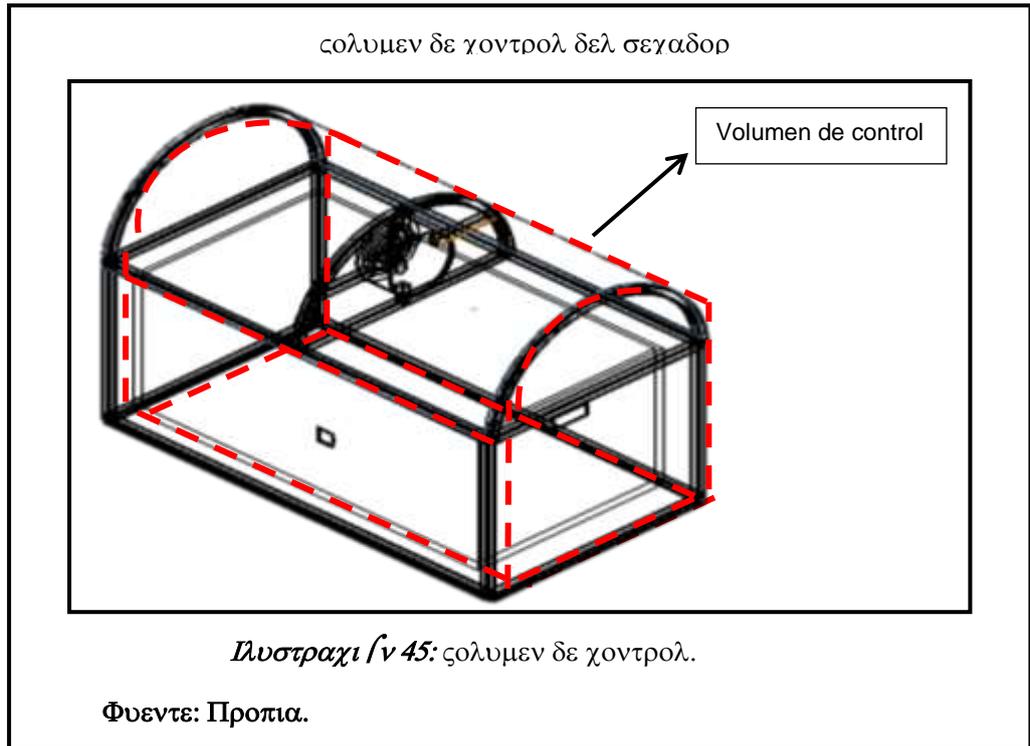
El balance para la entalpía del arroz:

*Energía transferida = Cambio de energía interna del producto – Energía de evaporación.*

El balance para la razón de humedad del aire:

*Humedad transferida = Humedad que sale – Humedad que entra.*

Todo este procedimiento de cálculo se basa en el esquema de la ilustración 45 que muestra el volumen del control del secador de dónde se obtiene el balance térmico:



#### 4.6. Cálculos y resultados

##### Eficiencia del secador ( $\eta_c$ )

La eficiencia diaria  $\eta_c$  del secador se puede asumir entre 50% y 60% según (Indecopi, 2001)

$$T_g = 31^\circ C$$

$$T_a = 25^\circ C$$

$$Rad_{julio} = 783.603 \text{ W/m}^2$$

$$X = \frac{T_g - T_a}{Rad_{julio}} = \frac{31^\circ C - 25^\circ C}{783.603 \text{ W/m}^2} = 0.00766$$

Con este valor nos vamos a la referencia (Indecopi, 2001) y obtenemos una eficiencia de 0.50

La estimación del área del secador es:

$$Q = A_c \times \eta_c \times Rad$$

$$Q = 105.79 \text{ W}$$

$$\eta_c = 0.5$$

$$Rad = 783.603 \text{ W/m}^2$$

Reemplazando:

$$A = \frac{105.79 \text{ W}}{0.5 \times 783.603 \text{ W/m}^2}$$

$$A = 0.27 \text{ m}^2$$

$$a \times l = 0.27 \text{ m}^2$$

$$l = 0.6 \text{ m}$$

$$a = 0.45 \text{ m}$$

### Dimensionamiento de la bandeja

Cálculo del área que ocupa el arroz.

Según tamaño del grano en el ítem 2.3.3 especifica los datos dimensionales de un grano de arroz.

Dimensiones del arroz:

$$Largo = 9\text{mm} = 9 \times 10^{-3}\text{m}$$

$$Ancho = 2.5\text{mm} = 2.5 \times 10^{-3}\text{m}$$

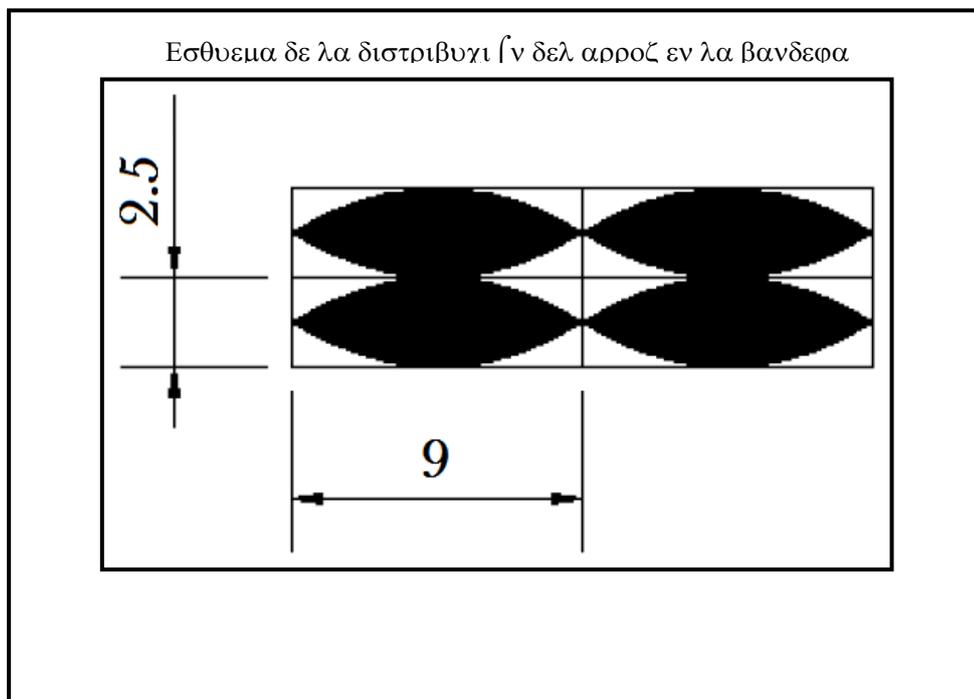
$$Peso = 26 \times 10^{-6}\text{Kg}$$

$$\text{Área}_{\text{arroz}} = L \times A$$

$$\text{Área}_{\text{arroz}} = (9 \times 10^{-3}\text{m}) \times (2.5 \times 10^{-3}\text{m})$$

$$\text{Área}_{\text{arroz}} = 2.25 \times 10^{-5}\text{m}^2 = \text{Área que ocupa un grano de arroz}$$

$$\text{Área } 1 \text{ Kg} = \frac{\text{Área}_{\text{arroz}} \times 1 \text{ Kg}}{\text{Peso}_{\text{arroz}}} = \frac{2.25 \times 10^{-5}\text{m}^2 \times 1 \text{ Kg}}{26 \times 10^{-6}\text{Kg}} = \mathbf{0.865 \text{ m}^2}$$



*Πλοστραχι 1ν 46:* Εσθυεμα δε λα διστριβυχι 1ν δε λα χαπα δε αρρ  
οζ.

### **Cantidad de agua eliminada**

La cantidad de agua que se debe retirar al arroz durante el proceso de secado, está asociada al contenido de agua presente en el arroz en la cama de secado para la carga del secado.

Para el inicio del proceso de secado tenemos:

$$masa_{agua\ inicial} = X_i(\text{capacidad de secado})$$

$$masa_{agua\ inicial} = (0.17)(1\ kg) = 0.17\ kg\ agua$$

El contenido de materia seca en la cama de secado:

$$masa_{seca\ arroz} = masa_{total\ arroz} - masa_{agua\ inicial}$$

$$masa_{seca\ arroz} = 1\ kg - 0.17\ kg = 0.83\ kg$$

El proceso de secado se llevará hasta una humedad final de 11%, el contenido final de agua del ciclo de secado será:

$$masa_{agua\ final} = \frac{X_{final}(masa_{seca\ arroz})}{1 - X_{final}} = \frac{(0.11)(0.83\ kg)}{1 - 0.11} = 0.103\ kg$$

El agua que se debe retirar del arroz en el proceso de secado, es decir el agua a evaporar y ser transportada por el aire en este proceso es:

$$masa_{agua\ retirada} = masa_{agua\ inicial} - masa_{agua\ final} = 0.067\ kg$$

La cantidad de arroz al final del ciclo se secado es:

$$masa_{arroz\ final\ secado} = masa_{seca\ arroz} + masa_{agua\ final} = 0.954\ kg$$

### Cálculo del calor total

$$Q_t = q_1 + q_2$$

### Cálculo del calor necesario para evaporar el agua

$$q_1 = m(h_i - h_f)[C_0\Delta T + \lambda]$$

Donde:

$$m = 0.954 \text{ kg}$$

$$h_i = 0.17$$

$$h_f = 0.11$$

$$C_0 = 1 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 50^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}$$

$$\lambda = 577 \text{ Kcal/Kg}$$

$$q_1 = 0.954(0.17 - 0.11)[1(50 - 25) + 577]$$

$$q_1 = \mathbf{34.46 \text{ KCal}}$$

### Cálculo del calor necesario para calentar el arroz

$$q_2 = m C_a \Delta T$$

$$m = 0.954 \text{ kg}$$

$$C_a = \text{calor específico del arroz} = 0.3 \frac{\text{KCal}}{\text{Kg}}^\circ\text{C} \text{ (Segun Perry and$$

*Chilton materiales sólidos*

Asumimos por consideraciones de diseño que:

$$\Delta T = 50^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}$$

$$q_2 = 0.954 (0.3)(50 - 25)$$

$$q_2 = \mathbf{7.155\ KCal}$$

Reemplazamos:

$$Q_t = q_1 + q_2$$

$$Q_t = 34.46 + 7.155$$

$$Q_t = \mathbf{41.615\ KCal}$$

En la tabla 25 se muestra la distribución porcentual del calor necesario para este proceso de secado, mostrando que el proceso de evaporación del agua de la superficie de los granos de arroz es el predominante, es decir el mayor consumo de calor (calor latente de evaporación) se da en este proceso con un 82,81% respecto al calor total.

Ταβλα 25:

*Διστριβυχι ἴν πορχεντυαλ δε λοσ φλυφος δε χαλορ νεχεσαριο εν ελ προχεσο δε σεχαδο δε γρανοσ δε αρροζ*

Q	Calor necesario (Kcal)	Reparto porcentual (%)
Q evaporar el agua	34.46	82.81%
Q calentar el arroz	7.155	17.19%
<b>Q total</b>	<b>41.615</b>	<b>100.00%</b>

Φυεντε: Ελαβοραχι ἴν προπια.

Por último, se debe considerar que este proceso de secado emplea un tiempo total de secado de 3.5 horas. Para este tiempo la razón del flujo de calor total necesario es:

$$Q = \frac{Q_{total}}{t_{total}}$$

$$Q = 41.615 \text{ KCal} \left( \frac{4.186 \text{ KJ}}{1 \text{ KCal}} \right) \left( \frac{1}{3.5} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \right)$$

$$Q = 13.83 \text{ W}$$

Intensidad con que se elimina el agua

$$I = m(h_i - h_f)$$

$$I = 0.954(0.17 - 0.11)$$

$$I = 0.057 \text{ Kg}_{\text{agua}}/\text{h}$$

Determinación del flujo del aire

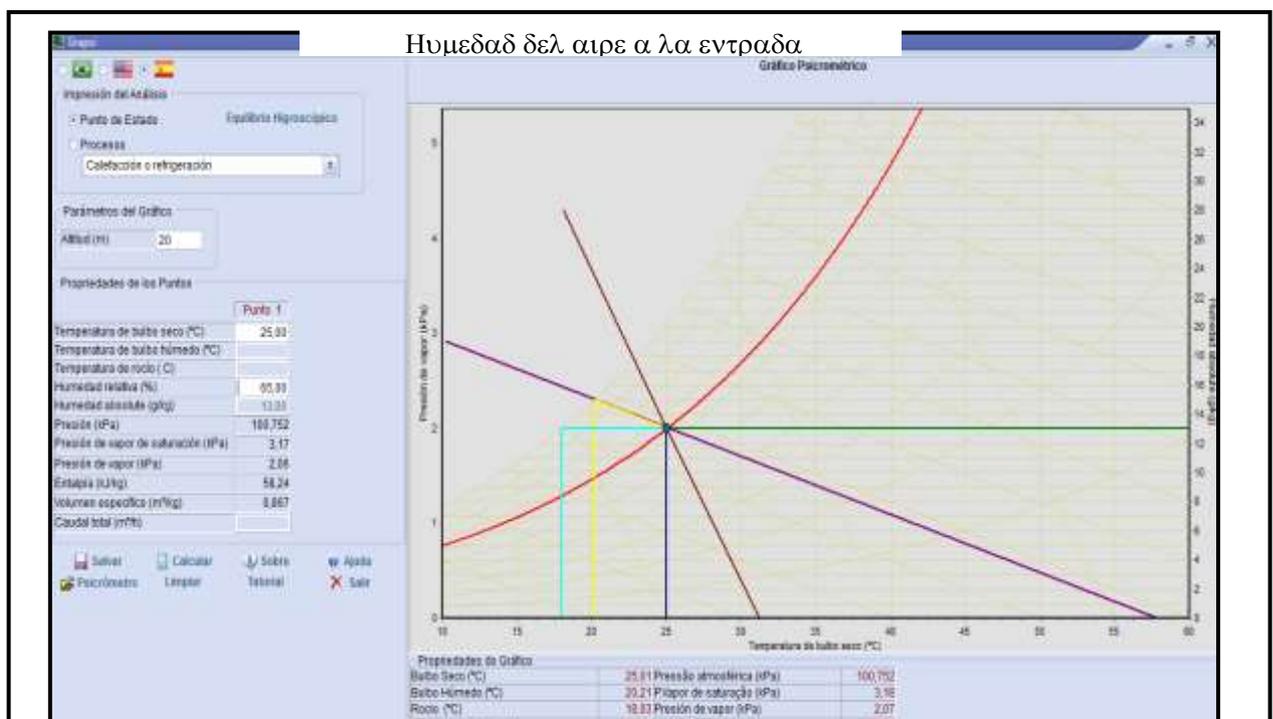
Humedad del aire a la entrada ( $H_a$ )

Tabla Psicrométrica

$$T_{bs} = 25$$

$$T_{bh} = 20$$

$$H_a = 0.0127 \text{ Kg}_{\text{agua}}/\text{Kg}_{\text{aire seco}}$$



Διαγραμμα ψν 47: Ηυμεδαδ δελ αιρε α λα εντραδα δελ σεχαδορ.

**Tabla 26:**

Datos obtenidos del programa Grapsi de la humedad del aire a la entrada del secador

<b>Impresión del Análisis : Punto de Estado</b>	
<b>Altitud (m): 20</b>	
Temperatura de bulbo seco (°C)	25,00
Temperatura de bulbo húmedo (°C)	20,20
Temperatura de rocío (°C)	17,99
Humedad relativa (%)	65,00
Humedad absoluta (g/kg)	13,00
Presión (kPa)	100,752
Presión de vapor de saturación (kPa)	3,17
Presión de vapor (kPa)	2,06
Entalpía (kJ/kg)	58,24
Volumen específico (m <sup>3</sup> /kg)	0,867

**Fuente: Propia**

### Cálculo del calor húmedo

$$C_H = 0.24 + 0.45H_a$$

$$H_a = 0.0127 \text{ Kg}_{\text{agua}}/\text{Kg}_{\text{aire seco}}$$

$$C_H = 0.24 + 0.45(0.0127)$$

$$C_H = 0.2457 \text{ KCal}/\text{Kg}_{\text{aire seco}}^{\circ}\text{C}$$

### Cálculo de la cantidad de aire calentado

$$C = \frac{Q}{C_H(T_e - T_s)}$$

$$C = \frac{198.17}{0.2457(25 - 50)}$$

$$C = 32.26 \text{ Kg}_{\text{aire seco}}/h$$

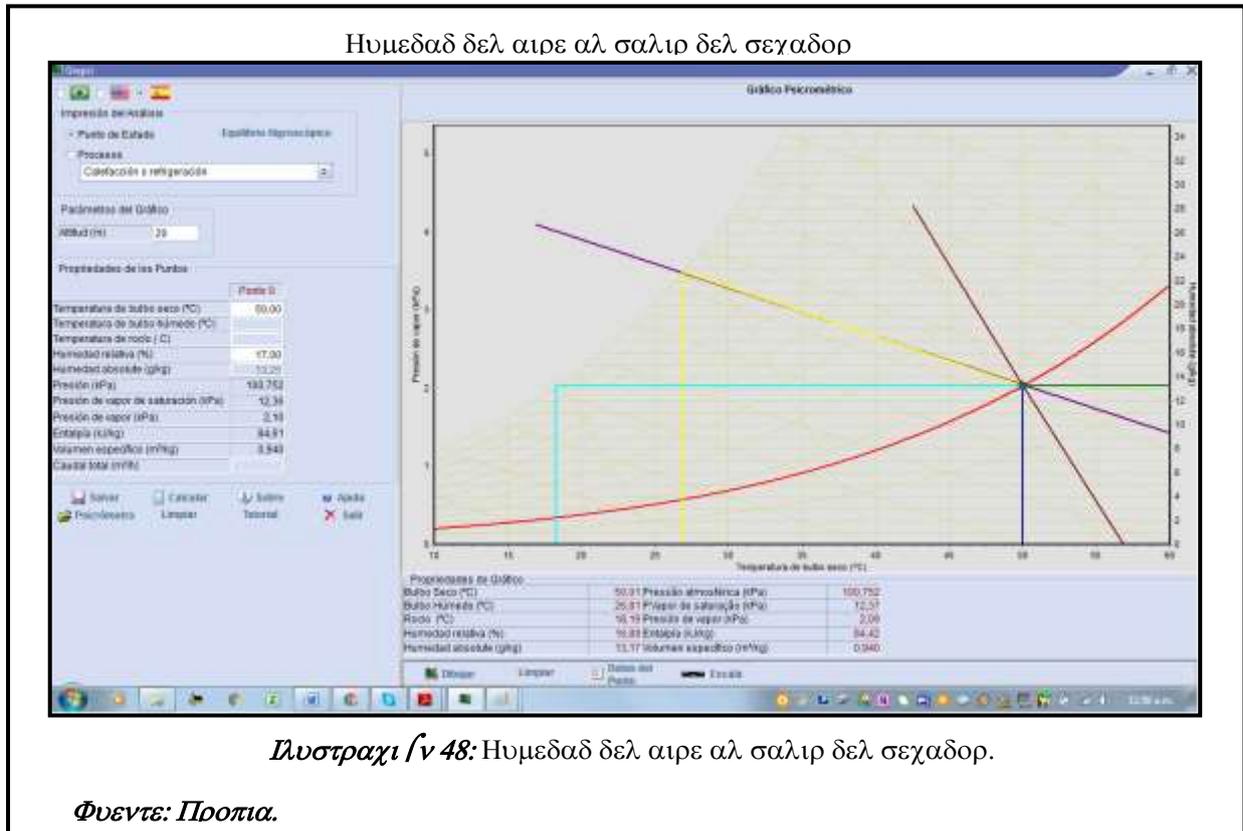
### Humedad del aire al salir del secador

$$H_s = H_a + \frac{I}{C}$$

$$H_s = 0.0127 + \frac{0.057}{32.26}$$

$$H_s = 0.014 \text{ Kg} \frac{\text{agua}}{\text{Kg}} \text{ de aire seco}$$

Con la temperatura del aire a la salida del secador de  $T_s = 50^\circ\text{C}$  y con una humedad de  $0.014 \text{ Kg} \frac{\text{agua}}{\text{Kg}}$  de aire seco, le corresponde una temperatura de bulbo húmedo de 26.8.



**Tabla 27:**

*Datos Obtenidos con el programa Grapsi de la humedad del aire a la salida del secador*

<b>Impresión del Análisis : Punto de Estado</b>	
<b>Altitud (m): 20</b>	
Temperatura de bulbo seco (°C)	50,00
Temperatura de bulbo húmedo (°C)	26,90
Temperatura de rocío (°C)	18,29
Humedad relativa (%)	17,00
Humedad absoluta (g/kg)	13,25
Presión (kPa)	100,752
Presión de vapor de saturación (kPa)	12,36
Presión de vapor (kPa)	2,10
Entalpía (kJ/kg)	84,61
Volumen específico (m <sup>3</sup> /kg)	0,940

**Fuente: Propia**

### Flujo másico de aire necesario

$$m_a = \frac{m_{\text{agua retirada}}}{t_s(W_1 - W_2)}$$

$$m_a = \frac{0.067 \text{ Kg}}{3.5 \text{ h}(0.014 - 0.0127)}$$

$$m_a = 14.73 \text{ Kg/h}$$

$$m_a = \mathbf{0.0041 \text{ Kg aire seco/seg}}$$

### Volumen del aire necesario

Utilizando la carta psicrométrica para una temperatura de 50°C se

obtiene  $0.940 \frac{\text{m}^3}{\text{Kg}}$  de aire seco

$$V_a = m_a \times V_{\text{específico}}$$

$$V_a = 14.73 \text{ Kg/h} \times 0.940 \frac{\text{m}^3}{\text{Kg}}$$

$$V_a = 13.86 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_a = 0.00385 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$V_a = \mathbf{8.16 \text{ CFM} \left( \frac{\text{pie}^3}{\text{min}} \right)}$$

### Flujo másico de aire disponible ( $M_b$ )

$$M_b = \rho v A$$

$$\rho = \text{Densidad del aire a } 50^\circ\text{C} = 1.09 \text{ Kg/m}^3$$

$$v = 6 \text{ m/s}$$

$$A = 0.3 \text{ m}^2$$

$$M_b = \left( \frac{1.09 \text{ Kg}}{\text{m}^3} \right) \times \left( \frac{6 \text{ m}}{\text{s}} \right) \times (0.3 \text{ m}^2)$$

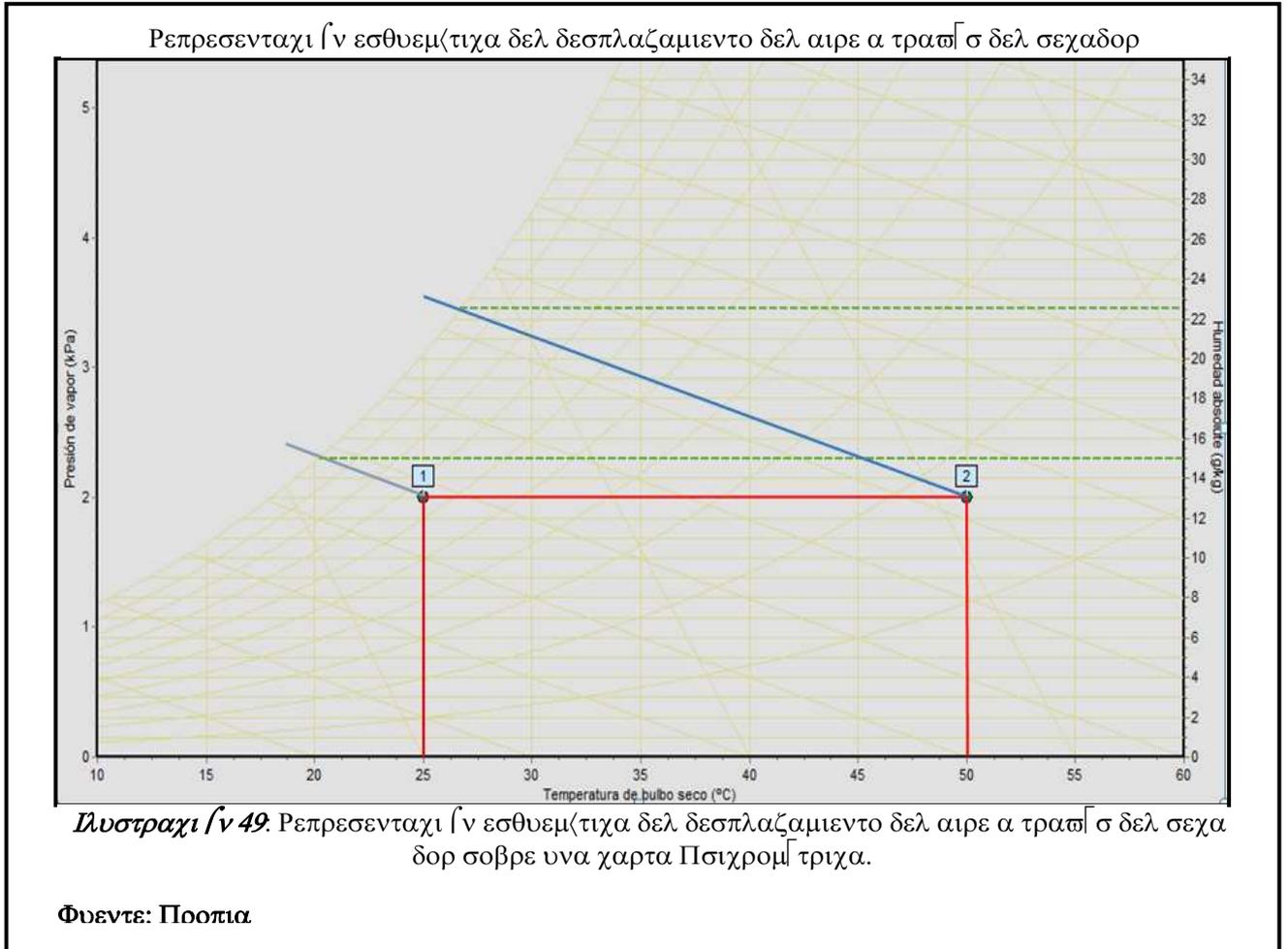
$$M_b = \mathbf{1.962 \text{ Kg/seg}}$$

### Volumen de aire disponible ( $V_b$ )

$$(V_b) = \left( 1.962 \frac{\text{Kg}}{\text{seg}} \right) \times \left( 0.940 \frac{\text{m}^3}{\text{Kg}} \right)$$

$$(V_b) = 1.84 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Representación esquemática del desplazamiento del aire a través del secador solar sobre una carta psicrométrica.



**Tabla 28:**

*Datos: Datos obtenidos del programa Grapsi de la representación esquemática del desplazamiento del aire a través del secador.*

Impresión del Análisis : Procesos Calefacción o refrigeración		
	Punto 01	Punto 02
Altitud (m): 20		
Temperatura de bulbo seco (°C)	25,00	50,00
Temperatura de bulbo húmedo (°C)	20,20	26,80
Temperatura de rocío (°C)	17,99	17,99
Humedad relativa (%)	65,00	16,69
Humedad absoluta (g/kg)	13,00	13,00
Presión (kPa)	100,752	100,752
Presión de vapor de saturación (kPa)	3,17	12,36
Presión de vapor (kPa)	2,06	2,06

Entalpía (kJ/kg)	58,24	83,97
Volumen específico (m <sup>3</sup> /kg)	0,867	0,940

**Fuente: Propia.**

Xa es menor que el de saturación de ese aire, en esas condiciones permitiría extraer agua de un producto expuesta a él.

$$X_{sa} = 0.015 \text{ Kg de } \frac{\text{vapor}}{\text{Kg}} \text{ de aire seco}$$

$$\Delta X = 0.015 - 0.013$$

$$\Delta X = 0.0020 \text{ Kg de } \frac{\text{vapor}}{\text{Kg}} \text{ de aire seco}$$

$\Delta X$  indica la cantidad de vapor de agua que puede absorber el aire en esas condiciones hasta saturarse.

El aire se calienta hasta 50°C, donde:

$$H_r = 16.69\%$$

$$X_{sa} = 0.0225$$

$$\Delta X = 0.0225 - 0.013$$

$$\Delta X = 0.0095 \text{ Kg de } \frac{\text{vapor}}{\text{Kg}} \text{ de aire seco}$$

$$H_{int} = 83.97 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \text{ de aire seco}$$

$$V_e = 0.940 \frac{\text{m}^3}{\text{Kg}} \text{ de aire seco}$$

Donde  $\Delta X$  es la cantidad de vapor de agua que puede absorber el aire en esas condiciones hasta saturarse.

### Balance energético del secador

$$K_{cc} = \frac{h_i h_e}{h_i + h_e} \left[ \frac{Kcal}{hm^2 \circ C} \right]$$

$$h_i = 4 + 0.5X$$

$$X = \frac{RV}{S_d}$$

$R = \text{Tasa renovacion del invernadero} = 0.75$  (según tabla 29)

#### Ταβλα 29:

Τασασ δε ρενοπαχι Γν δε αιρε πορ ινφιλτραχι Γν α τραπσ δε λα εστ

Tipo de cubierta	R (h <sup>-1</sup> )
<b>Nueva construcción</b>	
Láminas de plástico	0,75-1,0
Vidrio o fibra de vidrio	0,5-1,0
<b>Construcciones antiguas</b>	
Vidrio o fibra de vidrio	1-2
Láminas de plástico	2-4

Φυεντε: (ενγινεερσ), 2003, π(γ. 14)

$V = \text{Volumen del invernadero.}$

$S_d = \text{Superficie desarrollada.}$

$$V = (0.6 \times 0.45 \times 0.425)m = 0.11475m^3$$

$$S_d = 0.6 \times 0.45 = 0.27m^2$$

$$X = \frac{0.75(0.11475)}{0.27} = 0.32$$

$$h_i = 4 + 0.5(0.32) = 4.16 \frac{Kcal}{hm^2 \circ C} = 4.84 W/m^2 K$$

$$h_e \text{ según tabla 34} = 0.95 + 6.76 \times V^{0.49} \left( \frac{W}{m^2 K} \right)$$

$$h_e = 0.95 + 6.76 \times 6^{0.49}$$

$$h_e = 17.21 \frac{W}{m^2 K} = 14.8 \frac{Kcal}{hm^2 \circ C}$$

**Ταβλα 30:**

Φόρμουλας εμπειρικής παραελαχοεφικιεντε δε χονωεχχικι εν εξετερικρ.

$h_e$ (W/m <sup>2</sup> · °K)	Invernadero
$2,8+1,2 \cdot v$	Invernadero tipo Venlo <sup>a</sup>
$1,32 \cdot \Delta T^{0,25} \cdot v^{0,8}$	Invernadero tipo túnel <sup>b</sup>
$7,2+3,84 \cdot v$	Invernadero de plástico <sup>c</sup>
$5,96 \cdot v^{0,8} \cdot L^{-0,2}$	Invernadero a gran escala <sup>d</sup>
$0,95+6,76 \cdot v^{0,49}$	Invernadero con cubierta de polietileno <sup>e</sup>

Φυεντε: (Papadakis, 2012) *e*

$$K_{cc} = \frac{4.16 \times 14.8}{4.16 + 14.8} \left[ \frac{Kcal}{hm^2 \cdot C} \right]$$

$$K_{cc} = 3.25 \frac{Kcal}{hm^2 \cdot C}$$

**Calor perdido por conducción - convección ( $Q_{cc}$ )**

$$Q_{cc} = \frac{S_d}{S_c} K_{cc} (t_i - t_e) \left[ \frac{cal}{hm^2 \cdot C} \right]$$

$$S_d = 0.27 \text{ m}^2$$

$$S_c = 0.99 \text{ m}^2$$

$$Q_{cc} = \frac{0.27}{0.99} (3.25)(50 - 25)$$

$$Q_{cc} = 22.16 \frac{cal}{hm^2 \cdot C}$$

**Calor sensible y latente perdido por la renovación del aire interior ( $Q_{ren}$ )**

$$Q_{ren} = \frac{V}{S_c} R \rho_{aire} (H_{int} - H_{ext}) \left[ \frac{Kcal}{hm^2 \cdot C} \right]$$

$$V = 0.11475 \text{ m}^3$$

$$S_c = 0.99 \text{ m}^2$$

$$R = \text{Tasa renovacion del invernadero} = 0.75 \text{ (h}^{-1}\text{)}$$

$$\rho = \text{Densidad del aire a } 50^\circ\text{C} = 1.09 \text{ Kg/m}^3$$

$$H_{ext} = 25^\circ\text{C} = 58.24 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \text{ aire seco} = 13.85 \text{ Kcal/Kg}$$

$$H_{int} = 50^\circ\text{C} = 83.97 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \text{ aire seco} = 19.82 \text{ Kcal/Kg}$$

$$Q_{ren} = \frac{0.11475 \text{ m}^3}{0.99 \text{ m}^2} (0.75 \text{ h}^{-1}) \left( \frac{1.09 \text{ Kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$(19.82 \text{ Kcal/Kg} - 13.85 \text{ Kcal/Kg}) \left[ \frac{\text{Kcal}}{\text{hm}^2^\circ\text{C}} \right]$$

$$Q_{ren} = 0.57 \frac{\text{Kcal}}{\text{hm}^2^\circ\text{C}}$$

**Energía neta perdida ( $R_{net}$ )**

$$R_{net} = 3.8(t_p - t_{amb}) \left[ \frac{\text{Kcal}}{\text{hm}^2^\circ\text{C}} \right]$$

$$R_{net} = 3.8(50 - 25) \left[ \frac{\text{Kcal}}{\text{hm}^2^\circ\text{C}} \right]$$

$$R_{net} = 95 \frac{\text{Kcal}}{\text{hm}^2^\circ\text{C}}$$

**Energía perdida por la parte inferior ( $Q_{pi}$ )**

$$Q_{pi} = \frac{K}{d_{sep}} (t_p - t_{amb}) [W/m^2]$$

$$K = \text{Coeficiente de conductividad térmica de la lana de vidrio} \\ = 0.035 \frac{W}{m^{\circ}C}$$

$$d_{sep} = 0.02 \text{ m}$$

$$t_p = \text{Temperatura de la placa} = 50^{\circ}C$$

$$t_{amb} = \text{Temperatura ambiente} = 25^{\circ}C$$

$$Q_{pi} = \frac{0.035 \frac{W}{m^{\circ}C}}{0.02 \text{ m}} (50^{\circ}C - 25^{\circ}C) \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

$$Q_{pi} = 43.75 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

**Cálculo del balance energético en el invernadero:**

$$Q_n + Q_t = R_{net} + Q_{ren} + Q_{cc} + Q_{pi}$$

Dónde:

$$Q_n + Q_t = \text{Energía ganada}$$

$$R_{net} + Q_{ren} + Q_{cc} + Q_{pi} = \text{Energía perdida por el invernadero}$$

**Energía total ganada:**

$$Q_n + Q_t = 105.79W + 13.83W = 119.62 W$$

**Energía total perdida:**

$$117.73 \frac{Kcal}{hm^2} + 43.75 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

$$136.92 \left[ \frac{W}{m^2} \right] + 43.75 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

$$179.75 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

$$179.75 \left[ \frac{W}{m^2} \right] (0.27) m^2$$

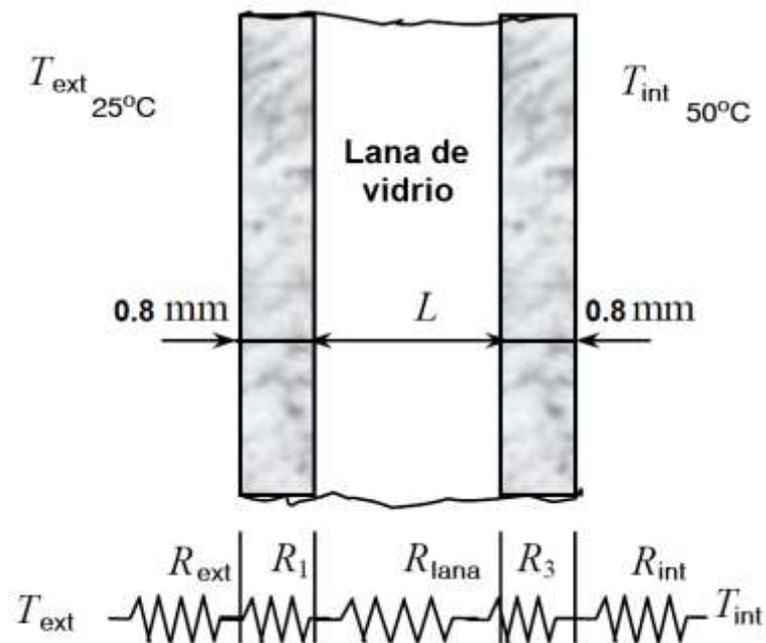
$$48.53 W$$

**Eficiencia del secador:**

$$\eta = \frac{119.62 - 48.53}{119.62}$$

$$\eta = 55\%$$

**Cálculo del espesor mínimo del aislamiento térmico de lana de vidrio.**



$$Q = \frac{T_{int} - T_{amb}}{R_{total}}$$

$$Q/A = \frac{T_{int} - T_{amb}}{\frac{1}{h_i} + 2\left(\frac{L}{K}\right)_{\text{lámina galvanizada}} + \left(\frac{L}{K}\right)_{\text{lana de vidrio}} + \frac{1}{h_e}}$$

Donde:

$$\frac{Q}{A} = 13.83 \text{ W/m}^2$$

$$h_i = 4.84 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

$$h_e = 17.21 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

$$K_{\text{lámina galvanizada}} = 112.20 \text{ W/m}^2$$

$$K_{\text{lana de vidrio}} = 0.035 \text{ W/m}^2$$

**Ταβλα 31:**

Χαρακτηρίστικασ ιμπορταντες δε λος ματεριαλεσ υτιλιζαδοσ εν λα χονστρυχ χι ίν δελ προτοτιπο

Material	Parte del secador	Características importantes	
		Espesor (mm)	Conductividad ( $\frac{W}{m \text{°C}}$ )
Lámina galvanizada	Forro de las paredes	0.8	112.20
Lana de vidrio	Aislante para paredes	50	0.035
Acrílico	Techo del secador	2	4.0-6.0
Tubo cuadrado	Estructura del secador	1.2	29.3

Φυεντε: Προπια.

$$Q/A = \frac{T_{int} - T_{amb}}{\frac{1}{h_i} + 2\left(\frac{L}{K}\right)_{\text{lámina galvanizada}} + \left(\frac{L}{K}\right)_{\text{lana de vidrio}} + \frac{1}{h_e}}$$

Sustituyendo:

$$13.83 = \frac{50\text{°C} - 25\text{°C}}{\left(\frac{1}{4.84}\right) + 2\left(\frac{0.0008}{112.20}\right)_{\text{lámina galvanizada}} + \left(\frac{L}{0.035}\right)_{\text{lana de vidrio}} + \left(\frac{1}{17.21}\right)}$$

Resolviendo L, el espesor mínimo que tendrá el aislamiento térmico será:

$$L = 0.054\text{m} = \mathbf{5.4\text{cm}}$$

#### 4.7. Selección de los componentes para la automatización.

## **Selección de los sensores y elementos necesarios para el control de la temperatura y la medición de humedad relativa.**

Para la realización del control de temperatura y la medición de humedad relativa se utilizaron elementos tales como sensores, pulsadores, resistencias, etc. Además de esto se utilizó una plataforma con micro-controlador.

A continuación se muestran los elementos seleccionados y los parámetros que se tuvieron en cuenta.

### **Elementos necesarios para el control de temperatura y humedad relativa.**

#### **Arduino**

Es una plataforma de prototipos electrónica de código abierto (open – source) basada en hardware y software flexibles y fáciles de usar. Arduino puede «sentir» el entorno mediante la recepción de entradas desde una variedad de sensores y puede afectar a su alrededor mediante el control de luces, motores y otros artefactos. El micro-controlador de la placa se programa usando el Arduino Programming Language (basado en Wiring) y el Arduino Development Environment (basado en Processing). Los proyectos de Arduino pueden ser autónomos o se pueden comunicar con software en ejecución en un ordenador.

Ventajas de usar Arduino:

- **Económica:** Las placas Arduino son relativamente baratas comparadas con otras plataformas micro-controladoras.
- **Multiplataforma:** El software de Arduino se ejecuta en sistemas operativos Windows, Macintosh OSX y GNU/Linux. Mientras la mayoría de los sistemas micro-controladores están limitados a Windows.

- **Entorno de programación simple y claro:** El entorno de programación de Arduino es fácil de usar para principiantes, pero suficiente flexible para que usuarios avanzados puedan aprovecharlo también.
- **Código abierto y Software extensible:** El software de Arduino está publicado como herramientas de código abierto, disponible para extensión por programadores experimentados. El lenguaje puede ser expandido mediante librerías C++, y quien quiera entender los detalles técnicos puede hacer el salto desde Arduino a la programación AVR-C en el cual está basado.

En el proyecto se utiliza un Arduino Nano, el cual tiene 14 pines digitales de entrada/salida, un oscilador de 16 MHz, una conexión micro USB, un conector de alimentación y un botón de reinicio (ver tabla 6).

#### **Pantalla LCD 16x2**

Se utiliza una pantalla LCD verde de 16x2 (dos líneas de 16 caracteres). Los pines de conexión de estos módulos incluyen un bus de datos de 8 bits, un pin de habilitación (E), un pin de selección que indica si lo que se está enviando por el bus es un dato o una instrucción (RS) y un pin que indica si se va leer o escribir en el módulo (R/W).

**4 Resistencias de 10K Ohm:** Se utilizan como “pull down” para conexiones a cero de entrada al Arduino.

**4 Pulsadores:** Se utilizan para la selección de la temperatura a la que se desea secar el arroz y encender el ventilador automáticamente.

**Un Potenciómetro de 10K:** Se utiliza para el contraste de la pantalla LCD.

## Selección de los sensores para el control de la temperatura y la humedad relativa.

En la tabla 32 se muestran algunos tipos de sensores de temperatura y humedad relativa encontrados en el mercado con los rangos que manejan tanto de temperatura como de humedad y sus precios aproximados, teniendo en cuenta los rangos tanto de temperatura como de humedad relativa se seleccionan 2 sensores, el primero DHT22 para la cámara de secado y el DHT11 para el exterior.

### Ταβλα 32:

Χομπαραχι ίν δε Σενσορεσ δε τεμπερατυρα ψ ηυμεδαδ ρελατιπα.

SENSOR	RANGO DE TEMPERATURA	RANGO DE HUMEDAD RELATIVA	PRECIOS
DHT22	-40°C a 80°C	0% a 100%	60 soles
DHT11	0°C a 50°C	20% a 90%	30 soles
SHT71	-40°C a 123,8°C	0% a 100%	150 soles
RHT03	-40°C a 80°C	0% a 100%	98 soles
HTU21D-F	-30°C a 90°C	5% a 95%	120 soles
SHT1x	-40°C a 123,8°C	0% a 100%	140 soles

Φυεντε: Προπια.

## Selección de los componentes del secador:

### Ventilador de PC

Con los valores obtenidos para la necesidad del flujo del aire en el sistema analizado, la selección se hace utilizando la información técnica de los proveedores, en los que se detallan el flujo del aire del ventilador necesario (ver tabla 19).

### Aislante térmico

Los aislantes térmicos son materiales con bajo coeficiente de conductividad térmica con los cuales se trata de aislar térmicamente una superficie reduciendo la transferencia de calor hacia o desde el ambiente. De esta manera se logra mantener las condiciones de secado determinadas en este capítulo (ver tabla 12).

#### 4.8. Selección del panel fotovoltaico

Estimación de las cargas utilizadas en el prototipo

Ταβλα 33:

Εστιμαχι ίν δε λασ χαργασ.

Descripción	Unidad	Corriente (A)	Voltaje (V)	Potencia (W)	Horas de trabajo	Energía diaria (Wh)
Ventilador	1	0.25	12	3	4	12
Pantalla LCD	1	0.05	5	0.25	4	1
Arduino nano	1	0.04	12	0.48	4	1.92
Sensor DHT22	1	0.0025	5	0.0125	4	0.05
Sensor DHT11	1	0.0025	5	0.0125	4	0.05
Bluetooth HC-05	1	0.05	4	0.2	4	0.8
Motor DC 1	1	0.8	6	4.8	4	19.2
Motor DC 2	1	0.8	6	4.8	4	19.2
					<b>Total</b>	<b>54.22</b>

Φυεντε: Προπια

Orientación e inclinación óptima

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69 * |\Phi|$$

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69 * 6.47$$

$$\beta_{opt} = 8.16^\circ$$

Cabe señalar que en cualquier caso es más recomendable una inclinación mayor de 15°, para que el agua de la lluvia pueda circular adecuadamente sobre el panel, pero en según datos recopilados se emplea una inclinación de 15° en el norte del Perú.

Ταβλα 34:

Ταβλα δε φαχτορεσ δε ινχλιναχι ίν εν ελ Περ /

Latitud	Factores de Inclinación (K)			
	15°	20°	25°	30°
0 – 5°	0.99	0.97	0.94	0.92
5° - 10°	<b>1.01</b>	1	0.98	0.96

Φυεντε: (Χινεργία, 2011)

Por lo tanto:

$$\beta_{opt} = 8.16^\circ ; K = 1.01$$

### El factor de Irradiación:

Para ángulos de inclinación:  $\beta \leq 15^\circ$

$$FI = 1 - (1,2 * 10^{-4}(\beta - \beta_{opt})^2)$$

$$FI = 1 - (1,2 * 10^{-4}(0 - 15)^2)$$

$$FI = \mathbf{0.973}$$

### Factor de sombreado:

Porcentaje de radiación no existente sobre el generador, respecto al caso de la ausencia total de sombras sobre el panel solar.

$$FI = cte$$

Cálculos del valor medio de la radiación diaria sobre la superficie del generador.

$$G_{dm}(\alpha, \beta) = G_{dm}(0) * K * FI * FS$$

$$G_{dm}(\alpha, \beta) = (6) * (1.01) * (0,973) * (1)$$

$$G_{dm}(\alpha, \beta) = \mathbf{6.4218 KWh/m^2}$$

Cálculo para el panel fotovoltaico:

$$P_r = \frac{P_p * G_{cem}}{G_{dm}(\alpha, \beta) * 0,6}$$

$$P_r = \frac{54.22 * 1000}{6421.8 * 0,6}$$

$$P_r = \mathbf{14.072 W}$$

Determinación del voltaje en el panel.

#### Ταβλα 35:

Τενσιόν νομιναλ δελ σιστεμα εν φυνχιόν δε λα Ποτενχια.

Potencia	Tensión Nominal
$P \leq 800 W$	<b>12 V</b>
$800 W < P \leq 1600 W$	24 V
$1600 W < P \leq 3200 W$	48 V
$3200 W < P$	120 V o 300 V

Φυεντε: (Αγυστιόν Χατεφόν, 2010)

Teniendo en cuenta la potencia del generador se le sumará 20% del valor mínimo del generador a medida de ampliación.

$$P_{max} = P_r * 1.2$$

$$P_{max} = 14.072 * 1.2$$

$$P_{max} = \mathbf{16.89 Wp}$$

Por lo tanto en valores comerciales nuestro panel será de 20 Wp.

Cálculo de la corriente de entrega:

$$I_{entrega} = \frac{P_r}{V_{dc}}$$

$$I_{entrega} = \frac{14.072}{12}$$

$$I_{entrega} = \mathbf{1.732A}$$

Cálculo de la batería:

$$C_n = \frac{N_a \times P}{R \times D \times V}$$

$$C_n = \frac{2 \times 54.22}{0.8 \times 0.5 \times 12}$$

$$C_n = 22.59 Wh$$

$$B_{total} = C_n / V_{sistema}$$

$$B_{total} = 22.59 / 12$$

$$B_{total} = \mathbf{1.88Ah}$$

#### 4.8.1. Selección del conductor

Para la selección del conductor desde el regulador hasta la batería se tomara en cuenta la NORMA TECNICA (NTP) 399.403, en el ítem (Especificaciones técnicas requeridas para los controladores de carga – n) Terminales de conexión).

### Tramo panel - regulador

#### Ταβλα 36:

Ταβλα πορχενταφες δε χαίδα δε τενσι ίν

Porcentajes de caída de tensión (%)		
Tramo	Máxima	Recomendada
Paneles - Regulador	3%	1%

Φυεντε: (Ινγεμεχανιχα, 2012)

Para el cálculo de la sección (S) de conductores en corriente continua, como longitud de cable se utilizó 2 metros de cable.

Como es este el caso de las instalaciones fotovoltaicas, se empleará la siguiente fórmula:

$$S = \frac{2 \times L \times I}{\Delta V \times K}$$

$$S = \frac{2 \times 2 \times 1.88}{0.12 \times 56}$$

$$S = 1.12 \text{ mm}^2$$

En la tabla se indican las secciones de cables más empleadas en instalaciones fotovoltaicas, con indicación de la intensidad máxima:

#### Ταβλα 37:

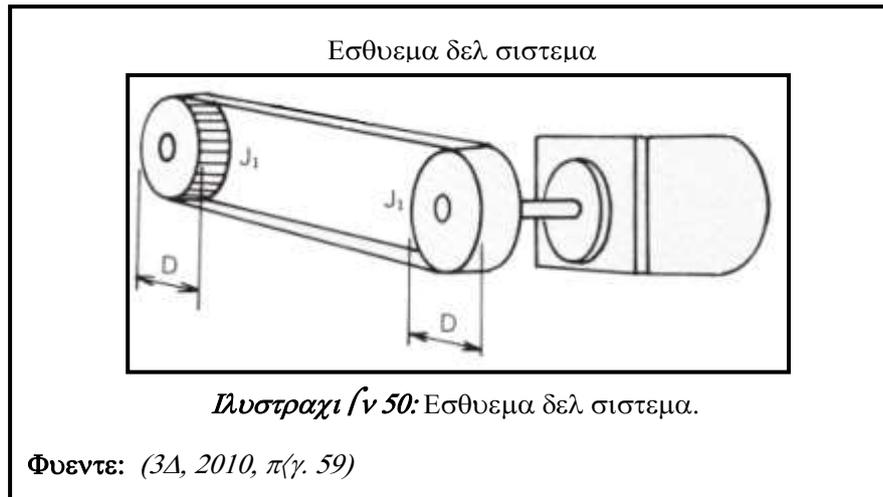
Ταβλα σελεχηι ίν δελ χονδυχτορ σεγ ίν λα σεχηι ίν δελ χονδυχτορ εν μμ 2.

CONDUCTOR		CAPACIDAD DE CORRIENTE Ampere			
Calibre AWG-MCM	Sección mm <sup>2</sup>	Instalaciones en Tubo		Instalaciones al Aire Libre	
		TEMPERATURA MÁXIMA DE OPERACIÓN DEL CONDUCTOR			
		70 °C	90 °C	70 °C	90 °C
18	0,821	9	14	13	18
	1,0	11	16	16	24
→ 16	1,31	13	18	19	24
	1,5	15	22	23	27
14	2,08	20	25	28	35
	2,5	20	27	28	35
12	3,31	25	30	33	40
	4	26	34	35	46
10	5,26	34	40	48	55
	6	36	42	50	60
8	8,37	47	55	66	80
	10	47	60	74	83
6	13,3	62	75	90	105

*Φυεντε: (Ινδεχο, 2015)*

#### 4.9. Selección de los motores DC para el recubrimiento del secador

Para la elección de los motores se utilizan las siguientes ecuaciones, extraída de un sistema como el mostrado en la figura:



$$T_{\text{diseño}} = (T_{\text{nominal}}) \cdot f$$

$$T_{\text{motor}} = (T_i + T_l) \cdot f$$

$$T_i = I \cdot (\omega/t) \cdot \pi \cdot \theta \cdot K$$

$$T_l = R_{\text{ποισα}} (m \cdot a + F_f)$$

Dónde:

$T_{\text{motor}}$ : Par total proporcionado por el motor (N.m)

$T_i$ : Par de inercia del motor (N.m)

$T_l$ : Par del motor debido a la carga (N.m)

$f$ : Factor de seguridad. En este caso, de 1.4 para obtener un margen del 40%

$F_f$ : Fuerza de fricción entre los rodamientos y las guías

$K$ : Constante = 97.73

$I$ : Inercia del motor ( $g \cdot cm^2$ )

$\frac{\omega}{t}$ : Aceleración angular ( $pasos/s^2$ )

$\theta$ : Ángulo de paso(°)

$p$ : Paso de la correa dentada

$z$ : Número de dientes

Teniendo en cuenta las características de las correas dentadas obtenemos, como se justifica en la ecuación, un radio de 6.37 mm para las poleas.

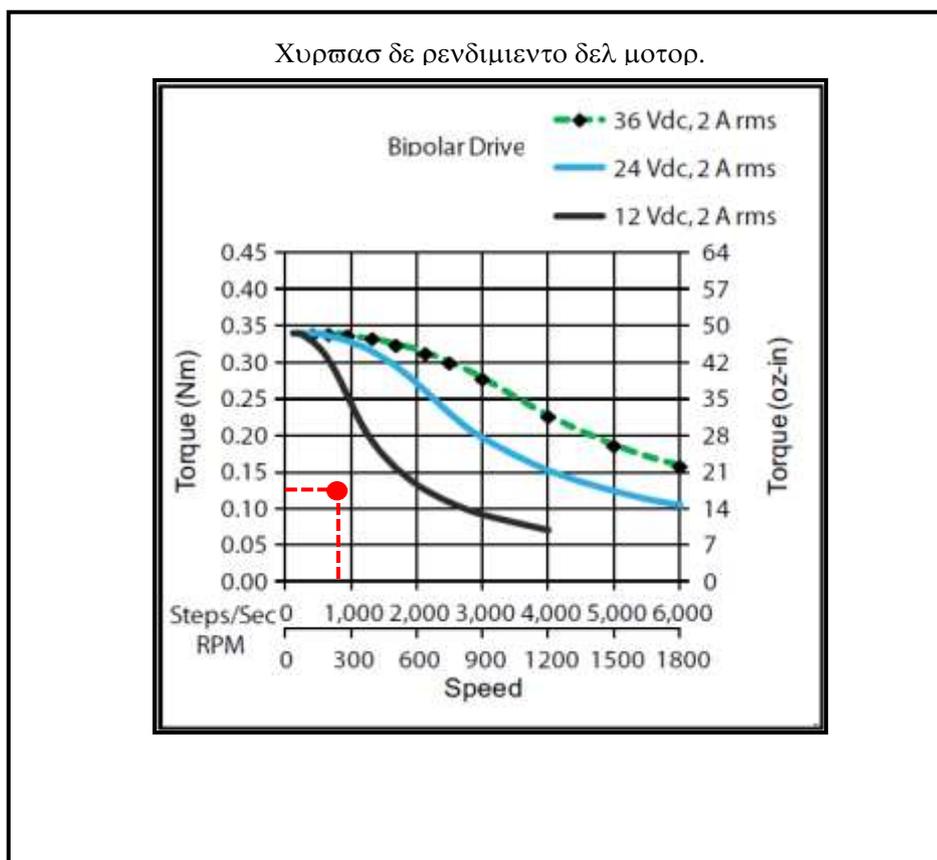
Si  $z = 20$  y  $p = 2$  mm

$$R_{polea} = p.z / 2 \pi = 6.37 \text{ mm}$$

Seguidamente se exponen los cálculos para el motor:

$$\begin{aligned} T_{motor} &= [R_{polea}(m.a + F_f) + I.(\omega/t) \cdot \pi \cdot \theta \cdot K] \cdot f \\ &= \left[ 6.37(9.81 + 4) + 57 \left( \frac{722,57}{2.5} \right) \pi \times 1.8 \times 97.73 \right] \times 1.4 \\ &= \mathbf{0.127466 \text{ N.m}} \end{aligned}$$

A partir del par obtenido y considerando que el objetivo es tener una velocidad máxima de 230 RPM para el eje X, se puede comprobar que el motor puede proporcionar el par necesario. En la ilustración 51 se observa que el motor cumple con las características requeridas ya que se sitúan por debajo de la curva de 12 Vdc.



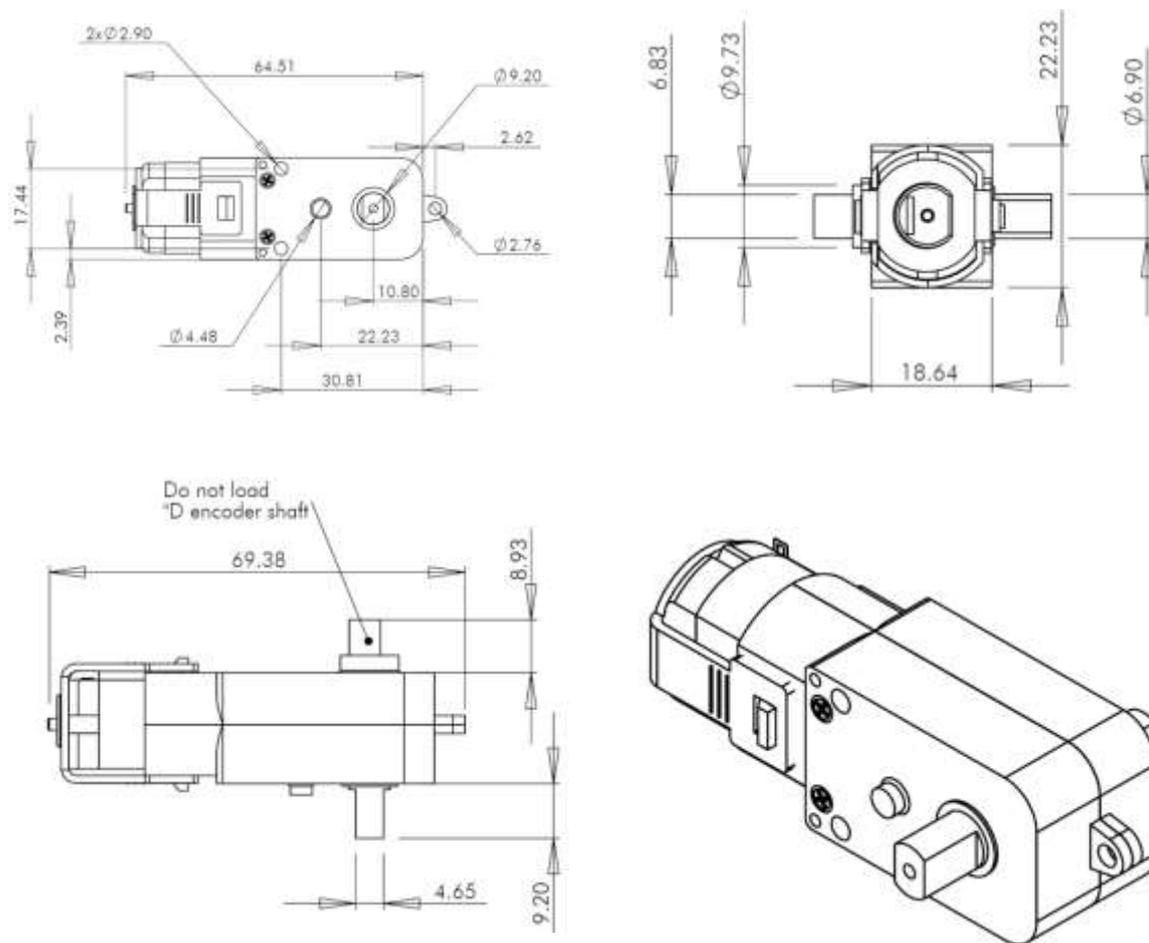
*Ιλυστραχι 51:* Χυρπασ δε ρενδιμιεντο δελ μοτορ.

Φυεντε: (3Δ, 2010)

Datos técnicos de motor DC

Longitud	Corriente nominal	Par de retención	Devanado	Inercia del rotor	Peso
"L" máx.	mA	Nm	±10%	g·cm <sup>2</sup>	Kg
69.38 mm	130 - 150	0.1078	1.04	57	0.0305

*Ταβλα 38:* Δατοσ τ χνιχοσ δελ μοτορ ΓΜ3. Φυεντε: (Σολαρβοτιχοσ, 2013)

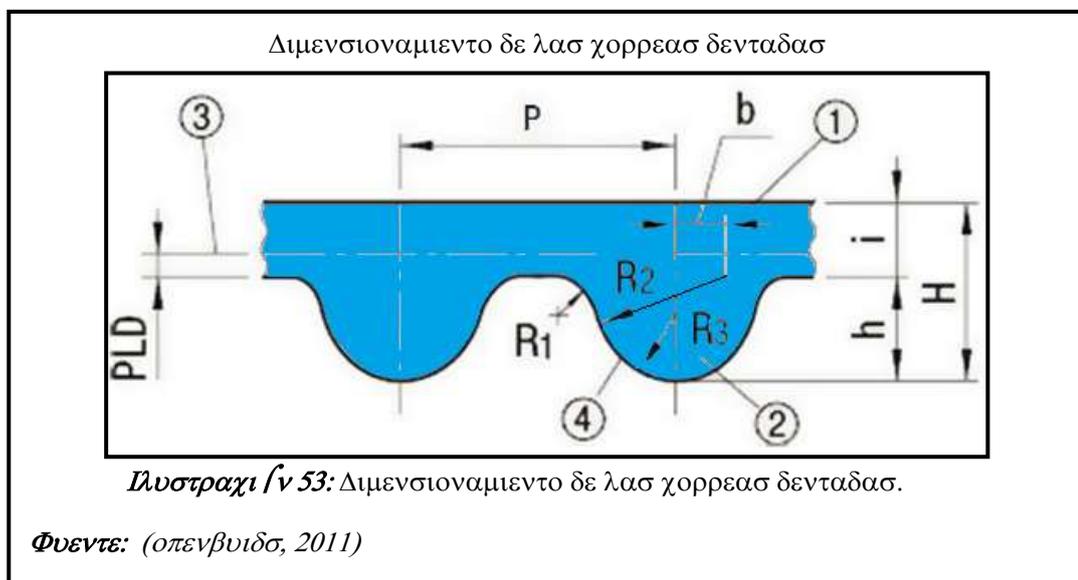


*Ιλυστραχι 52:* Διμενσιονεσ εν μμ δελ μοτορ ΓΜ3. Φυεντε: (Σολαρβοτιχοσ, 2013)

#### 4.9.1. Selección de las correas dentadas (Síncronas)

Para la transmisión del movimiento lineal se utilizan las correas dentadas ya que permiten el uso de poleas de diámetro pequeño transmitiendo una alta potencia. Además cuentan con la ventaja de ofrecer mayor flexibilidad y mejor adaptación a las poleas con el mínimo deslizamiento. Otros motivos para la elección de este tipo de transmisión son que garantizan una relación de transmisión constante entre los ejes y facilitan el mantenimiento, ya que no necesitan lubricación y el tensado no es tan exigente.

Existen diferentes tipos de correas dentadas según la forma de los dientes y el paso entre ellos. De estos tipos se estudiarán las alternativas para las correas. En la tabla se muestran las dimensiones de cada una de las series normalizadas para correas dentadas de perfil curvilíneo HTD.



De los perfiles expuestos el que se utilizará para nuestro proyecto será la de tipo GT2 ya que proporciona máxima sincronización y recomendada para espacios reducidos. Sus principales ventajas son:

- Permite ahorro de espacio.
- Ideal para aplicaciones de movimiento lineal.
- Permite trabajar con poleas de diámetro pequeño con el máximo número de dientes engranados.
- Adecuadas para motores paso a paso.
- Muy estable.

Como se observa en la tabla anterior, es el tipo de correa que presenta las menores dimensiones. Este factor y las ventajas expuestas confirman que las correas tipo GT2 son las que mejor se adaptan a las necesidades de nuestro proyecto.

### **Datos técnicos de las correas dentadas GT2 6mm**

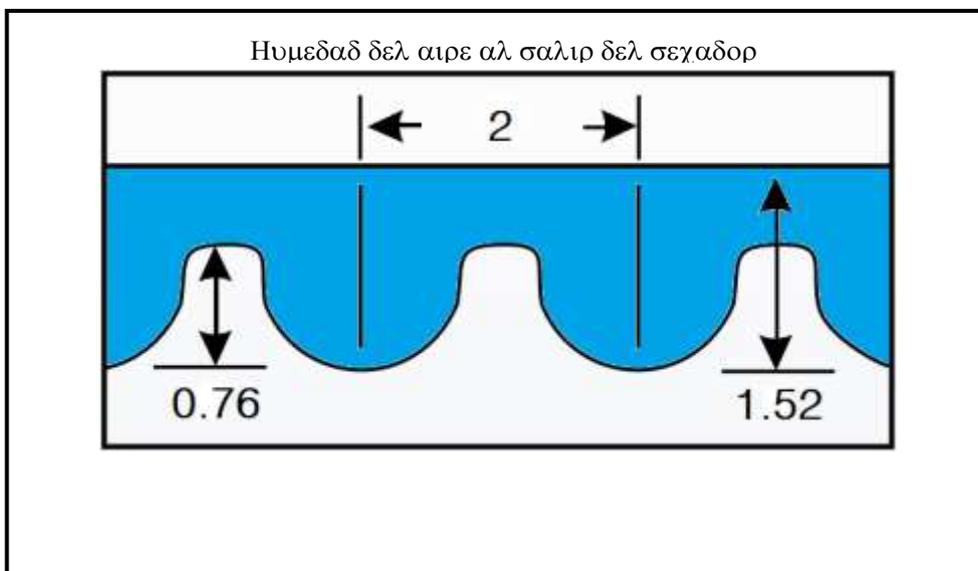
Material: Caucho con fibra de vidrio en el núcleo.

Especificaciones:

**Resistencia a La rotura:** 86 N por 1mm (0.62 libras por 1/8 ") de Ancho de Banda.

**Tensión de trabajo:** 111 N para 25.4mm Cinturón (25 libras de 1 " de la correa).

**Rango de temperatura:** -34 ° C a + 85 ° C (-30 ° F a 185 ° F)

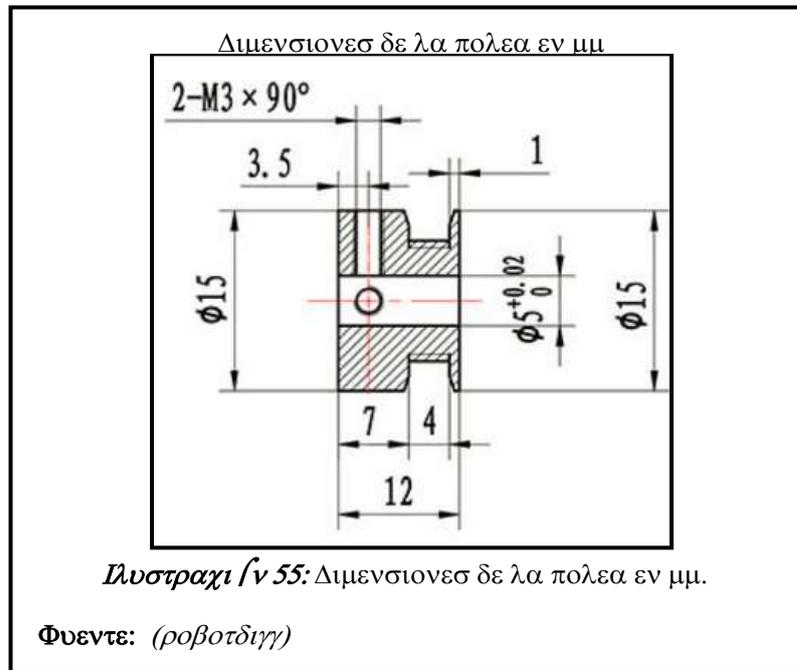


Ιλυστραχι *f*ν 54: Διμενσιονες δε λα χορρεα δενταδα εν μι.

Φυεντε: (μεχηατρονιχο, 2015)

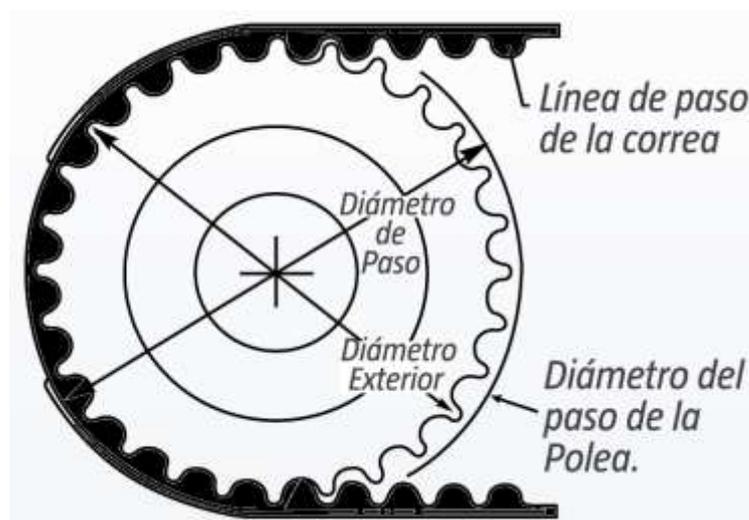
**Datos  
técnicos**

**de las poleas dentadas GT2-20T-5**



TIPO	Nº dientes (mm)	Paso del diente (mm)	Diámetro interno (mm)	Longitud (mm)
GT2	20	2	5	15

Ταβλα 39: Δατοσ τ χνιχοσ δε λα πολεα δενταδα σ νχρονα. Φυεντε: (Ναυλαμπ Μ., 2015)



*Ενδειξη εικόνας 56:* Πολεας δενταδας σ' νχρονας δε περφιλ χυρωο. **Φοεντε:** (Ιντερμεχ, 2012)

#### 4.10. Pruebas y resultados obtenidos con el prototipo.

##### 4.10.1. Pruebas de secado en el prototipo

#### Procedimiento:

1. Pesar la muestra de 1 kg para colocar en la bandeja



*Ενδειξη εικόνας 57:* Πεσαφε δε λα μυεστρα. **Φοεντε:** Προπια.

2. Medir el porcentaje de humedad inicial del grano de arroz



*Πυσπραχι 58:* Μεδιχι 5ν δε ηυμεδαδ αντεσ δελ προχεσο δε σεχαδο. Φυεντε: Προπια.



*Πυσπραχι 59:* Μυεστρα δε αρροζ αντεσ δελ προχεσο δε σεχαδο. Φυεντε: Προπια.

3. Colocar el arroz en la bandeja



*Ελυστραχι ρν 60:* Χολοχαχι ρν δελ αρροζ εν λα βανδεφα δε σεχαδο. Φυεντε: Προπια.

4. Iniciar el proceso de secado en el prototipo



*Ελυστραχι ρν 61:* Ινιχιανδο ελ προχεσο δε σεχαδο. Φυεντε: Προπια.

5. Controlar los parámetros de temperatura y humedad por medio del programa hyperterminal mediante bluetooth.



*Ιλυστραχι /ν 62:* Χοντρολανδο λος παρ(μετροσ δε τεμπερατυρα ψ ηυμεδαδ εν ελ προτοτιπο. **Φυεντε: Προπια.**

## 6. Determinación de la humedad final del grano



*Ιλυστραχι /ν 63:* Μεδιχι /ν δε ηυμεδαδ φιναι εν ελ ηιγρ /μετρο. **Φυεντε: Προπια.**



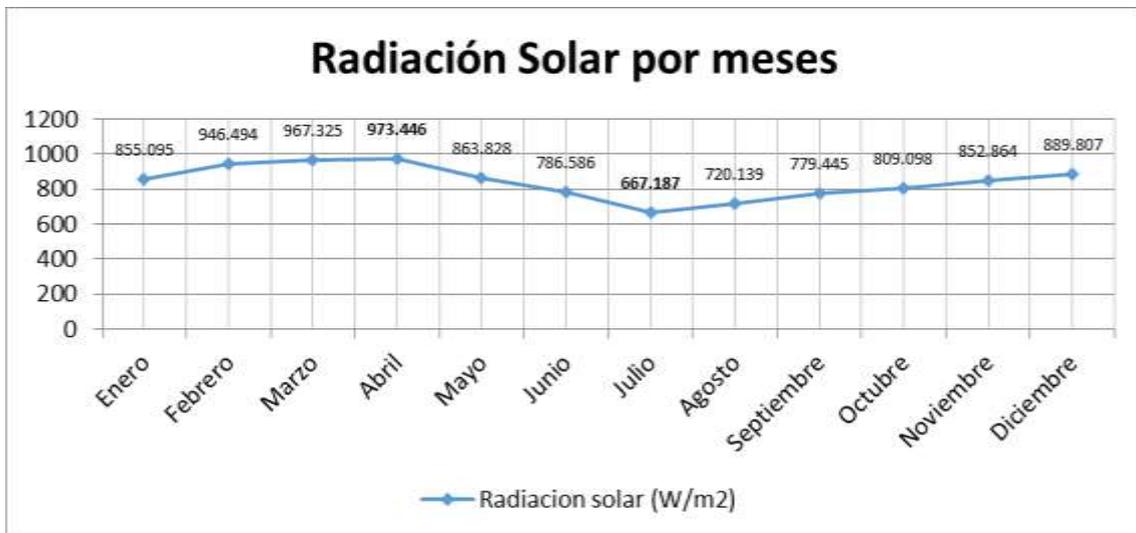
*Ιλυστραχι /ν 64:* Μυεστρα δε ηυμεδαδ φιναι ποστεριορ αλ προχεσο δε σεχαδο. **Φυεντε: Προπια.**

Observaciones:

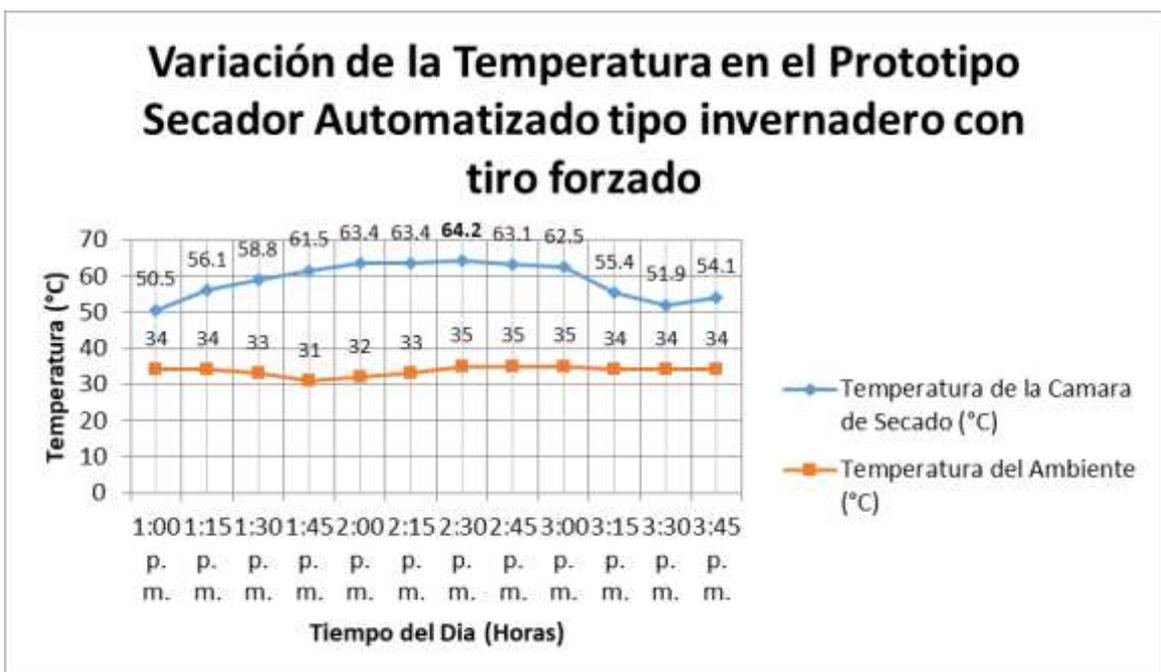
El porcentaje de humedad inicial en base húmeda, fue determinado en el molino “CRISTO MORADO”, ubicado en la carretera a Ferreñafe KM 03, En el distrito de Ferreñafe provincia de Chiclayo departamento de Lambayeque.

#### 4.10.2. Resultados y discusión obtenidos en el prototipo.

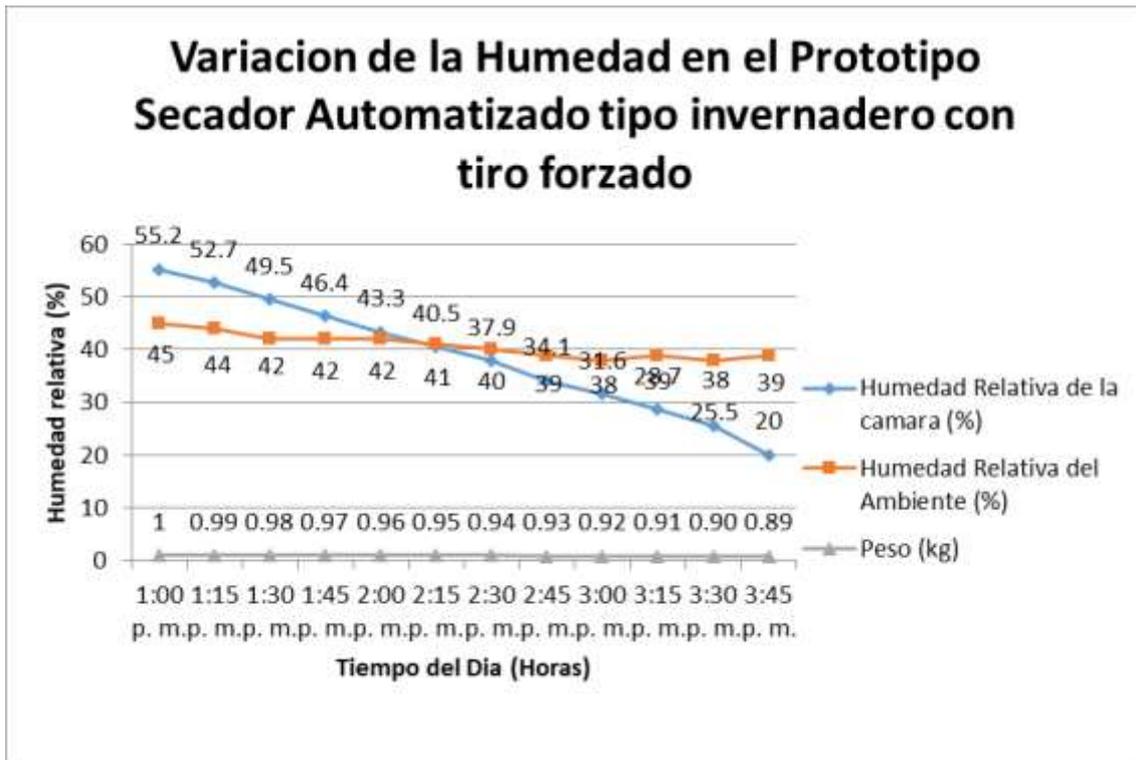
Los resultados de la evaluación del secador diseñado se pueden apreciar en las gráficas que a continuación comentaremos.



Γράφημα 9: Ραδιαχι Γν σολαρ μενσual. Τομανδο δατος δελ ΣΕΝΑΜΗΙ. Φυεντε: Προπια.



*Γράφηκο 10:* ζαριαχι Γν δε λα τεμπερατρα δελ αιρε χυανδο πασα πορ ελ σεχαδορ. Μεδιδασ χον λος σενσορεσ ΔΗΤ22 Ψ ΔΗΤ11. Φυεντε: Προπια.



**Γραφικό 11:** ζαριαχι ἶν δε λα ηυμεδαδ ρελατιβα δελ αιρε αλ σερ χαλενταδο εν ελ σεχα δορ. **Φυεντε: Προπια.**

En el gráfico 9, se distingue la radiación solar registrada por SENAMHI, se obtiene un máximo promedio en el mes de Marzo de  $973.446 \text{ W/m}^2$  y un mínimo en el mes de Julio con  $667.187 \text{ W/m}^2$ , valores muy aceptables para el secado de granos de arroz.

En la gráfica 10, se puede apreciar como la temperatura del aire (agente secante) dentro del secador va aumentando durante el día gracias a la temperatura que alcanza la plancha de acrílico. El día 31/08/2016 la temperatura ambiente promediaba los  $34^\circ\text{C}$  y en la cámara de secado se obtuvieron temperaturas promedio de alrededor de  $59^\circ\text{C}$ , que era uno de nuestros principales objetivos, eso nos indica que el secador está bien aislado, contribuyendo a mejorar su eficiencia. Eso nos dice que existen pocas pérdidas de calor en el secador solar y que el diseño es bueno y eficiente.

En la gráfica 11, se puede apreciar que la humedad del aire en la cámara de secado va desde un 55.2 % hasta un 19.3 % en horas del

mediodía a medida que se va calentando desde 34 grados centígrados hasta 64.2 grados centígrados a medida que va variando la radiación incidente durante el día, consideramos que se obtienen valores de ambos parámetros del aire muy buenos para el secado de productos, con estos parámetros el aire seco tiene gran avidez por la humedad que presentan los productos agrícolas. La humedad relativa del aire en el secador promedia 39.3% entre las 13:00 y las 15:45 horas. De acuerdo al peso en una muestra de 1kg se obtuvo 0.89 kg de masa seca en 3.5 horas.

# **CAPÍTULO V**

## **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**

## 5.1. Caracterizar el grano de arroz

Para caracterizar el grano de arroz nos regimos en los siguientes parámetros:

- **Calidad**
- **Tamaño**
- **Porcentaje de humedad**

Según la región de origen de compra, estos parámetros van cambiando, por ejemplo el arroz de la costa no es igual que el arroz de la selva, el arroz de la selva contiene mayor porcentaje de humedad que el arroz de la costa.

<b>CARACTERÍSTICAS RELATIVAS AL PRODUCTO</b>	
<b>PRODUCTO REFERENCIAL</b>	Arroz
<b>CANTIDAD</b>	1 kg
<b>DENSIDAD REFERENCIAL</b>	580 kg/m <sup>3</sup>
<b>HUMEDAD INICIAL</b>	17%
<b>HUMEDAD FINAL</b>	11%
<b>TIEMPO ESPERADO</b>	3.5 horas

## 5.2. Dimensionar el prototipo del secador de grano de arroz

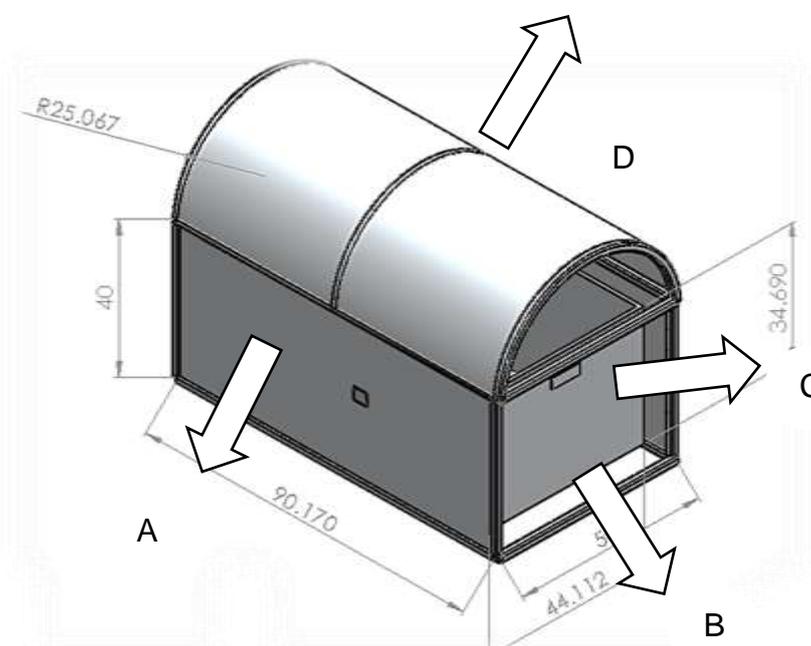
### 5.2.1. Diseño del sistema de secado por energía solar

El Diseño para este equipo está encaminado a dar soluciones que incrementen el rendimiento de la captación solar, conjunto con el empleo de las mejores propiedades ópticas en nuestros materiales.

La composición del material de la cubierta fija la temperatura de la misma y en consecuencia la transferencia de calor por radiación determinará el valor de pérdida energética y por ende el rendimiento de la cámara. Aunque el mecanismo de la transferencia de calor radiante predomina se debe considerar las pérdidas de energía en la convección. Todo el dimensionamiento está en el capítulo 4 en cálculos y resultados.

### 5.2.2. Diseñar la estructura del prototipo con sus medidas correspondientes y material adecuado.

El prototipo está construido a base de lámina galvanizada de 1/32", y tubo cuadrado de 1/2" por 1.2 mm de espesor, sus medidas correspondientes del prototipo son de 0.425 m de alto, 0.45 m de ancho por 0.60 m de largo. En la parte superior del prototipo se encuentra el acrílico con sus medidas correspondientes de 1.22 m de ancho por 1.22 m de largo cual captará la radiación solar producido por el calor del sol. En la figura se muestra el prototipo con las partes más importantes del mismo.



*Ενσωματωμένη εικόνα:* Παρτες δελ σεχαδορ. Φυεντε: Προπια.

- A) **La caja del secador:** Es el secador en sí, la parte más externa cuyas medidas corresponden al tamaño total del prototipo. Posee una estructura metálica para la recirculación del aire y la eliminación de la humedad.
- B) **La base del secador:** Es una estructura metálica que contiene rieles que se utiliza para ubicar la bandeja para el secado de arroz.
- C) **Bandeja:** Es una estructura de plancha de acero, lo cual en su base contiene correderas telescópicas para el desplazamiento y

también lo cual será utilizada para depositar el arroz para su respectivo secado.

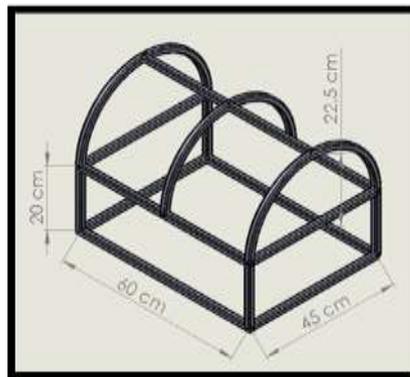
- D) **Acrílico:** Es el elemento encargado de calentar el aire e ingresar al mismo para el secado del arroz.

### 5.2.3. Especificaciones del prototipo

El prototipo se halla formado por las siguientes partes principales

- A) **Estructura del prototipo.** Su forma se puede apreciar en la figura y se halla constituido de la siguiente manera:

- 1) Estructura del secador solar



*Διαγράμμιση 66: Εστρυχτήρα δελ προτοπιτο. Φυεντε: Προπια.*

- B) **Bandeja.** La bandeja está compuesta por plancha de acero de forma rectangular en la cual se coloca el arroz.
- C) **Acrílico.** tiene forma ovalada para mayor captación de la radiación solar.

A continuación se presenta la tabla que especifica las dimensiones del secador solar de arroz.

<b>Especificaciones del secador solar</b>		
<b>Largo</b>	<b>Ancho</b>	<b>Alto</b>
<b>mm</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>
600	450	425

*Ταβλα 40: Διμενσιονες δελ σεχαδορ σολαρ. Φυεντε: Προπια.*

Por otra parte, en la tabla se muestran las dimensiones, materiales y especificaciones físicas de cada una de las partes que conforman el secador solar.

<b>Especificaciones de los materiales</b>		
<b>Elemento</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Espesor</b>
Plancha galvanizada	0.98 x 1.20 m	0.8 mm
Plancha de acero		0,8 mm
Tubo de fierro	5.80 m	1.2 mm
Acrílico	1.22 x 1.22 m	2.5 mm
Rieles	0.55 m	
Manija	2.54 m x 15.4 m	12 mm
Pernos	0.06 x 25.4 m	

*Ταβλα 41: Εσπεχιφιχαχιονες δε λος ματεριαλεσ δελ σεχαδορ. Φυεντε: Προπια.*

#### 5.2.4. Diseño de la estructura del secador



*Ελσπραχι 68*: Σεχαδορ σολαρ τιπο ινπερναδερο. Φυεντε: Προπια



*Ελσπραχι 67*: Σεχαδορ σολαρ πιστα ισομ[τριχα. Φυεντε: Προπια

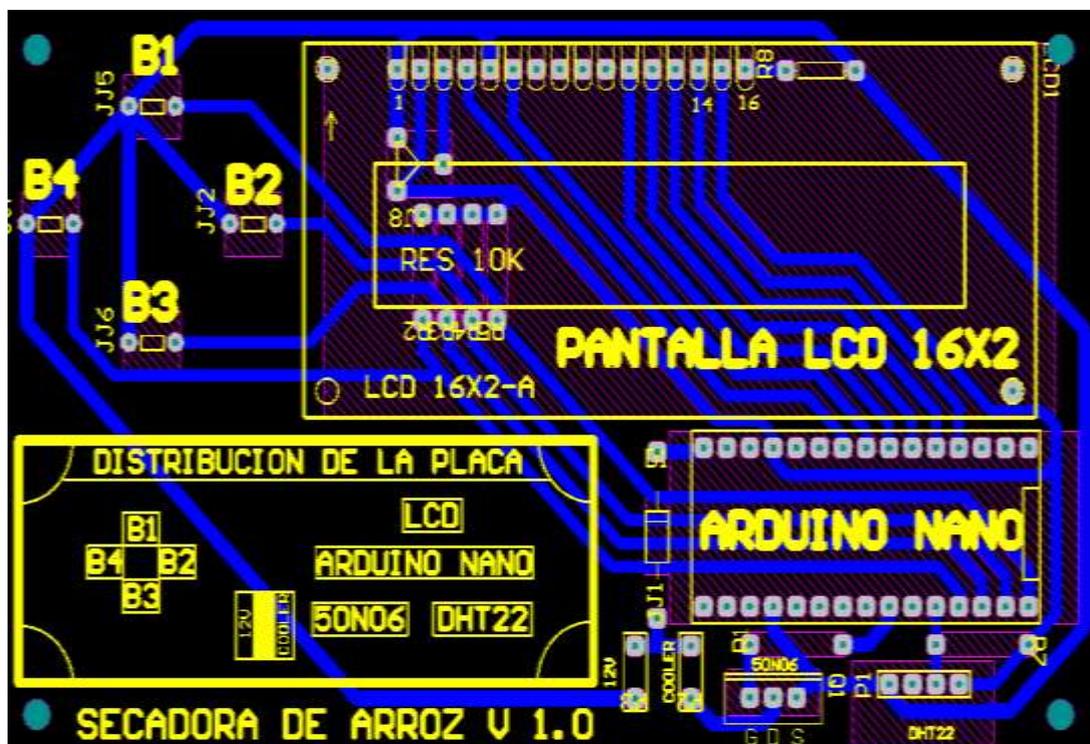
### 5.3. Implementar un sistema de control para las variables de temperatura y humedad alimentado por energía renovable.

Para la realización de la estrategia de control de temperatura y la visualización de humedad relativa se selecciona el arroz el cual tiene una temperatura óptima de secado de 50°C, (ver tabla 3).

Como propuesta de control de temperatura para el secador solar con una capacidad de 1 kg se realizó un control por medio del Arduino Nano (ver tabla 4), generando así una posibilidad económicamente viable y fácil de construir.

Para el montaje del prototipo de la propuesta de control se utilizaron los materiales descritos en el presupuesto.

El montaje consta de 5 elementos principales los cuales son el Arduino de control, el sensor de temperatura y humedad DHT22 y DHT11 encargados de transmitir la señal, la pantalla LCD es la encargada para la visualización de temperatura y humedad, el ventilador permite mantener la temperatura óptima en la cámara de secado y los 4 pulsadores encargados del setpoint.



*Ilustración 69:* Distribución de los componentes principales para el sistema de control. Fuente: Propia.

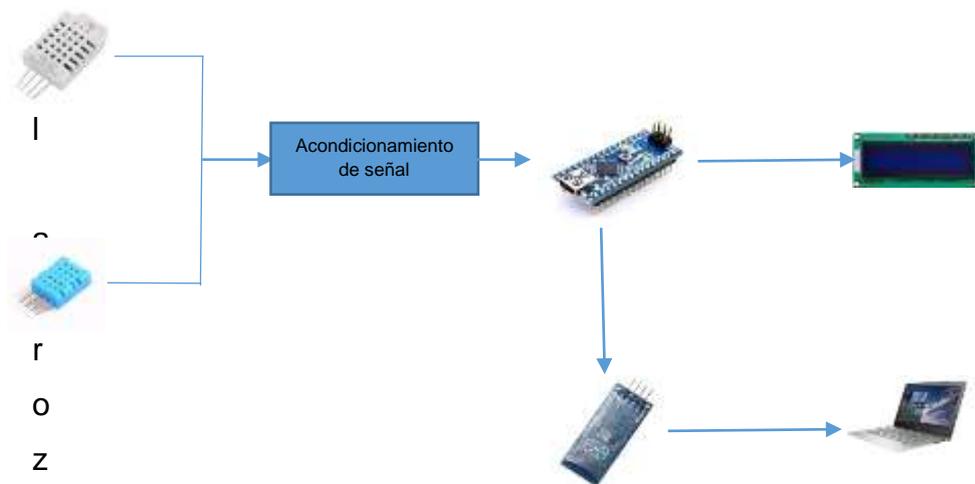
El modelo funciona de la siguiente manera:

Setpoint: El operador del secador selecciona la temperatura por medio de los pulsadores.

El setpoint enviado al controlador, igualmente los sensores DHT22 y DHT11 envían la señal de la temperatura y humedad a la cual se encuentra el arroz dentro del secador al Arduino de este modo el controlador calcula el error cuando sobrepasa la temperatura óptima.

En el momento en el cual el sensor marca la temperatura límite, el Arduino se encarga de activar al ventilador para reducir la temperatura del aire dentro del secador, de tal forma que en el momento en que la humedad esté muy alta se pueda renovar el aire, a través de los orificios de renovación del aire.

En el caso de la humedad relativa, la variable es medida constantemente por medio del sensor quien se encarga de enviar la señal a la pantalla LCD, a la vez envía los datos obtenidos a la computadora mediante el bluetooth, dando la posibilidad de hacer un análisis de funcionamiento y curvas de secado del producto. Posteriormente se le implemento un sistema de apagado automático controlado por el Arduino indicando el secado óptimo



*Ilustración 70:* Esquema del sistema. Fuente: Propia

### 5.3.1. Programación PID para controlar las variables de temperatura y humedad

“IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO SECADOR AUTOMATIZADO TIPO INVERNADERO CON TIRO FORZADO PARA EL SECADO DE ARROZ CON UNA CAPACIDAD DE 1 KG.”

Control de temperatura y visualización de humedad relativa mediante el sensor DHT22.

// Librerías a utilizar:

```
#include <PID_v1.h> // Incluimos la librería del PID
#include <LiquidCrystal.h> // Incluimos la librería de la LCD
#include <DHT22.h> // Incluimos la librería del sensor DHT22
#define DHT22_PIN 8 // Definimos el pin de conexión del sensor al Arduino
DHT22 myDHT22(DHT22_PIN); // Declaramos que vamos a usar un sensor
DHT22
LiquidCrystal lcd(A5,A4,A3,A2,A1,A0); // Declaramos pines de conexión de
la LCD
#define PIN_OUTPUT 3 // Definimos un pin de salida al ventilador
double Setpoint, Input,Input2,Output; // Temperatura de trabajo de la
secadora
double Kp=40, Ki=0, Kd=0;
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT);
int a=1;
void setup(void)
{
  pinMode(6,OUTPUT);
  pinMode(12,INPUT); // Pulsador
  pinMode(11,INPUT); // Pulsador
  pinMode(10,INPUT); // Pulsador
  pinMode(9,INPUT); // Pulsador
  lcd.begin(16,2); // Estamos utilizando una pantalla LCD de 16 x2
```

```

Setpoint = 25; // Empieza a temperatura de 25°C aproximadamente la
temperatura ambiente
Input=Setpoint; // Declaramos como entrada al set point que es la
temperatura de trabajo
myPID.SetOutputLimits(-255,0); // El límite del PID es hasta 255 velocidad
máxima del ventilador
myPID.SetMode(AUTOMATIC); // Lo va hacer automáticamente
void loop(void)
DHT22_ERROR_t errorCode; // Declaramos un error que va corregir el PID
errorCode = myDHT22.readData();
switch(errorCode)
{
case DHT_ERROR_NONE:
Input=myDHT22.getTemperatureC();
    Input2=myDHT22.getHumidity();
    break;
}
myPID.Compute();
    btn(0,a);
    menu(a);
    analogWrite(6,int(Output*(-1)));
    delay(100);
}
void btn(int m, int &v)
{
    int btn1=digitalRead(12);
    int btn2=digitalRead(11);
    int btn3=digitalRead(10);
    int btn4=digitalRead(9);
    if(btn1==0&&btn2==1&&btn3==1&&btn4==1&&m==0){a--;}
    if(btn1==1&&btn2==1&&btn3==0&&btn4==1&&m==0){a++;}
    if(btn1==1&&btn2==0&&btn3==1&&btn4==1&&m==1){v--;}
    if(btn1==1&&btn2==1&&btn3==1&&btn4==0&&m==1){v++;}
    if(a<=1){a=1;}
}

```

```

if(a>=2){a=2;}
if(v<=0){v=0;}
if(v>=99){v=99;}
delay(50);
}
void bttn(int m,double &v)
{
int btn1=digitalRead(12);
int btn2=digitalRead(11);
int btn3=digitalRead(10);
int btn4=digitalRead(9);
//if(btn1==0&&btn2==1&&btn3==1&&btn4==1&&m==0){a--;}
//if(btn1==1&&btn2==1&&btn3==0&&btn4==1&&m==0){a++;}
if(btn1==1&&btn2==0&&btn3==1&&btn4==1&&m==1){v--;}
if(btn1==1&&btn2==1&&btn3==1&&btn4==0&&m==1){v++;}
//if(a<=1){a=1;}
//if(a>=5){a=5;}
if(v<=0){v=0;}
if(v>=99){v=99;}
//delay(50);
}
void menu(int a)
{
if(a==1){menu1();}
if(a==2){menu2();}
if(a==3){menu3();}
if(a==4){menu4();}
if(a==5){menu5();}
}
void menu1()
{
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("TEMPERATURA ");

```

```

    lcd.print(Input);
    //lcd.print("");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("HUMEDAD(%) ");
    lcd.print(Input2);
}
void menu2()
{
    btnn(1,Setpoint);
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("VELOCIDAD ");
    lcd.print(int(Output*(-100)/255));
    lcd.print("%");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("T-SECADO ");
    lcd.print(int(Setpoint));
    lcd.print(" C");
}
void menu3()
{
    btnn(1,Kp);
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("*CONSTANTES PID*");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("PROPORCIONAL ");
    lcd.print(int(Kp));
}
void menu4()
    btnn(1,Ki);
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("*CONSTANTES PID*");

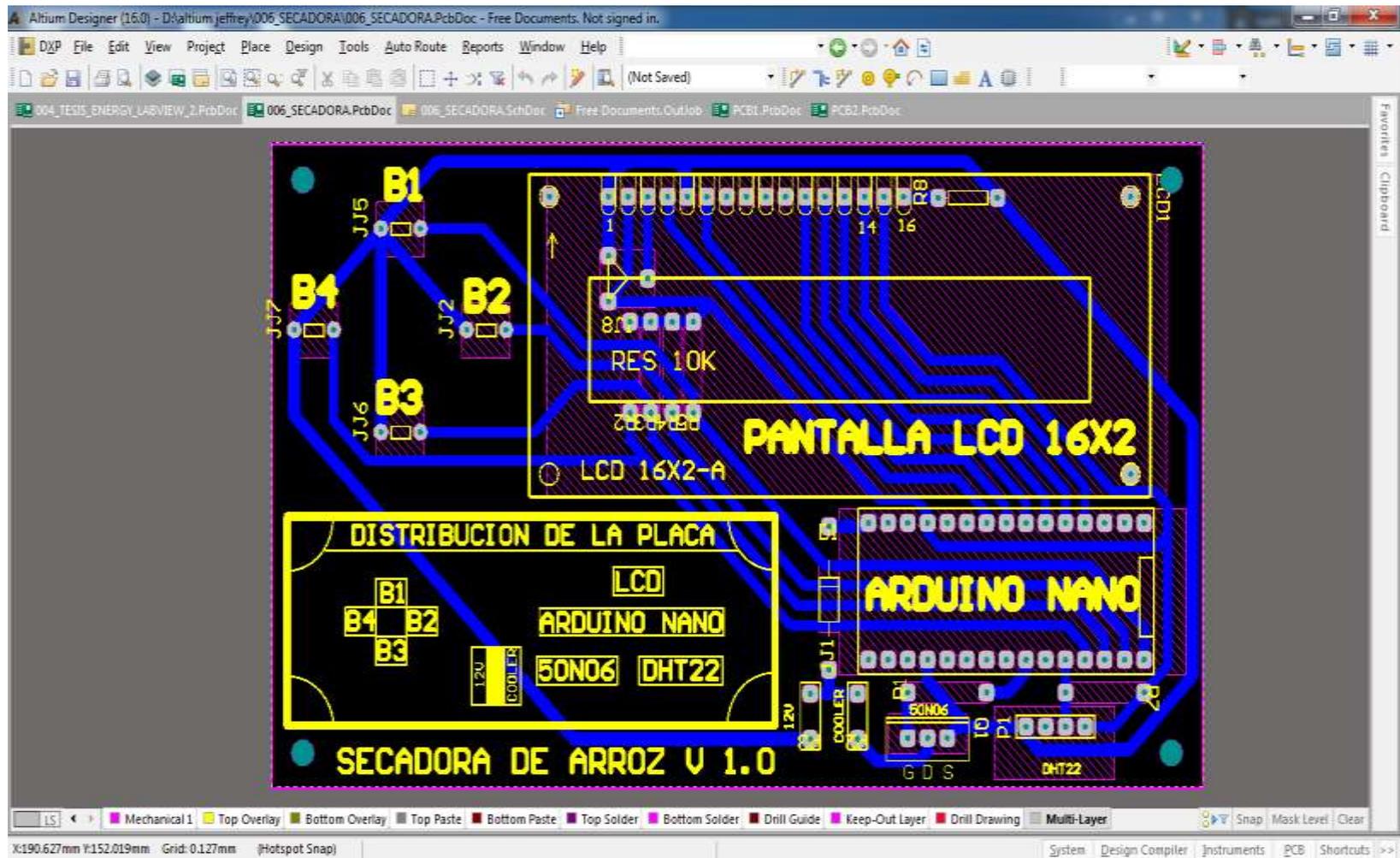
```

```
lcd.setCursor(0,1);  
lcd.print("INTEGRAL ");
```

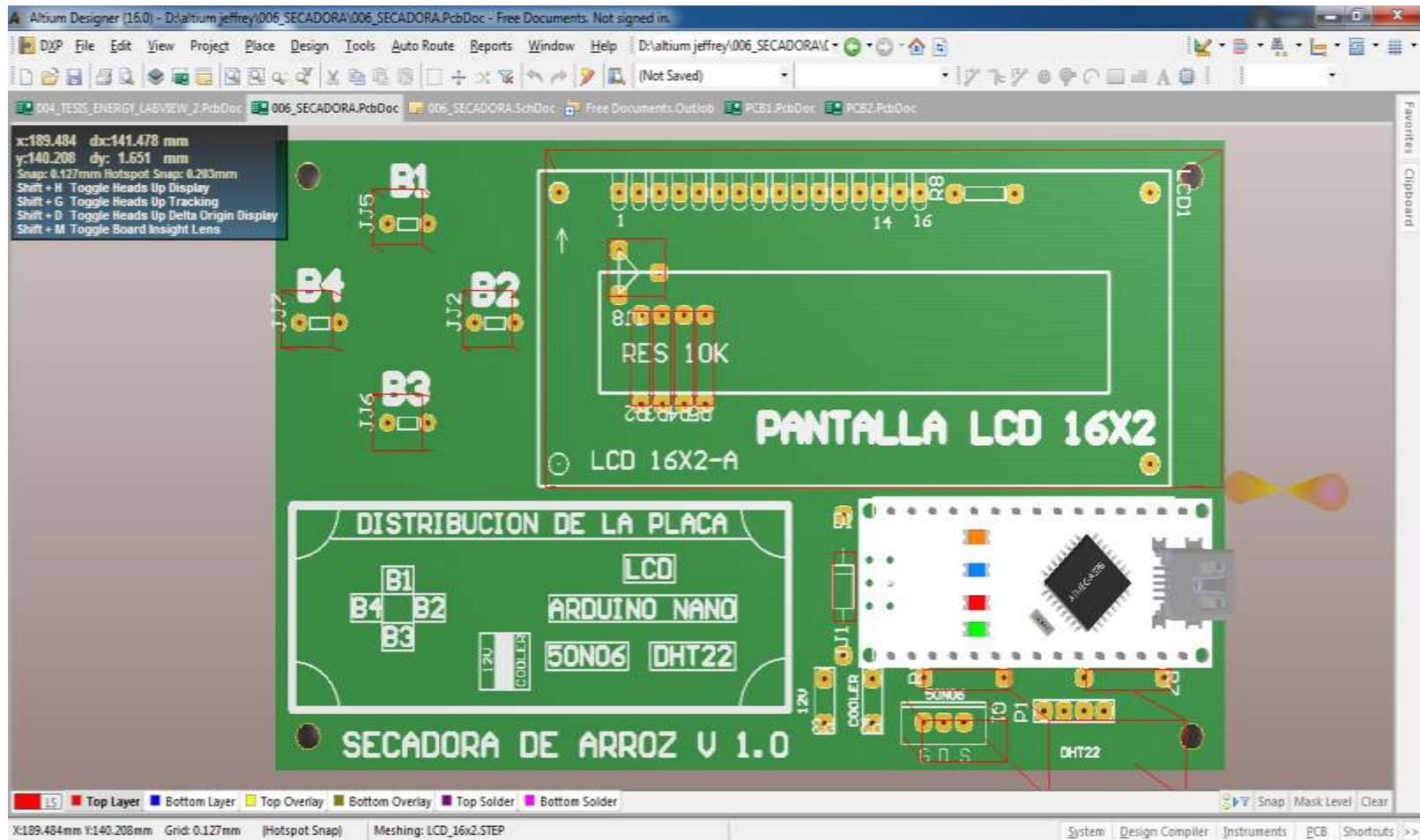
5.3.2. Diseño e implementación del sistema de control para las variables de temperatura y humedad en el programa Altium Designer.



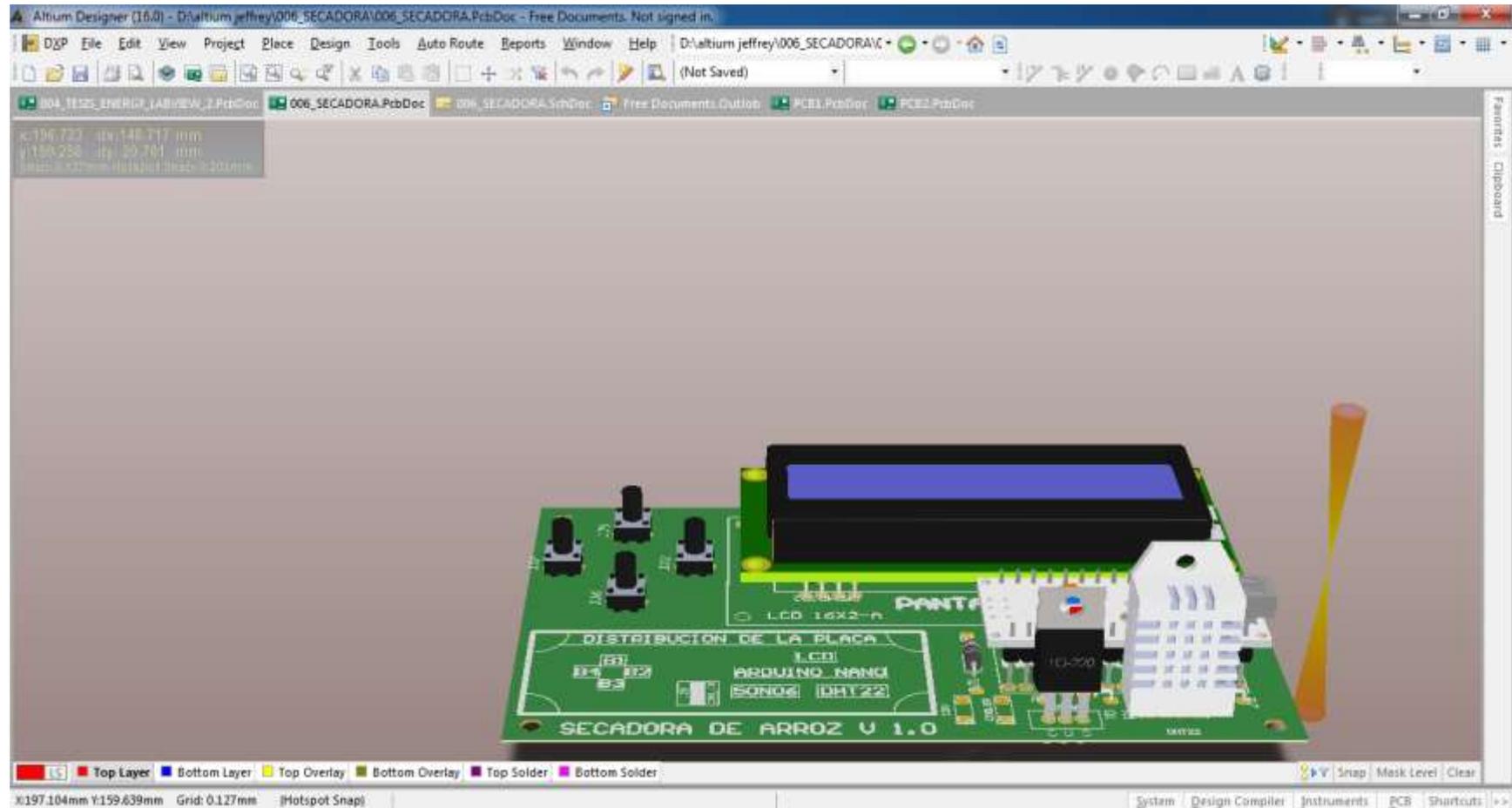
*Ilustración 71:* Vista frontal de la tarjeta de Arduino con los sensores de temperatura y humedad. Fuente: Propia.



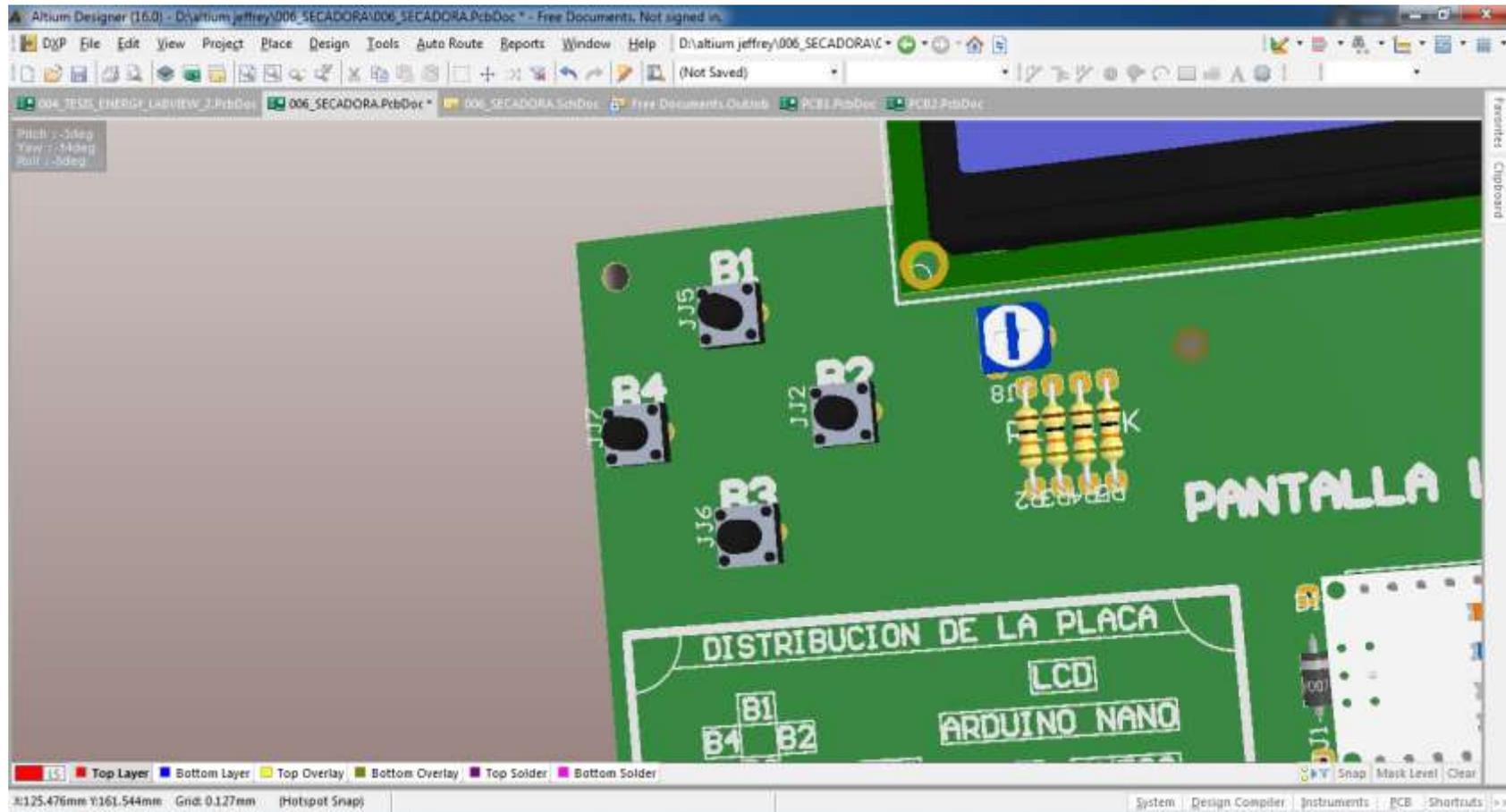
Ενσωματωμένη εικόνα: Η εικόνα απεικονίζει το λογισμικό Altium Designer (16.0) που χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό της πλακέτας. Το κύριο πεδίο εργασίας δείχνει το σχέδιο της πλακέτας με την τοποθέτηση των εξαρτημάτων. Τα εξαρτήματα που είναι ορατά περιλαμβάνουν τον Arduino Nano, την οθόνη LCD 16x2, τον αισθητήρα DHT22, τον μετασχηματιστή 50N06, τον ψυγαστήρα 12V, τον αντιστάτη 10K, και διάφορα καλώδια (JJ1-JJ7, RJ1-RJ8). Η πλακέτα ονομάζεται "SECADORA DE ARROZ V 1.0". Η εικόνα είναι μια οθόνη υπολογιστή με ένα μενού και ένα εργαλείο στην κορυφή.



Ιλυστραχι ίν 73: Χονεξίονεσ δε λοσ χομπονεντεσ. Φυνεντε: Προπια.



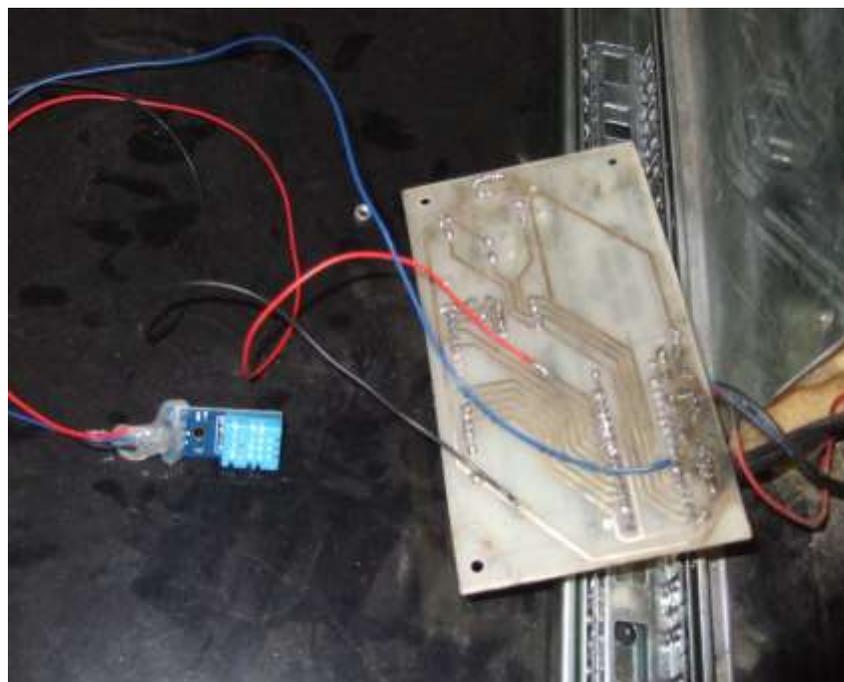
*Εκσραχι ρν 74:* ρισα τριδιμενσιοναλ δε λος ρομπονεντες ελεχτρ ρνιρσ. Φυεντε: Προπια.



Ενδειξη 75: Πυλσαδορες. Φυεντε: Προπια.



*Ιλυστραχι 76:* Ταρφετα δε αδθυσισχι 7ν δε δατος δελ προτοτιπο πιστα συπεριορ. Φυεντε: Προπια.



*Ιλυστραχι 77:* Ταρφετα δε αδθυσισχι 7ν δε δατος δελ προτοτιπο πιστα ποστεριορ. Φυεντε: Προπια.

#### 5.4. Manual de Usuario

# MANUAL DE USUARIO

A continuación detallaremos un manual de usuario para los componentes que se utilizarán para el buen funcionamiento del sistema automatizado:

1. **Pantalla LCD 16x2:** Es una pantalla plana sensible al tacto programada con PID para crear una terminal remota para controlar en tiempo real.
2. **Tipo de uso:** El uso de esta pantalla LCD está dirigida al proceso de secado de arroz del prototipo secador automatizado, esta pantalla brinda el ingreso de temperatura y la humedad inicial, así como también la visualización del proceso y la pérdida de humedad que sufre el arroz.
3. **Precauciones:**
  - No deben utilizarse las funciones de introducción de datos que no estén en los rangos del proceso de secado.
4. **Interfaces hombre – máquina:** En cualquier proceso industrial, es casi inevitable encontrar, al menos, una interfaz Hombre-Máquina que ayude a los operarios a monitorear y controlar el funcionamiento de un equipo.

Hasta la llegada de las “pantallitas”, los operarios, personal de mantenimiento y gerentes, sólo podían interactuar con sus procesos industriales a través de una serie de botones y luces piloto. Al tratarse de equipos de bajos grados de complejidad, dicha alternativa era aceptable, pero cuando se busca supervisar y modificar los parámetros de un proceso que posee diversas velocidades, materiales, equipos, recetas y procedimientos, entre otras variables, la versatilidad y capacidades gráficas de las pantallas, las transforman en el elemento preferido para llevar a cabo estas tareas.

5. **Ingreso de datos, indicadores y visualización del proceso:**

Ingresar temperatura: Aquí se ingresa la temperatura a la que la cámara de secado trabaja, esta está en un rango de 0°C a 100°C, para poder acelerar el proceso y disminuir si es que el proceso lo requiere.

Ingresar humedad inicial: Aquí se ingresa el porcentaje de humedad con la que ingresa la materia prima a la

cámara de secado, esto fundamental para que el sistema reconozca los valores y el rango a los que se trabaja.

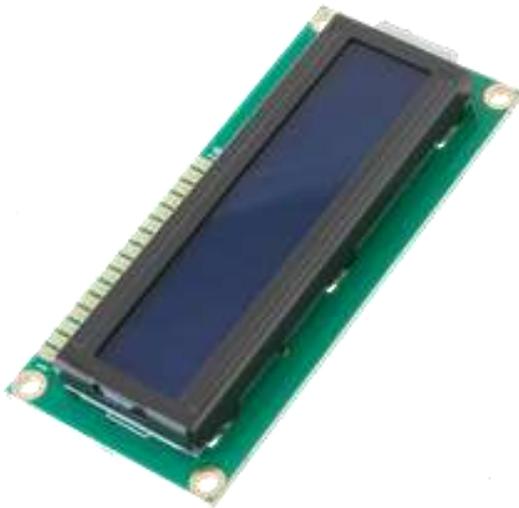
Indicador de temperatura: Una vez ingresada la temperatura requerida, el indicador procede a expresar los datos de acuerdo a como la temperatura sube o baja en el proceso de secado. De acuerdo al aumento de temperatura se da un valor ideal para el funcionamiento del ventilador.

Indicador de humedad: Este indicador nos transmite datos decrecientes, relacionados con las pérdidas de humedad que la materia prima sufre al ser sometida a este tipo de proceso, así mismo una vez alcanzada la humedad ideal (14%) el sistema procede a descargarse automáticamente.

Indicador de capacidad: Los indicadores de humedad están referidos a tanto a la cámara de secado, esta interacción consiste en visualizar la cantidad de materia que ingresa tanto a la cámara de secado como al silo.

Κάμερα de secado: La visualización de cámara de secado nos permite ver tanto el ingreso de materia primo con la descarga de la misma.

6. **Visualización del proceso**: En la imagen mostrada podemos apreciar la interface que ofrece la pantalla, así como también la visualización del proceso en tiempo real.



*Ελυστραχι /ν 78: Πανταλλα Λχδ 16ξ*  
2. Φυεντε: Προπια

### 5.4.1. Plan de Mantenimiento

# PLAN DE MANTENIMIENTO

A continuación detallaremos un plan de mantenimiento para los componentes que se utilizarán para el buen funcionamiento del sistema automatizado:

1. **Pantalla LCD 16x2:** En el panel de operador está diseñado de manera que requiera poco mantenimiento. Sin embargo, se recomienda limpiar con regularidad la pantalla y los pulsadores.

Requisitos para la limpieza táctil:

- Para limpiar el panel utilice un paño húmedo con un producto de limpieza.
- Como producto de limpieza, utilice únicamente un detergente lavavajillas o un producto de limpieza espumante para pantallas.

## ATENCIÓN:

### *Reacción imprevista*

- Al limpiar la pantalla táctil, es posible que se toquen teclas que provoquen una mala practica
- Por ello, antes de limpiar el panel de operador, desconéctelo para evitar reacciones imprevistas.

### *Daños debidos a productos de limpieza inadecuados*

- Si se limpia el panel de operador con aire a presión, chorro de vapor, disolventes o detergentes agresivos puede dañarse.
- No limpie el panel de operador utilizando aire comprimido ni chorros de vapor. No utilice nunca disolventes ni detergentes agresivos.

### Procedimiento:

- a) Desconecte el panel de operador.

- b) Rocíe un producto de limpieza sobre el paño.
- c) No lo rocíe directamente sobre el panel de operador.
- d) Limpie el panel de operador.
- e) Limpie el display desde el borde de la pantalla hacia adentro.

2. **Sensores:** Para el mantenimiento de los sensores debemos tener en cuenta lo siguiente:

- Calibración: periódicamente verifique la calibración de la salida y recalibre si es necesario.
- Conexiones eléctricas: inspeccione cada semana las conexiones de los cables en las tablillas y blocks de terminales.
- Conexiones del elemento sensor: verifique que el sensor tiene el comportamiento apropiado y que no hay fugas del medio de proceso.

- Conjunto del elemento sensor: mensualmente quite el elemento sensor para inspeccionarlo, verifique la evidencia histórica de acumulación de basuras y materia extraña en los elementos del sensor.

control. Sin chispas, no hay desgaste o acumulación de residuos en las puntas.

3. **Pulsadores** Los pulsadores normalmente se gastan porque al “cerrarse” se produce una chispa entre las dos puntas metálicas que cierran el circuito. Con el tiempo, éstas chispas desgastan las puntas metálicas o generan residuos no conductores que se acumulan en las puntas. Para lograr una vida útil de los pulsadores muy larga, uno de estos dos enfoques debe usarse:

**Opción 1:** Simplemente use puntas más grandes para controlar mejor el desgaste y la acumulación de residuos.

**Opción 2:** Elimine las chispas, usando circuitos avanzados contruidos en conjunto con el panel de

Se recomienda la revisión de las conexiones eléctricas semanalmente, para que durante el proceso no ocurra ninguna falla de los componentes.

PLAN DE MANTENIMIENTO						
ITEM	ACTIVIDAD	TRABAJO A REALIZAR				
		DIARIAMENTE	SEMANAL	MENSUAL	TRIMESTRAL	ANUAL
1	Limpieza de los sensores		X			
2	Revisiones de las Conexiones eléctricas			X		
3	Limpieza de la pantalla LCD		X			
4	Limpieza del arduino		X			
5	Limpieza del ventilador		X			
6	Limpieza de los pulsadores			X		

*Ταβλα 42: Πλαν δε Μαντενιμιεντο. Φυεντε προπια*

#### 5.4.2. Normatividad

- **NORMA ISO 9241 - PANTALLAS:** esta norma está referida al trabajo de oficina con equipos Pantallas de Visualización de Datos (PVD), también se relaciona con el acondicionamiento ergonómico de puestos de trabajo con PVD.

- **NORMA ISO 9001:** trata del alcance sobre el software y sobre los procesos productivos de la organización. No siempre es sobre el desarrollo, puede ser en la identificación de requisitos, en el propio desarrollo y por ejemplo en la entrega y mantenimiento.

- **NORMA ISO/IEC 9003:** Ingeniería del software. Guía de aplicación de la ISO 9001:2000 al software (no es certificable. Es una norma de buenas prácticas para definir con más detalle los conceptos de software sobre los procesos de la organización).

- **NORMA ISO/IEC 9126 -** La norma ISO/IEC 9126-1:2001 presenta -en el anexo- los pasos del enfoque de calidad de producto como un ejemplo orientado a la evaluación de la calidad. La identificación de requerimientos de calidad permite determinar los pesos a ser utilizados en el modelo de calidad y que debe reflejar las necesidades de calidad del usuario para cada una de las características y sub características.

## 5.5. Presupuesto

<b>COSTOS DIRECTOS DEL SISTEMA AUTOMATIZADO</b>				
<b>MATERIAL</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO S/.</b>	<b>TOTAL S/.</b>
Arduino nano	und	1	S/. 75.00	S/. 75.00
Pantalla LCD16X2	und	1	S/. 65.00	S/. 65.00
Sensor de temperatura DHT22	und	1	S/. 60.00	S/. 60.00
Sensor de temperatura DHT11	und	1	S/. 60.00	S/. 60.00
Ventilador de PC12V,1A	und	1	S/. 30.00	S/. 30.00
Bluetooth HC-05	und	1	S/. 55.00	S/. 55.00
Pulsadores de dos pines	und	4	S/. 5.00	S/. 20.00
Pulsadores de cuatro pines	und	4	S/. 5.00	S/. 20.00
Resistencias de 200 ohm	und	6	S/. 1.00	S/. 6.00
Resistencias de 10 OHM	und	1	S/. 2.00	S/. 2.00
Cable filamentado	m	5	S/. 5.00	S/. 25.00
Cable doble	m	1	S/. 4.00	S/. 4.00
Acido térmico	L	1/2	S/. 10.00	S/. 5.00
Cautín	und	1	S/. 20.00	S/. 20.00
Rollo de estaño	und	1	S/. 15.00	S/. 15.00
Jack para PCB	und	1	S/. 5.00	S/. 5.00
Moley3x2	und	2	S/. 4.00	S/. 8.00
LM7805	und	1	S/. 3.00	S/. 3.00
Protoboard	und	1	S/. 18.00	S/. 18.00
Espadín macho	und	1	S/. 2.00	S/. 2.00
Espadin hembra	und	2	S/. 2.00	S/. 4.00
Mosfet 50N06	und	1	S/. 5.00	S/. 5.00
Impresiones laser	und	2	S/. 5.00	S/. 10.00
Placa de fibra de vidrio	und	1	S/. 20.00	S/. 20.00
Jumper macho macho	und	12	S/. 2.00	S/. 24.00
Cable solido	m	1	S/. 1.00	S/. 1.00
Multímetro	und	1	S/. 80.00	S/. 80.00
			<b>TOTAL</b>	<b>S/. 657.00</b>

<b>GASTOS DIRECTOS DE INVESTIGACIÓN</b>				
<b>ITEM</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO.UNIT S/.</b>	<b>TOTAL S/.</b>
Visitas al molino	hrs	13	S/. 10.00	S/. 130.00
Viáticos	hrs	20	S/. 6.00	S/. 120.00
Impresiones	und	6	S/. 26.00	S/. 156.00
Internet	hrs	60	S/. 0.50	S/. 30.00
Copias	und	6	S/. 18.00	S/. 108.00
Otros gastos				S/. 250.00
			<b>TOTAL</b>	<b>S/. 794.00</b>

<b>COSTOS DIRECTOS DEL SISTEMA MECÁNICO</b>				
<b>MATERIAL</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO S/.</b>	<b>TOTAL S/.</b>
Lámina galvanizada	m	0.98 x 1.20	S/. 80.00	S/. 80.00
Tubo de fierro cuadrado 1/2x1.2 mm	m	0.60 x 0.45	S/. 55.00	S/. 55.00
Correderas telescópicas de 55 cm	und	2	S/. 12.00	S/. 24.00
Lámina de acero inoxidable	m	55 x 45 cm	S/. 150.00	S/. 150.00
Aislante de fibra de vidrio	m	1.2 x 12	S/. 95.00	S/. 95.00
Poleas GT2	und	2	S/. 25.00	S/. 50.00
Correas dentadas	m	3	S/. 20.00	S/. 60.00
Motor de CC caja reductora	und	2	S/. 25.00	S/. 50.00
Panel solar 20 Wp	und	1	S/. 190.00	S/. 190.00
Soporte para panel solar	und	1	S/. 50.00	S/. 50.00
Taladro	und	1	S/. 150.00	S/. 150.00
Manija de acero cromado	und	1	S/. 6.00	S/. 6.00
Pernos 1/4x1"	und	24	S/. 0.50	S/. 12.00
Plancha de acrílico 3/32"	m	1.22 x 1.22	S/. 85.00	S/. 85.00
Tela	m	0.60 x 0.55	S/. 20.00	S/. 20.00
			<b>TOTAL</b>	<b>S/. 1,077.00</b>

<b>COSTO POR MANO DE OBRA</b>	
<b>Estructura del prototipo</b>	<b>Costo total s/.</b>
Soldadura	S/. 250.00
Dobles de lámina galvanizada	S/. 80.00
dobles de lámina acero	S/. 150.00
pintura al horno	S/. 30.00
<b>TOTAL</b>	<b>S/. 510.00</b>

<b>COSTO POR AUTOMATIZACIÓN</b>	
<b>TOTAL</b>	<b>S/. 1,100.00</b>

<b>COSTOS Y GASTOS TOTALES</b>	
Costo por automatización	S/. 1,100.00
Costos directos del sistema mecánico	S/. 1,077.00
Gastos directos de investigación	S/. 794.00
Costos directos del sistema automatizado	S/. 657.00
Costo por mano de obra	S/. 510.00
<b>TOTAL</b>	<b>S/. 4,138.00</b>

## 5.6. Indicadores económicos

Valor Actual Neto (VAN):

Flujo de caja											
Descripción	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
<b>Costos: EGRESOS</b>											
<b>1. Costos de Inversión</b>	<b>S/. 4,138.00</b>										
1.2. Costo de mantenimiento		S/. 100.00									
1.3. Cambio de pantalla LCD				S/. 65.00			S/. 65.00			S/. 65.00	
1.4. Cambio de sensores		S/. 120.00									
<b>Costos</b>	<b>S/. 4,138.00</b>	<b>S/. 220.00</b>	<b>S/. 220.00</b>	<b>S/. 285.00</b>	<b>S/. 220.00</b>	<b>S/. 220.00</b>	<b>S/. 285.00</b>	<b>S/. 220.00</b>	<b>S/. 220.00</b>	<b>S/. 285.00</b>	<b>S/. 220.00</b>
<b>2. Beneficios: INGRESOS (AHORRO)</b>											
2.1. Consumo de combustible		S/. 300.00									
2.2. Mantenimiento de máquinas		S/. 800.00									
2.3. Materia prima		S/. 600.00									
2.4. Lubricante (2 unidades por año)		S/. 50.00									
<b>Beneficios</b>	<b>S/. 0.00</b>	<b>S/. 1,750.00</b>									
<b>Flujo de caja económica</b>	<b>S/. 4,138.00</b>	<b>S/. 1,530.00</b>	<b>S/. 1,530.00</b>	<b>S/. 1,465.00</b>	<b>S/. 1,530.00</b>	<b>S/. 1,530.00</b>	<b>S/. 1,465.00</b>	<b>S/. 1,530.00</b>	<b>S/. 1,530.00</b>	<b>S/. 1,465.00</b>	<b>S/. 1,530.00</b>

DATOS	VALORES
Numero de periodos	10
Tipo de periodo	anual
Tasa de descuento	15%

DETALLE	PERIODOS ANUAL										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>FNE</b>	-4,138	1,530	1,530	1,465	1,530	1,530	1,465	1,530	1,530	1,465	1,530

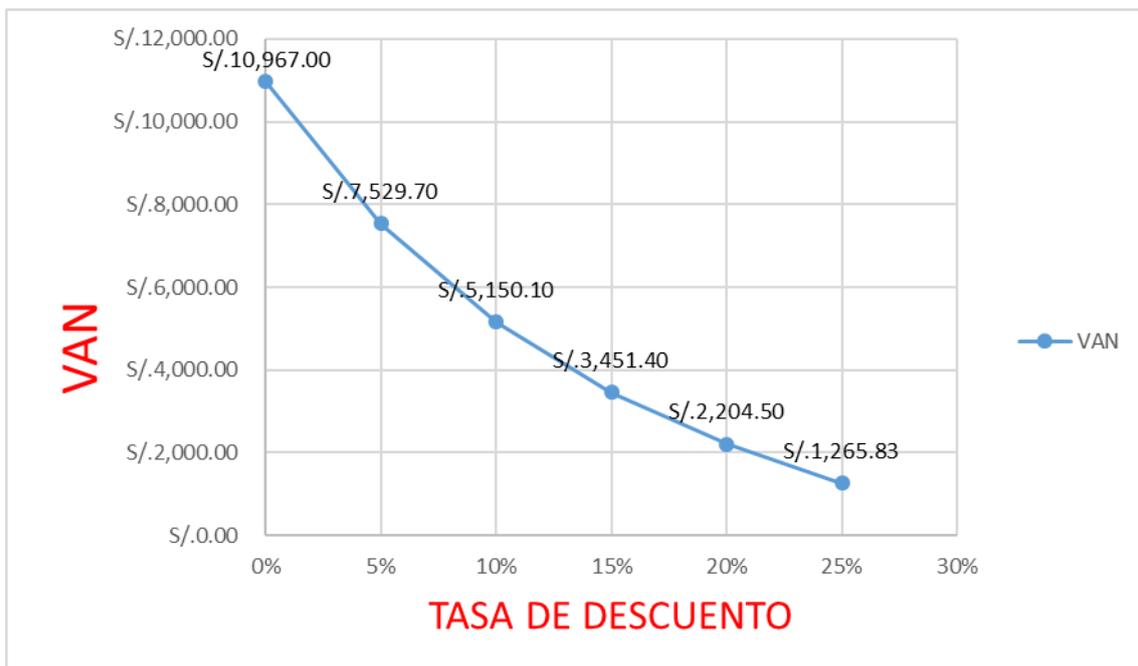
$$VAN = -I + \sum \frac{\text{Flujo Neto Efectivo}}{(1+i)^n}$$

TABLA. Valor Actual Neto (VAN)			
N°	FNE	(1+i)^n	FNE/(1+i)^n
0	-S/. 4,138.00		-S/. 4,138.00
1	S/. 1,530.00	1.2	S/. 1,330.43
2	S/. 1,530.00	1.3	S/. 1,156.90
3	S/. 1,465.00	1.5	S/. 963.26
4	S/. 1,530.00	1.7	S/. 874.78
5	S/. 1,530.00	2.0	S/. 760.68
6	S/. 1,465.00	2.3	S/. 633.36
7	S/. 1,530.00	2.7	S/. 575.18
8	S/. 1,530.00	3.1	S/. 500.16
9	S/. 1,465.00	3.5	S/. 416.44
10	S/. 1,530.00	4.0	S/. 378.19
	<b>TOTAL</b>		<b>S/. 3,451.40</b>

### Tasa Interna de Retorno (TIR):

TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	
TASA DE DESCUENTO	VAN
0%	S/. 10,967.00
5%	S/. 7,529.70
10%	S/. 5,150.10
<b>15%</b>	<b>S/. 3,451.40</b>
20%	S/. 2,204.50
25%	S/. 1,265.83
<b>TIR</b>	<b>35%</b>

Realizado el estudio de factibilidad económica de investigación en mención, se deduce que el VAN= **S/. 3,451.40** es mayor a cero, y el TIR= **35%** es mayor a 15%, por lo que se concluye el proyecto es económicamente factible y viable, para ponerlo en marcha.



La gráfica muestra que a menor interés mayor la ganancia.

**CAPÍTULO VI**

**CONCLUSIONES Y**

**RECOMENDACIONES**

## 6.1. Conclusiones

1. La humedad inicial del grano de arroz norteño es de un promedio de 17% a 20% y el grano proveniente de la selva es de 20% a 30%,
2. Para diseñar la estructura del prototipo se tuvo en cuenta la radiación solar de  $783.603 \text{ W/m}^2$  y el área para el dimensionamiento de la bandeja que ocupa 1Kg de arroz es de  $0.867 \text{ m}^2$ .
3. Con el programa hiperterminal y los sensores DHT11 y DHT22 se monitorean las variables de temperatura y humedad y es enviado y almacenado en el arduino, este envía los datos a la pantalla LCD para visualizarlo y se observó que la humedad del aire en la cámara de secado empezó con una humedad de 55.2% hasta un 21.1% en 3 horas y media, con temperaturas desde los  $34.3^\circ\text{C}$  hasta  $64.2^\circ\text{C}$
4. El indicador del VAN es 3 451.40 a 10 años y el indicador del TIR es el 35% por lo tanto es factible ejecutar el proyecto.
5. Se desarrolló un manual de usuario para el uso adecuado de la máquina y evitar que existan inconvenientes durante el proceso, por lo cual también elaboramos un plan de mantenimiento preventivo para alargar la vida útil del prototipo.
6. La elaboración de planos permitieron tener una perspectiva más detallada de sus medidas y sus componentes usados para el proceso de secador solar de arroz.

## **6.2. Recomendaciones**

- 1.** Recomendamos seleccionar las variedades de arroz por región.
- 2.** Al desarrollar proyectos de diseño para el secado de arroz debemos tener en cuenta la buena selección de materiales la cual nos permita provechar al máximo la energía solar disponible.
- 3.** Al implementar un sistema de control nos permitirá un mejor monitoreo de temperatura y humedad, garantizando que el producto final tenga las características adecuadas para su posterior proceso.
- 4.** Se sugiere el uso del manual de usuario para el correcto uso de la máquina para evitar tener interrupciones por mal manejo de los elementos de automatización. Por lo cual se deberá emplear el plan de mantenimiento realizado con el fin de obtener una constante producción durante todo el proceso de secado de arroz.
- 5.** Para realizar un detalle económico se debe realizar el análisis de costos total del proyecto para evitar cualquier conflicto económico.
- 6.** En los planos de fabricación se debe especificar las dimensiones exactas y el tipo de material utilizado en el proyecto para facilitar su ejecución.

## Bibliografía

- movimiento diurno del sol.* (s.f.). Obtenido de [http://www.publicacions.ub.edu/liberweb/astronomia\\_esferica/material/version\\_html/Tomo\\_1/1\\_6.htm#f151](http://www.publicacions.ub.edu/liberweb/astronomia_esferica/material/version_html/Tomo_1/1_6.htm#f151)
- 3D, D. d. (Noviembre de 2010). Obtenido de [file:///D:/Downloads/MEMORIA%20TFG\\_Sara%20de%20la%20Pe%C3%B1a.pdf](file:///D:/Downloads/MEMORIA%20TFG_Sara%20de%20la%20Pe%C3%B1a.pdf)
- Agustín Catejón, G. (2010). *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*. En A. Catejón. España: Editorial Editex.
- Amangandhi, J. (17 de abril de 2012). *Interruptor simple*. Obtenido de arduino: <http://jamangandi2012.blogspot.pe/2012/10/que-es-arduino-te-lo-mostramos-en-un.html>
- Aparicio, M. P. (2010). *Energía solar fotovoltaica: Cálculo de una instalación aislada*. Barcelona: Marcombo.
- Ballestos. (2013). *Control de posición de un balancín con arduino*. Valladolid.
- Baterías. (23 de agosto de 2016). *Acumuladores*. Obtenido de Acumuladores: <http://www.batteries4pro.com/es/acumuladores-baterias/llevar-impermeable/Yuasa/12V/2ah/3,2778-bateria-de-plomo-yuasa-12v-2ah-np3-2-12FR.html>
- Blasco, F. (11 de Abril de 2013). *solar action*. Obtenido de <http://solaraction.blogspot.com/search?updated-min=2013-01-01T00%3A00%3A00%2B01%3A00&updated-max=2014-01-01T00%3A00%3A00%2B01%3A00&max-results=2>
- Bogota, E. (25 de Abril de 2011). *Mini PLC*. Obtenido de Electricas Bogota: <http://www.electricasbogota.com/productos/mini-plc/>
- BUHL, G. (16 de JULIO de 2013). *ENERGETICA XXI*. Obtenido de <http://www.energetica21.com/noticia/400-mw-de-seguidores-solares-suministrados-e-instalados-en-plantas-solares-fotovoltaicas>
- Calculationsolar. (15 de mayo de 2013). *Acción solar*. Obtenido de <http://calculationsolar.com/blog/>
- Capistran. (11 de Diciembre de 2012). *Capistran.blogspot.com*. Obtenido de [Capistran.blogspot.com](https://capistran.blogspot.pe/2013_01_01_archive.html): [https://capistran.blogspot.pe/2013\\_01\\_01\\_archive.html](https://capistran.blogspot.pe/2013_01_01_archive.html)
- Carlos Najar, A. (2010). *Mejoras en el proceso productivo y modernización*. 11.

- Cengel, Y. A. (2011). Termodinámica. En Y. A. Cengel, *Termodinámica* (págs. 220-244). New York: Mc Graw Hill.
- Chaquilla, S. (02 de Abril de 2013). *mailxmail*. Obtenido de <http://www.mailxmail.com/curso-plan-negocios-manual/plan-financiero-evaluacion-economica-financiera-van-tir>
- científicos, t. (4 de 07 de 2005). *Energías renovables*. Obtenido de Energías renovables: <http://www.textoscientificos.com/energia/celulas>
- Cieza Bautista Segundo, T. G. (2012). *PLAN DE EVALUACION ECONOMICA Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO PARA EL TRATAMIENTO DEL ARROZ EN CASCARA HUMEDO APLICADA A LA EMPRESA MOLINERA LATINO SAC EN EL DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE. CHICLAYO.*
- Cinergia. (21 de Febrero de 2011). *Energía Solar*. Obtenido de <http://deltavolt.pe/documentos/Manual-ES-termica.pdf>
- CIOPERU. (08 de Julio de 2010). *Las ventajas de la automatizacion*. Obtenido de CIO: <http://cioperu.pe/articulo/4713/las-ventajas-de-la-automatizacion/>
- Cleanergysolar. (9 de Mayo de 2011). *CLEANERGYSOLAR - PORTAL sobre la energía limpia, renovable y eficiente*. Obtenido de <http://www.cleanergysolar.com/2011/05/09/tutorial-conceptos-de-posiciones-solares/>
- CLEXTRAL. (23 de MAYO de 2014). *LA SECADORA ROTANTE EVOLUM*. Obtenido de [WWW.CLEXTRAL.COM:WWW.CLEXTRAL.COM/ES/TECNOLOGIAS-LINEAS/EQUIPAMIENTO/LA-SECADORA-ROTANTE-EVOLUM](http://WWW.CLEXTRAL.COM:WWW.CLEXTRAL.COM/ES/TECNOLOGIAS-LINEAS/EQUIPAMIENTO/LA-SECADORA-ROTANTE-EVOLUM)
- CÓNDOR, A. F. (2010). *SISTEMA DE SEGUIMIENTO AUTOMÁTICO DEL SOL PARA* . Latacunga: ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO-ECUADOR.
- COSS BU, R. (1981). ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN. Ed. Limusa.
- COSTA LOPPZ, J. (1998). CURSO DE IGENIERIA QUIMICA INTRODUCCION A LOS PROCESOS. ED. REVERTE.
- Coyote, R. (20 de Junio de 2014). *Innovaciones tecnológicas en busca de una solución*. Obtenido de <http://iolocraiolo.blogspot.com/2014/06/innovaciones-tecnologicas-en-busca-de.html>

- Cubasolar. (23 de Enero de 2011). *Los captadores solares y sombras*. Obtenido de Los captadores solares y sombras: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia45/HTML/articulo02.htm>
- Cubillas, A. (1 de octubre de 2010). *Diseño e implementación de una estrategia de control predictivo para el secado de arroz paddy*. Obtenido de Universidad de Ibagué: <http://jaibana.udea.edu.co/grupos/revista/revistas/nro056/Articulo%208.pdf>
- DISTRILUZ. (04 de Noviembre de 2010). *NORMAS TECNICAS*. Obtenido de DISTRILUZ: [lugarde lamemoria.org/descargas/.../especificaciones\\_tecnicas.docx](http://lugarde lamemoria.org/descargas/.../especificaciones_tecnicas.docx)
- EATON. (13 de Agosto de 2009). *Arrancadores y contactores*. Obtenido de <file:///C:/Users/8.1/Downloads/Modulo%2019%20Arrancadores%20y%20Contactores.pdf>
- Eberlein, S. (2012). *Transistores de Potencia*. Santa Fe - Argentina: Universidad Nacional de Rosario.
- Echeverry, D. (2010). *Diseño y simulación de la automatización de un secador electromecánico de café*. Obtenido de Universidad Tecnológica de Pereira: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/2987>
- EFN-UNCOR. (13 de Agosto de 2009). *PLC*. Obtenido de Elementos y Equipos Electricos: [http://www.efn.uncor.edu/departamentos/electro/cat/eye\\_archivos/apuntes/a\\_practico/CAP%209%20Pco.pdf](http://www.efn.uncor.edu/departamentos/electro/cat/eye_archivos/apuntes/a_practico/CAP%209%20Pco.pdf)
- electric, s. (2013). *Twido Soft*. Recuperado el 14 de setiembre de 2014, de Schneider electric: <http://www.schneider-electric.com/products/cr/ls/3900-pac-plc-y-otros-controladores/3940-software/543-twido-soft/>
- ELECTRIC, S. (s.f.). *ENVOLVENTES UNIVERSALES Y TABLEROS CERTIFICADOS*.
- Electrónica. (07 de octubre de 2013). *Odioelectronica*. Obtenido de <http://odioelectronica.com/basculantes/pulsador-basculante/gmx-niv3516-con1204.htm>
- EMB. (19 de Marzo de 2013). *Pantallas de Operador*. Obtenido de EMB: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=2020>
- energia electrica*. (s.f.). Obtenido de <http://twenergy.com/energia/energia-electrica>

- energía solar* . (s.f.). Obtenido de <http://www.construoaxaca.com/#!energia-solar/clq9>
- energía, O. L. (19 de junio de 2013). *Olade*. Obtenido de Olade: <http://www.olade.org/programas-y-proyectos/>
- energías renovables* . (s.f.). Obtenido de <http://www2.osinerg.gob.pe/EnergiasRenovables/contenido/IntroduccionEnergiasRenovables.html>
- engineers), A. (. (15 de enero de 2003). *ahorro y eficiencia energética en invernaderos*. Obtenido de [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_10995\\_Agr07\\_AyEE\\_en\\_invernaderos\\_A2008\\_9e4c63f5.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10995_Agr07_AyEE_en_invernaderos_A2008_9e4c63f5.pdf)
- ERMEC. (18 de Mayo de 2013). *Pulsador*. Obtenido de ERMEC: <http://www.ermec.es/Pulsadores-e-Interruptores/Pulsadores-circuito-impreso/Pulsador-NC-NO-de-Mec>
- EROSSA MARTIN, V. (1987). PROYECTOS DE INVERSIÓN EN INGENIERÍA. Ed. Limusa.
- Española, R. L. (s.f.). Obtenido de <http://www.rae.es/recursos/diccionarios/drae>
- fácil, T. (05 de Noviembre de 2013). *Ventilador de pc*. Obtenido de <http://tecnologia-facil.com/que-es/que-es-funcion-ventilador-pc/>
- fao. (Abril de 1998). *FAO*. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e0j.htm#annex>
- FITO MAUPOEI, P. (2001). INTRODUCCION AL SECADO DE ALIMENTOS POR AIRE CALIENTE. UNIV.POLITECNICA DE VALENCIA.
- Fuente de Elevación Propia. (s.f.). *Molino El Pirata*. Obtenido de Área de secado térmico.
- Genaro, S. M. (2011). *SOFTWARE DE SOPORTE PARA EL CONTROL Y MONITOREO DEL DIRIGIBLE 6T DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA FAE*. Ambato: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.
- Gil Chang, J. V. (2008). *CULTIVO DE ARROZ SISTEMA INTENSIFICADO* . Obtenido de EXPERIENCIA DEDICADA A LOS : <http://sri.ciifad.cornell.edu/countries/ecuador/EcuGilLibroCultivodiArroz08.pdf>
- Gil, M. (25 de mayo de 2014). *Pulsador circular*. Obtenido de <http://www.manuelgil.com/Pulsador-circular-rojo-para-maquinas-micro.5002.246.0.0.0.htm>

Grayeb, S. (Viernes 8 de Diciembre de 2008). *Microcontroladores*. Obtenido de <http://losmicrocontroladores.blogspot.com/>

Hacedores. (25 de Abril de 2009). *tipos de arduino*. Obtenido de ISA: <http://hacedores.com/cuantos-tipos-diferentes-de-arduino-hay/>

Hacedores. (14 de Febrero de 2014). *tipos de arduino*. Obtenido de ISA: <http://hacedores.com/cuantos-tipos-diferentes-de-arduino-hay/>

<http://www.degeriberica.com/wp/>. (s.f.).

[http://www.senamhi.gob.pe/pdf/atlas\\_solar.pdf](http://www.senamhi.gob.pe/pdf/atlas_solar.pdf). (s.f.). Obtenido de [http://www.senamhi.gob.pe/pdf/atlas\\_solar.pdf](http://www.senamhi.gob.pe/pdf/atlas_solar.pdf)

[http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home\\_main\\_frame/04\\_componen/01\\_generador/01\\_basico/4\\_gene\\_01.htm](http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/04_componen/01_generador/01_basico/4_gene_01.htm). (s.f.). Obtenido de [http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home\\_main\\_frame/04\\_componen/01\\_generador/01\\_basico/4\\_gene\\_01.htm](http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/04_componen/01_generador/01_basico/4_gene_01.htm)

IBARZ RIVAS, A. (2005). OPERACIONES UNITARIAS EN LA INGENIERIA DE ALIMENTOS . MUNDI-PRENSA LIBROS.

Indeco. (05 de Noviembre de 2012). *Nexan*. Obtenido de Nexan: [http://www.nexans.pe/eservice/Peru-es\\_PE/navigate\\_241575/Global\\_expert\\_in\\_cables\\_and\\_cabling\\_systems.html](http://www.nexans.pe/eservice/Peru-es_PE/navigate_241575/Global_expert_in_cables_and_cabling_systems.html)

Indeco. (12 de marzo de 2015). Obtenido de <http://www.incoresa.com.pe/descargas/catalogos/indeco.pdf>

Indecopi. (Junio de 2001). *Norma Técnica Peruana*. Obtenido de NTP: [http://eeea.ca/wp-content/uploads/2013/09/NTP-LPTS\\_399.400.2001-Colectores-Solares1.pdf](http://eeea.ca/wp-content/uploads/2013/09/NTP-LPTS_399.400.2001-Colectores-Solares1.pdf)

Ingemecanica. (14 de diciembre de 2012). Obtenido de <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>

INTA. (26 de DICIEMBRE de 2013). *SECADORA DE GRANO AUTOMÁTICA*. Obtenido de NUEVAS TECNOLOGÍAS ENARG: [NUEVASTECNOLOGIASENARG.BLOGSPOT.COM/2013/12/EL-INTA-CREO-UNS-SECADORA-DE-GRANOS-HTML](http://NUEVASTECNOLOGIASENARG.BLOGSPOT.COM/2013/12/EL-INTA-CREO-UNS-SECADORA-DE-GRANOS-HTML)

Intermec. (29 de marzo de 2012). Obtenido de [file:///D:/Downloads/Catalogo\\_productos\\_Intermec.pdf](file:///D:/Downloads/Catalogo_productos_Intermec.pdf)

ISA. (25 de Abril de 2009). *Interruptor Termomagnético*. Obtenido de ISA: <http://www.isatableros.com/interruptores-termo-magneticos>

- Jaramillo, A. (25 de abril de 2012). *Diseño y construcción de un secador de grano por fluidización e implementación del control de flujo y temperatura*. Obtenido de Escuela Politécnica Nacional: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4615>
- Juárez, A. S. (2012). *SISTEMAS FOTOVOLTAICOS*. Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Juventud, D. d. (27 de Abril de 2014). *Alistados secaderos de arroz en Vertientes, Camagüey*. Obtenido de Juventud Rebelde: <file:///C:/Users/Victor/Documents/Trabajos/9/Tesis/Alistados%20secaderos%20de%20arroz%20en%20Vertientes,%20Camag%C3%BCey%20-%20Cuba%20-%20Juventud%20Rebelde%20-%20Diario%20de%20la%20juventud%20cubana.htm>
- Kepler Weber, G. (2010). *Linea de secadoras de arroz*. Obtenido de <http://www.viarural.com.pe/agricultura/silos/kepler-weber/secadores-linea-arroz.htm>
- LEÓN, G. (05 de agosto de 2012). *INFORMADOR.MX*. Obtenido de <http://www.informador.com.mx/tecnologia/2012/395337/6/permiten-seguidores-solares-ahorrar-energia.htm>
- Limpías, I. N. (28 de noviembre de 2016). *Ineel*. Obtenido de Ineel: [http://www2.ineel.mx/proyectorfotovoltaico/preg\\_05.html](http://www2.ineel.mx/proyectorfotovoltaico/preg_05.html)
- López, D. A. (13 de Junio de 2013). *Prezi*. Obtenido de [https://prezi.com/a\\_bvznskhuwb/concepto-diseno/](https://prezi.com/a_bvznskhuwb/concepto-diseno/)
- LUCERO. (12 de ABRIL de 2012). Obtenido de <http://cip.org.pe/imagenes/temp/tesis/46274888.pdf>
- Madrimsd. (08 de junio de 2015). *Nuevos desarrollos para aumentar la eficiencia en paneles solares*. Obtenido de Nuevos desarrollos para aumentar la eficiencia en paneles solares: <http://www.madrimsd.org/blogs/energiasalternativas/2010/04/12/130803>
- Martínez, C. (2009). *Evaluación de la calidad culinaria y molinera del arroz*. Cali.
- Marzoa, L. G. (5 de Diciembre de 2013). *Boletín Solar Fotovoltaica Autónoma*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/189716793/Sunfields-Boletin-Fotovoltaica-Autonomas>
- Mateo, V. M. (2015). *Instalaciones Generadoras Fotovoltaicas*. Madrid: Ediciones Paraninfo S.A.

- mechatronics, N. (mayo de 2015). Obtenido de <http://www.naylampmechatronics.com/impresion-3d-cnc/117-correadentada-gt2.html>
- Metring. (28 de Junio de 2009). *Aplicacion de las termocuplas*. Obtenido de [metring.com: http://www.metring.com/notes/HI-10-10-MT2009.pdf](http://www.metring.com/notes/HI-10-10-MT2009.pdf)
- Minem. (12 de marzo de 2015). *Mnem*. Obtenido de <http://www.minem.gob.pe/>
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, (. M. (2011). PRINCIPALES ASPECTOS DE LA CADENA AGROPRODUCTIVA. 37.
- Misti, F. (9 de abril de 2012). *Cultivo de Arroz*. Obtenido de CorpMisti: [http://www.corpmisti.com.pe/download/sistema/web3\\_1.pdf](http://www.corpmisti.com.pe/download/sistema/web3_1.pdf)
- Moreno, G. (2014). *Construcciones de secadores*. Lima.
- Morlote, H. (10 de Abril de 2013). *Desarrollo de Productos Electrónicos*. Obtenido de <https://cifpn1hectorm.wordpress.com/2013/04/10/estudio-de-la-estructura-interna-del-pic-16f877/>
- Moya, R. S. (2010). *DISEÑO DE UNA CENTRAL FOTOVOLTAICA DE 100 kWp DE POTENCIA NOMINAL*. Madrid: UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID.
- Moya, Roberto Sanz. (2010). *DISEÑO DE UNA CENTRAL FOTOVOLTAICA DE 100 kWp DE POTENCIA NOMINAL*. MADRID: UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID.
- Muñiz, J. M. (2010). *Energía Solar Fotovoltaica*. Madrid: Fundacion Confemetal.
- Naylamp. (2015). Obtenido de [http://www.naylampmechatronics.com/impresion-3d-cnc/116-poleadentada-gt2-20t-5.html?search\\_query=polea&results=8](http://www.naylampmechatronics.com/impresion-3d-cnc/116-poleadentada-gt2-20t-5.html?search_query=polea&results=8)
- Naylamp, M. (noviembre de 2015). *Naylamp*. Obtenido de <http://www.naylampmechatronics.com/inalambrico/43-modulo-bluetooth-hc05.html>
- NI. (2014). *LabVIEW*. Obtenido de National Instrumen: <http://www.ni.com/labview/whatsnew/esa/>
- Noryeli. (10 de abril de 2011). *Cultivo de Arroz*. Obtenido de Arroz: <http://noryeli-cultivodearroz.blogspot.com/>
- Olazábal Ramírez, K. (01 de 07 de 2013). *Utcubamba: producción y comercio de arroz*. Obtenido de <file:///C:/Users/Victor/Documents/Trabajos/9/Tesis/Utcubamba%20%20pr>

oducci%C3%B3n%20y%20comercio%20de%20arroz%20%20%20La%20Colmena.htm

openbuids. (08 de junio de 2011). Obtenido de <https://openbuids.com.mx/tienda/correa-dentada-gt2-2gt-gt3-3gt-sincronizacion/>

Orbegozo, M. S. (2010). Promoviendo mercados locales articulados de energías renovables. *ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA*, 49.

Osinerming. (2014). CENTRALES DE GENERACIÓN CON RECURSOS ENERGÉTICOS RENOVABLES. *GERENCIA DE FISCALIZACION ELECTRICA*, 157.

Pacheco, P. Z. (28 de Mayo de 2012). *Centro de capacitacion para el desarrollo*. Obtenido de <http://cuscosolar.org/publicaciones.php?id=4>

Pamela, M. A. (10 de Noviembre de 2014). *Sistemas Tecnologicos: Sistema Mecanico*. Obtenido de <http://darkneit7.blogspot.com/2014/11/introduccion-los-mecanismos-estan.html>

Papadakis. (19 de septiembre de 2012). *Invernaderos de plástico*. Obtenido de [https://books.google.com.pe/books?id=paLSAQAAQBAJ&pg=PA96&lpg=PA96&dq=quien+es+papadakis+et+al&source=bl&ots=V\\_Quk9NSKc&sig=WoHMNG02Dqiwx8KjUJIAvxEjqt4&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjZt6Cv5bfPAhXBqB4KHWN2CksQ6AEIHTAB#v=onepage&q=quien%20es%20papadakis%20et%20al&f](https://books.google.com.pe/books?id=paLSAQAAQBAJ&pg=PA96&lpg=PA96&dq=quien+es+papadakis+et+al&source=bl&ots=V_Quk9NSKc&sig=WoHMNG02Dqiwx8KjUJIAvxEjqt4&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjZt6Cv5bfPAhXBqB4KHWN2CksQ6AEIHTAB#v=onepage&q=quien%20es%20papadakis%20et%20al&f)

PAREDES, E. B. (2003). *ATLAS DE ENERGÍA SOLAR DELPERÚ*. Lima.

Paucar, E. (3 de mayo de 2010). *Diseño y Construcción de un Secador por Fluidización para Deshidratación de Trigo*. Obtenido de Escuela Superior Politecnica de Chimborazo: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/252>

Potencia, E. (febrero de 2010). *Energía Eléctrica ecológica*. Obtenido de <http://www.ecopotencia.com/incidencia.html>

Prosolmed. (lunes 07 de febrero de 2005). *Reparación y mantenimiento de instalaciones fotovoltaicas*. Obtenido de <http://www.energias-renovables.com/articulo/seguidor-solar-de-dos-ejes-para-buscar>

Rduinostar. (08 de Febrero de 2013). *Sensor de temperatura DHT22*. Obtenido de <http://rduinostar.com/documentacion/datasheets/dht22-caracteristicas-am2302/>

- Renovetec. (2014). Instalaciones fotovoltaicas situacion en Chile y España. *Renovetec*, 23.
- Robles, F. (17 de abril de 2012). *Interruptor simple*. Obtenido de Elizabethrl.wikispaces:  
<http://elizabethrb.wikispaces.com/file/view/INTERRUPTOR+SIMPLE.pdf>
- robotdigg. (s.f.). Obtenido de <http://www.robotdigg.com/product/634/20-tooth-3mm-wide-gt2-belt-pulley>
- Robótica, C. y. (28 de junio de 2012). *Características de sistemas de control*. Obtenido de Control y robotica ampliada:  
<http://controlyroboticampliado.blogspot.com/2012/06/tipos-y-caracteristicas-de-sistemas-de.html>
- S.A.S, A. (2009). *Disyuntores*. Obtenido de Accesorios y consultoria:  
<http://www.automatizando.com.co/interruptoresautomaticos.htm>
- Sardinero, I. B. (2010). *Instalación solar fotovoltaica conectada a red sobre la azotea de una nave industrial*. Madrid: UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID.
- Sarmiento, P. (2007). *Energía solar en arquitectura y construcción*. Santiago de Chile: MASTERS RIL.
- SCI. (2 de Mayo de 2010). *Ventajas de un sensor de Temperatura*. Obtenido de Suministro y calibración industrial :  
<http://www.sciempresa.com/informaci%C3%B3n-t%C3%A9cnica/News/show/elegir-el-tipo-de-sensor-de-temperatura-y-su-instalacion-191>
- scribd. (15 de Marzo de 2012). *Pantalla LCD 16X2*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/44252680/LCD-16X2>
- Senamhi. (Junio de 2003). *Atlas de Energía Solar del Perú*. Obtenido de [http://www.senamhi.gob.pe/pdf/Atlas%20de\\_Radiacion\\_Solar.pdf](http://www.senamhi.gob.pe/pdf/Atlas%20de_Radiacion_Solar.pdf)
- SEOPAN. (s.f.). *NTP 271: Instalaciones eléctricas en obras de construcción*.
- shop, R. (diciembre de 2011). Obtenido de <http://www.robotshop.com/en/dfrobot-6v-180-rpm-micro-dc-geared-motor-with-back-shaft.html>
- Soja. (s.f.). *secado de arroz*. Obtenido de GSI:  
<http://br.viarural.com/agricultura/silos/gsi/secador-de-graos-arroz.htm>
- solar, C. (30 de octubre de 2009). *ujaen.es*. Obtenido de [http://www.ujaen.es/investigacion/solar/07cursosolar/home\\_main\\_frame/04\\_componen/01\\_generador/01\\_basico/images/elem\\_panel.gif](http://www.ujaen.es/investigacion/solar/07cursosolar/home_main_frame/04_componen/01_generador/01_basico/images/elem_panel.gif)

- Solarbotics. (5 de setiembre de 2013). Obtenido de [https://www.pololu.com/file/0J356/motor\\_data\\_summary-gm3.pdf](https://www.pololu.com/file/0J356/motor_data_summary-gm3.pdf)
- Solares, C. (15 de Febreo de 2007). *Universia España*. Recuperado el 23 de abril de 2015, de <http://noticias.universia.es/ciencia-ntt/noticia/2007/02/15/593607/universidad-instala-panel-solar-giratorio.html>
- solares, E. c. (15 de febrero de 2007). *Universia España*. Obtenido de <http://noticias.universia.es/ciencia-ntt/noticia/2007/02/15/593607/universidad-instala-panel-solar-giratorio.html>
- SULLIVAN, W. (2004). INGENIERÍA ECONÓMICA DE DEGARMO. Ed. Pearson Educación.
- Tacuri, L. (17 de noviembre de 2011). *Diseño Concurrente de una Secadora Vertical Intermitente para Arroz*. Obtenido de Escuela Superior Politecnica de Chimborazo: <http://dspace.esoch.edu.ec/handle/123456789/908>
- Técnica, T. (25 de Mayo de 2011). *sistemas de control*. Obtenido de Tecnología Técnica: <http://www.tecnologia-tecnica.com.ar/sistemadecontrol/index%20sistemasdecontrol.htm>
- Tejeda, J. L. (20 de Abril de 2012). *El software*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos15/el-software/el-software.shtml#LENGUAJ>
- Tipler, P. A. (2005). *Física para la ciencia y la tecnología, Volume 2*. Barcelona: Reverté S.A.
- tipo de raciones solares*. (s.f.). Obtenido de [http://www.aemet.es/documentos/es/eltiempo/observacion/radiacion/Radiacion\\_Solar.pdf](http://www.aemet.es/documentos/es/eltiempo/observacion/radiacion/Radiacion_Solar.pdf)
- Torres, F. (s.f.). <https://www.veoverde.com/2013/03/cuan-importante-es-la-energia-renovable-en-china/>.
- Torroja, G. y. (2010). *Taller de electronica para usos creativos*. open lab.
- UNLP. (19 de Junio de 2011). *Termocupas*. Obtenido de [ing.unlp.edu.ar: http://www.ing.unlp.edu.ar/cys/DI/termocuplas.pdf](http://www.ing.unlp.edu.ar/cys/DI/termocuplas.pdf)
- Uriarte, J. (11 de agosto de 2013). *Definiciones de Sistemas de Control Automatico*. Obtenido de itescam: <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r96285.PDF>
- Verde, J. (28 de Mayo de 2013). <http://blog.abengoa.es/page/4/>.

- Vignoni, J. (2 de Agosto de 2010). *Sensores*. Obtenido de [ing.unlp.edu.ar](http://www.ing.unlp.edu.ar):  
<http://www.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/procesos/transparencia/Sensores.pdf>
- Villarroel, R. C. (01 de Julio de 2013). *Diseño de una instalación fotovoltaica de venta a red con monitorización de energía*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Vitónica. (14 de mayo de 2009). *Características del arroz*. Obtenido de vitónica:  
<http://www.vitonica.com/alimentos/diferencias-entre-el-arroz-blanco-y-el-integral-tabla-comparativa>
- Voces. (28 de 12 de 2011). *Incrementan venta de arroz al 20% en los últimos dos años*. Obtenido de <http://diariovoces.com.pe/web/?p=56736>
- volcan. (agosto de 2015). *Lana de vidrio*. Obtenido de [http://www.volcan.cl/imagenes/productos/fichas/volcan\\_triptico\\_aislan\\_glass\\_10963.pdf](http://www.volcan.cl/imagenes/productos/fichas/volcan_triptico_aislan_glass_10963.pdf)
- websolar. (3 de junio de 2012). *Paneles Solares*. Obtenido de Paneles Solares:  
<http://websolar.com/store/es/panel-solar-12-24-volts/957-modulo-solar-policristalino-solarland-100-watt-12-volt.html>
- Wikipedia. (26 de Julio de 2016). *cable*. Obtenido de cable:  
<https://es.wikipedia.org/wiki/Cable>
- Williams, S. (13 de Diciembre de 2011). *Sherwin Williams*. Obtenido de <http://www.preguntaleasherwin.cl/2011/%C2%BFque-usar-para-pintar-metales/>
- Xataka. (15 de julio de 2013). *Ruta de arroz*. Obtenido de Arroz en cascara:  
[http://rutadearroz.com/noticias/val/1067/val\\_s/16/ahora-la-c%E1scara-se-convierten-en-bater%EDas-del-futuro-para-smartphones.html](http://rutadearroz.com/noticias/val/1067/val_s/16/ahora-la-c%E1scara-se-convierten-en-bater%EDas-del-futuro-para-smartphones.html)

# PLANOS

# **ANEXOS**

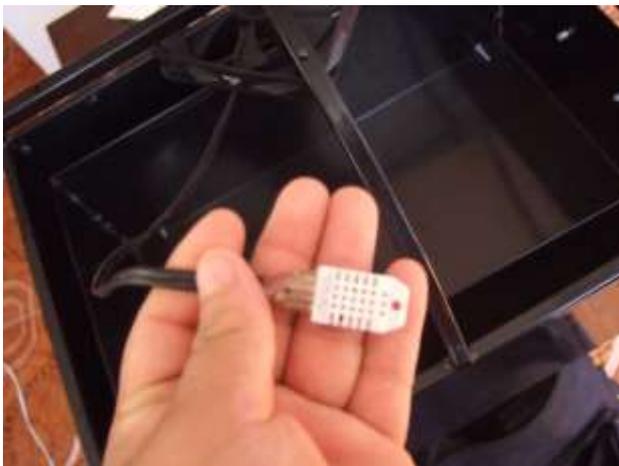
Anexo 01: Ilustraciones.



*Ilustrachi f'n 79: Προτοτιπο. Φυεντε: Προπια*



*Ilustrachi f'n 80: Βανδεφα. Φυεντε: Προπια*



*Ilustrachi f'n 82: Σενσορ ΔΗΤ22. Φυεντε: Προπια*



*Ilustrachi f'n 81: Πρυεβασ δελ πεντιλαδορ. Φυεντε: Προπια*



*Ιλυστραχι 83:* Πρωτοτυπο τερμιναδο. Φυεντε: Προπια



*Ιλυστραχι 84:* Αφυστανδο περνοσ. Φυεντε: Προπια

Anexo 02: Formato de registro de datos del proceso de secado del Molino "Chiclayo".

CONTROL OPERACIONAL DE SECADORA DE ARROZ - MOLINO CHICLAYO								
FECHA: <u>04/09/2014</u>		TURNO: <u>Día</u>		<b>PRE LIMPIEZA</b>				
CLIENTE <u>Balerio Robinson</u>		PESO: _____		SILO HUMEDO N° <u>3</u>				
SACOS <u>310</u>		%HUMD.: <u>26%</u>		H. INICIO _____				
VARIEDAD _____				H. TERMINO _____				
<b>SECADORA N° 02</b>								
H. INICIO LLENADO: <u>11:00 a.m.</u>		H. INICIO SECADO: <u>12:00 p.m.</u>		H. INICIO DESCARGA: <u>08:10 a.m.</u>				
H. FINAL LLENADO: <u>12:00 a.m.</u>		H. FINAL SECADO: <u>06:00 p.m.</u>		H. FINAL DESCARGA: <u>09:10 a.m.</u>				
OP. INICIO: <u>Elmer</u>				OP. FINAL: <u>Elmer</u>				
HORA	% HUMEDAD			T° ENT. AIRE	T° SAL. AIRE	T° GRANO	H.R	T° AMB.
<b>12:00 p.m.</b>	<b>26.34</b>	<b>26.5</b>	<b>26.3</b>	<b>35</b>	<b>22</b>			
<b>01:00 p.m.</b>	<b>24.4</b>	<b>24.5</b>	<b>24.3</b>	<b>40</b>	<b>24</b>			
<b>02:00 p.m.</b>	<b>22.4</b>	<b>22.5</b>	<b>22.3</b>	<b>44</b>	<b>26</b>			
<b>03:00 p.m.</b>	<b>20.4</b>	<b>20.5</b>	<b>20.3</b>	<b>46</b>	<b>28</b>			
<b>04:00 p.m.</b>	<b>18.4</b>	<b>18.5</b>	<b>18.3</b>	<b>47</b>	<b>29</b>			
<b>05:00 p.m.</b>	<b>16.4</b>	<b>16.5</b>	<b>16.3</b>	<b>48</b>	<b>30</b>			
<b>06:00 p.m.</b>	<b>14.4</b>	<b>14.5</b>	<b>14.3</b>	<b>47</b>	<b>32</b>			
OBSERVACION: <u>El 05/09 se descargo a las 8:10</u>								
<div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; width: fit-content; margin: 0 auto;">           FECHA: _____            CLIENTE: _____            SACOS: _____            H.F.: _____         </div>				<div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; width: fit-content; margin: 0 auto;">           FECHA: _____            CLIENTE: _____            SACOS: _____            H.F.: _____         </div>				
<div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; width: fit-content; margin: 0 auto;">           FECHA: _____            CLIENTE: _____            SACOS: _____            H.F.: _____         </div>				<div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; width: fit-content; margin: 0 auto;">           FECHA: _____            CLIENTE: _____            SACOS: _____            H.F.: _____         </div>				
<div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; width: fit-content; margin: 0 auto;">           FECHA: _____            CLIENTE: _____            SACOS: _____            H.F.: _____         </div>				<div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; width: fit-content; margin: 0 auto;">           FECHA: _____            CLIENTE: _____            SACOS: _____            H.F.: _____         </div>				

DISEÑO DE ENCUESTA



**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:**

**Implementación de un prototipo secador automatizado tipo invernadero con tiro forzado para el secado de arroz con una capacidad de 1 Kg.**

**DISEÑO DE ENCUESTA:**

**OBJETIVO:**

Levantamiento de información sobre el manejo, secado y comercialización de arroz.

1. Dirección del local comercial.....
2. ¿Cuánto tiempo tiene en esta actividad?
3. ¿Cómo determina la humedad del producto?
  - a. Mediante inspección visual ( )
  - b. Mediante algún instrumento de control de humedad ( )
4. ¿Cuánto arroz compra en promedio a la semana?
5. ¿Han determinado cuanto arroz secan en promedio a la semana?

SI ( )

NO ( )

Si su respuesta es SI cuanto es este promedio?

6. ¿Al vender el producto les exigen que el grano tenga algún porcentaje de humedad?

SI ( )

NO ( )

Si su respuesta es SI cuanto es este porcentaje?

---

7. ¿Cómo sus compradores determinan la humedad?

a. Inspección visual ( )

b. Instrumento de control de humedad ( )

8. ¿Cuál es el método que usted utiliza para secar el arroz?

a. Secado natural (secado al sol en tendales) ( )

b. Secado artificial (gas, carbón, diésel, etc. ( )

¿Por qué?

---

9. ¿Si el método que utiliza para secar es el natural indique las características que debe reunir el sitio para realizar dicha labor?

1 \_\_\_\_\_ 2 \_\_\_\_\_ 3 \_\_\_\_\_

10. ¿Cuánto tiempo tiene utilizando este método?

11. ¿Cuánto espacio utiliza para realizar el secado en los tendales o explanadas?

12. ¿Considera que este espacio es el adecuado para el desempeño de sus actividades?

SI ( )

NO ( )

¿Por qué? \_\_\_\_\_

11. ¿De qué material es construido su explanada de secado?

Hormigón ( ) Asfalto ( ) Tental de lona ( ) Tental de yute ( ) otro ( )

Indique el nombre \_\_\_\_\_

12. ¿Mediante este método cuantas personas son necesarias para realizar esta labor?

13. ¿Para secar el grano cuantos días son necesarios?

a. Si los días son soleados \_\_\_\_\_ días

b. Si los días son nublados \_\_\_\_\_ días

c. Si hay una combinación de ambas \_\_\_\_\_ días

13. ¿Ha determinado la reducción de humedad a la que llega después de considerar que ya está listo para venta?

SI ( ) NO ( ) si su respuesta SI indique con que instrumento

a. Con inspección visual ( )

b. Con ayuda de algún instrumento ( )

14. ¿A qué porcentaje llegó?

15. ¿Si el método que utiliza es artificial indique las características que debe reunir el sitio donde está instalada la máquina secadora para realizar esta labor?

1 \_\_\_\_\_ 2 \_\_\_\_\_ 3 \_\_\_\_\_

15. ¿Cuánto tiempo tiene utilizando este método?

16. ¿Cuántas personas son requeridas para realizar el secado en máquina secadora?

17. ¿Cuánto espacio necesita la máquina para realizar dicha labor?

18. ¿La máquina secadora fue construida por:

a. Ustedes ( )

b. Adquirieron construida ( )

19. ¿De qué material está construido la máquina secadora?

a. Hormigón ( )

b. Madera ( )

c. Hierro u otro metal ( )

d. Combinación de los materiales anteriores ( )

20. ¿Qué combustible utiliza la secadora?

a. Gas (GLP) ( )

b. Diésel ( )

c. Carbón ( )

d. Otro combustible (indique cual) ( )

21. ¿Además de combustible esta también requiere de electricidad para su operación?

SI ( ) NO ( )

22. ¿Qué capacidad de secado tiene la secadora por carga?

23. ¿Ha determinado la reducción de humedad a la que llega después de considerar ya listo para la venta?

SI ( ) NO ( )

¿Cómo lo determino?

a. Con la inspección visual ( )

b. Con la ayuda de algún instrumento ( )

Indique el nombre del instrumento?

¿A qué porcentaje llegó?

24. ¿Ha determinado cuanto le cuesta a ustedes secar el grano con este método?

SI ( ) NO ( )

¿Si su respuesta es SI podría especificar en cuanto lo cuantificó?



## **ENTREVISTA PARA EL ESPECIALISTA DEL PROCESO DE SECADO**

**Nombre del entrevistado: Luis Yovera Asenjo**

**Jefe del área de secado**

**Cuestionario:**

**1. ¿Cuál es el cargo que ocupa en la empresa molinera Cristo Morado?**

El especialista está encargado del área de producción de arroz, en este caso de todos los procesos, hasta la obtención del arroz apto para su venta.

**2. ¿Qué labores desempeña en dicho cargo?**

Verificar que las máquinas como los procesos cumplan de manera eficiente su función, en otras palabras inspeccionar y dar solución a los percances.

**3. ¿Con que áreas cuenta la empresa?**

La primera área está constituida por el proceso de limpieza, secado y almacenamiento.

La segunda área está formada por el proceso de pilado, pulido y posteriormente puesto en sacos para ser comercializado.

**4. ¿Cuántos procesos intervienen en la producción de arroz?**

Cuenta con 5 procesos, de los cuales uno es el proceso de secado.

**5. ¿Se realizan monitoreo dirigidos al proceso de producción?**

Si, la finalidad de monitorear los procesos es para verificar tiempos y fallas en el proceso, de esta manera podemos verificar la producción.

**6. ¿Cree conveniente realizar cambios en el proceso de secado de arroz?**

Si, para generar una mejora en los tiempos de secado de arroz y tener un control directo de dicho proceso.

**7. ¿Cree usted que sería conveniente invertir en el sistema automatizado del proceso de secado de arroz?**

Si, por que este tipo de sistemas ayudaría tener un mayor control y monitoreo del comportamiento de la materia prima.

**8. ¿Qué equipos intervienen en el proceso de secado de arroz?**

Los equipos que intervienen son: Cámara de secado, pistón de descarga, horno de generación de calor y fajas de descarga.

**9. ¿Cuáles son las temperaturas óptimas en el secado de arroz?**

Depende del porcentaje de humedad a la que ingresa el grano, por ejemplo a humedades mayores a 25% se le aplica a un rango de temperatura de 55°C a 60°C.

**10. ¿Cuánto es la cantidad de peso que se pierde en el proceso de secado?**

Teniendo en cuenta que por cada porcentaje de secado de humedad relativa se reduce 1 Kg de peso, cada saco de un promedio de 85 Kg se reduce 8 Kg de peso.