UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

(Creada por Ley N° 25265)

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA – SISTEMAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

INFORME FINAL DE TESIS DE INVESTIGACIÓN:

SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA Y DE HUMEDAD PARA EL SECADO DE CARNE EN LA CIUDAD DE HUANCAVELICA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Energías Limpias y control - automatización

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR:

* Bach. Almonacid Paytan, Evangelina
* Bach. Ramírez Rivera, Felicita Haydee

Huancavelica - Perú

2016

Dedicatoria

Dedicamos el presente trabajo principalmente a Dios, por habernos dado la vida y por protegernos de todo mal durante el desarrollo de nuestras vidas,

NOMBRE DE ASESOR:

ING. JAVIER HERRERA MORALES

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por protegernos en nuestro camino y darnos fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda nuestra vida.

A nuestros padres por apoyarnos en forma desinteresada en el desarrollo de nuestra formación profesional.

A nuestros hijos, por darnos alegría, felicidad, el apoyo necesario para lograr nuestras metas.

A nuestro asesor de este proyecto de investigación, por su valiosa guía y asesoramiento a la realización de la misma.

Gracias a todas las personas que ayudaron directa o indirectamente en la realización de este proyecto.

.

RESUMEN

La investigación titulada SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA Y DE HUMEDAD PARA EL SECADO DE CARNE EN LA CIUDAD DE HUANCAVELICA, siendo originado debido a que la población de Huancavelica tiene menor preferencia por el consumo de la carne de alpaca fresca, en comparación con la carne de pollo, de res y ovino, a pesar de su bajo costo; su presencia de consumo es en carne seca denominada charqui, para producirla se usa el proceso de secado tradicional.

Por lo cual con el objetivo de obtener la carne deshidratada de alpaca con las características similares o superiores al secado tradicional, se diseñó y construyó el sistema de control de temperatura y de humedad relativa electrónico, que es un secador de control electrónico, que aprovecha la energía del sol y el efecto invernadero en el interior del secador mediante el control de la temperatura y la humedad relativa haciendo uso de ventiladores. Previamente se experimentó con varios tamaños y números de ventiladores en la entrada y salida del sistema, hasta lograr el control adecuado de temperatura y humedad relativa en el interior del sistema, luego se experimentó con la masa de carne de alpaca en una cantidad de 5 kg, y regulando la temperatura a 41°C y la humedad relativa de 23.5%, se realizó ocho experiencias de secado en el sistema, desde las 10 am. hasta las 16 pm para la toma de datos, obteniéndose 20 datos de temperatura y de humedad relativa en cada experimento, obteniéndose 157 datos respectivamente en los 8 días y 27 datos para la masa seca de carne, escogiéndose aleatoriamente los datos para todas las variables; haciendo uso de los software EXCEL y SPSS, se obtuvo una temperatura promedio de control de 40.65°C, el promedio de la humedad relativa controlada de 23.544%, secado de carne de la masa de carne de alpaca de 72.44%, materia seca de la masa de carne de alpaca en 26.54 % de la masa inicial y un tiempo de secado de 6h.

Palabras Claves: Sistema de control electrónico; Temperatura; Humedad relativa; Materia seca de masa de carne (charqui).

ABSTRACT

The research entitled TEMPERATURE AND HUMIDITY CONTROL SYSTEM FOR MEAT DRYING IN THE CITY OF HUANCAVELICA, being originated because the population of Huancavelica has less preference for the consumption of fresh alpaca meat, compared to the meat of Chicken, beef and sheep, despite its low cost; Its presence of consumption is in dry meat denominated charqui, to produce it is used the traditional drying process.

Therefore, in order to obtain alpaca dehydrated meat with characteristics similar or superior to traditional drying, the electronic temperature and relative humidity control system was designed and built, which is an electronic control dryer, which takes advantage of the Energy from the sun and the greenhouse inside the dryer by controlling the temperature and relative humidity by making use of fans.

Previously it was experimented with several sizes and numbers of fans in the entrance and exit of the system, until obtaining the appropriate control of temperature and relative humidity inside the system, then it was experimented with the mass of alpaca meat in an amount of 5 kg, And regulating the temperature to 41 ° C and the relative humidity of 23.5%, was performed eight drying experiences in the system, from 10 am. Until 16 pm for data collection, obtaining 20 temperature and relative humidity data in each experiment, obtaining 157 data respectively in the 8 days and 27 data for the dry mass of meat, randomly choosing the data for all variables; Using the EXCEL and SPSS software, an average control temperature of 40.65 ° C, the average of the relative humidity of 23.544% was obtained, dehydration of the alpaca meat mass of 72.44%, dry matter of the mass of Alpaca meat in 26.54% of the initial mass and a drying time of 6h

The Researchers

INTRODUCCIÓN

El avance tecnológico en estos últimos tiempos es acelerado y se da especial importancia a la utilización de las tecnologías limpias , para el aprovechamiento de estas energías en especial del Sol, cuya utilización se está proliferando en todo el mundo porque se cuenta con una política de no contaminar el medio ambiente (Protocolo de Kioto sobre el cambio climático, 1997), en el Perú se están aprovechando la energía del sol, con la utilización de secadores solares en especial el de tipo plano, para secar plantas aromáticas en Huarochirí, para secar ají panca en toda la costa del norte del Perú, mango y otras frutas en la selva del Perú.

La utilización de sistemas de secado solar controlado electrónicamente las variables temperatura y humedad relativa del aire en su interior, permite el secado en menos tiempo que la tradicional y con el aprovechamiento de la energía del sol se reduce económicamente el proceso de secado de carne de todo tipo, a la utilización de otras energías convencionales.

La investigación que se desarrolló, nos permitió investigar los microcontroladores más avanzados y se escogió el Arduino, basado en el microcontrolador ATMEL en especial el Nanoarduino, del mismo modo nos permitió investigar sobre los sensores de temperatura y humedad relativa avanzados que trabajan directamente con los microcontroladores, y se escogió DHT_22 por su eficiencia y buena resolución.

Los puntos de control de temperatura fueron de 41.°C y para la humedad relativa de 23.5%, se realizó ocho experiencias de secado en el sistema, desde las 10 am. hasta las 16 pm para la toma de datos, obteniéndose 20 dados de temperatura y de humedad relativa por cada experiencia, de los cuales se obtuvo 157 datos y escogió 112 datos en forma aleatoria, así mismo se obtuvieron 27 datos para la masa seca de carne de alpaca y 27 datos para la secado de carne de la masa de carne de alpaca, escogiéndose para ambas variable aleatoriamente 25 datos; haciendo uso de los software EXCEL y SPSS, se obtuvo una temperatura promedio

de control de 40.65°C, el promedio de la humedad relativa controlada de 23.54 %, materia seca de la masa de carne de alpaca en 26% de la masa inicial y un tiempo de secado de 6h.

La prueba de hipótesis de las variables de temperatura y de humedad relativa, nos determinó que el sistema de control de temperatura y humedad relativa fue regulado correctamente para el control de las mismas.

Para la prueba de hipótesis de la variable materia seca de la masa de carne de alpaca, el sistema de control de temperatura y humedad relativa, mejora el secado de la carne de alpaca (28.65%) de la masa inicial, al secado de la carne de alpaca de forma tradicional (26.54 %) de la masa inicial; en cuanto al tiempo de secado de la masa de carne, el sistema de control de temperatura y humedad relativa lo realiza en 6h y el método tradicional en 24 horas.

Los Investigadores

Contenido

CAPÍTULO I **11**

PROBLEMA **11**

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 11

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA. 14

1.2.1 Problema general 14

1.2.2 Problemas específicos 14

1.3. OBJETIVO 14

1.3.1 Objetivo general 14

1.3.2 Objetivos específicos. 14

1.4. JUSTIFICACIÓN 15

1.4.1 Justificación teórica 15

1.4.2 Justificación social 15

1.4.3Justificación tecnológica 15

1.4.4 Justificación científica 16

1.4.5 Justificación económica 16

CAPÍTULO II **17**

MARCO TEÓRICO **17**

2.1 ANTECEDENTES 17

2.1.1 Tesis similares: 17

2.2 BASE TEÓRICA 20

2.2.1 Energía 20

2.2.1.1 Principio de la conservación de la energía 21

2.2.1.2 Energías renovables y no renovables 21

2.2.1.3 La energía solar y la radiación solar 22

2.2.1.4 Radiación solar 25

2.2.2 CHARQUI 30

2.2.3 Transferencia de calor 38

2.2.4 La innovación tecnológica: 40

2.2.5 Efecto Joule....46
2.2.6 Proceso de secado....47
2.2.7 Célula Fotovoltaica....50
2.2.8 Diseño del controlador PID....61
2.2.9 Sintonización de controlador mediante ZIEGLER-NICHOLS....62
2.2.10 Arduino....68
2.3 HIPÓTESIS....86
2.3.1 Hipótesis general....86
2.3.2 Hipótesis específicas....87
2.4 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS....87
2.4.1 Sistema de control:....87
2.4.2 Cuasi hermético....87
2.4.3 Charqui....88
2.4.4 Olor y sabor....88
2.4.5 Deshidratación....88
2.4.6 Materia seca....88
2.4.7 Temperatura....88
2.4.8 Humedad relativa....88
2.5 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES....89
2.5.1 Variable independiente:....89
2.5.2 Dependiente:....89
2.5.3 Definición operativa de variables e indicadores....89
2.6 DEFINICIÓN OPERATIVA DE VARIABLES E INDICADORES....91
CAPÍTULO III....92
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN....92
3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO....92
3.1.1 Geográficamente....92
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN....93
3.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN....93

3.4. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN 94
3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN 103
3.6. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO 105
3.7. PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS 108
3.8. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS 108
CAPITULO IV 109
RESULTADOS 109
4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS 109
4.1.1 Sistema de secado de carne de alpaca y toma de medidas 109
4.1.2 Análisis de las variables medidas 113
4.2 PROCESO DE PRUEBA DE HIPÓTESIS 122
4.2.1 Prueba de hipótesis de la temperatura 122
4.2.2 Prueba de hipótesis de la humedad relativa 124
4.2.3 Prueba de hipótesis de la materia seca de la masa de carne de alpaca 126
4.3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS 128
CONCLUSIONES 129
RECOMENDACIONES 130
BIBLIOGRAFÍA 132
Matriz de consistencia 135

CAPÍTULO I
PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La actividad pecuaria de la región de Huancavelica, está caracterizada por ser prácticamente de autoconsumo y está unida a la actividad agrícola, siendo las actividades que absorben cerca del 67% de la PEA regional. La actividad pecuaria es desarrollada en zonas de alta montaña, dentro de la cual destaca la producción de carnes de ganado vacuno que representa el 64.9% de la producción regional, siendo las provincias de Huaytará y Tayacaja las de mayor producción regional con un 48.8% de participación. Es importante mencionar que las provincias de Huancavelica y Castrovirreyna están aprovechando adecuadamente al ganado auquénido con el que cuentan, ya que ambas producen el 70.9% y 66.2% de fibras de alpaca y llama, respectivamente, Los productos pecuarios más importantes de la región son la carne y la leche. La producción de carne corresponde a la de vacuno, seguida la de ovino y en tercer lugar la de alpaca. La producción de leche se obtiene, tanto del ganado vacuno como del caprino. La mayor producción de carne y leche de vacunos se localiza en las provincias de Tayacaja y Huaytará; Huancavelica produce mayormente carne de alpaca y de ovino, fibra de alpaca y lana de ovino; Huaytará y Castrovirreyna son los mayores productores de leche vacuno y caprino (Sub gerencia Agraria , 2008).

Tabla 1.1 PRODUCCIÓN PECUARIA REGIÓN HUANCAVELICA AÑO: 2008

CRIANZA	SACA TOTAL	RENDIMIENTO KG/CABEZA	PRODUCCION (TM)
CARNES			
Vacuno	33,552	107.7	3,612.01
Porcino	48,193	29.4	1,414.68
Ovino	122,247	10	1,233.70
Ave	249,438	1.5	375.81
Cuy	1`607,670	0.338	544.13
Caprino	33,180	11.4	378.44
Alpaca	26,641	41.5	1,104.86
Llama	10,261	33.6	344.29
Equino	1,441	118	170.07
SUB PRODUCTOS			
Vacas Ordeñadas	13,471	1,187	16,000.00
Aves Postura	67,213	8.6	577.54
Ovinos Esquilados	221,565	1.76	390.37
Alpacas Esquilados	39,398	1.9	76.25
Cabras Ordeñadas	2,148	440	946.91
Llamas Esquiladas	2,620	1.8	4.66

POBLACIÓN DE GANADOS (N° DE CABEZAS)	
Aves	**417,746**
Vacuno	**195,539**
Ovino	**917,568**
Porcino	**108,787**
Caprino	**176,189**
Alpaca	**224,720**
Llama	**127,652**
Cuy	**1'157,724**
Equino	**64,920**
Vicuña	**13,812**
Guanacos	**135**

Fuente: Plan estratégico del sector agrario región Huancavelica 2009-2015

Ante la problemática que enfrentan los pobladores de las comunidades de Huancavelica, en donde hay épocas de producción excesiva de carne de alpaca, res o carnero, existe la posibilidad de conservar esta carne, por el método tradicional de secarlo exponiéndolo al sol y a la intemperie, antes de ponerlo a secar se le pone sal; este método es usado desde la época pre inca, incaica y en la actualidad; pero hay

inconvenientes tales como: al exponerlo a la intemperie está expuesto a que la carne se impregne de polvo, las moscas dejan sus huevos y la impregnación de bacterias del medio; al consumirlo se está expuesto a las enfermedades estomacales o contraer diversas enfermedades.

Por tales motivos, se realiza el proyecto de construir un sistema de control de temperatura y humedad relativa, además en el que se lograra secar la carne libre de impregnación del polvo, bacterias e insectos.

Los procesos de secado de la carne con propósitos de preservación iniciaron con las primeras civilizaciones. Las carnes eran despojadas del animal, luego se secaban con ayuda del sol, el viento o el fuego. Para los americanos nativos la carne seca de búfalo, alce y venado se constituyen en alimentos nutritivos y de fácil transporte. Los americanos colonos denotaron esta carne seca como "charqui" (Ortega Bonilla, 2012)

La expresión carne curada se usa para un amplio número de productos curados, aunque su significado puede variar de acuerdo a la clase de producto y país de origen.

Típicamente, el término curado generalmente se refiere al uso de la sal (cloruro de sodio y nitrato/nitrito) que genera o produce color y sabor característicos en el producto.

Las propiedades de los productos cárnicos curados en seco, tales como la textura y el sabor, se deben a fenómenos proteolíticos que ocurren durante el proceso de maduración, como consecuencia de la actividad de enzimas citosólicas, y también, de la acción microbiana que actúa en forma sinérgica en la fracción acuosa e insoluble del músculo (Ortega Bonilla, 2012).

El departamento de Agricultura de los Estados Unidos clasifica el charqui como un producto cárnico tratado térmicamente, estable bajo almacenamiento y listo para el consumo (Ortega Bonilla, 2012).

Actualmente mediante el charqui es la forma más conveniente para asegurar la preservación, olor y textura de las carnes, las cuales hacen parte de los atributos sensoriales más importantes de este tipo de alimentos.

El método de preparación más simple es cortar la carne en tiras y secarla. Típicamente, se utilizan especias y marinadas para dar sabor a la carne, los procesos de curado o

ahumado puede también ser usados en combinación en la elaboración de charqui. Habitualmente, 4 onzas de charqui resultan de procesar una libra de carne.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

1.2.1 Problema general

¿Cómo mejorar el sistema de control de temperatura y humedad relativa en el secado de carne de alpaca, aprovechando la energía solar?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿A cuántos grados centígrados se controla la temperatura en el sistema para el secado de la carne de alpaca?
- ¿A cuánta humedad relativa se controla la temperatura en el sistema para el secado de la carne de alpaca?
- ¿El sistema de control de temperatura y humedad relativa, deshidrata la carne de alpaca?
- ¿El sistema de control de temperatura y humedad relativa, proporciona la materia seca de la carne de alpaca?
- ¿El sistema de control de temperatura y humedad relativa, seca la carne de alpaca en menos horas que en el secado tradicional?

1.3. OBJETIVO

1.3.1 Objetivo general

Diseñar e implementar el sistema de control de temperatura y humedad para mejorar el secado de carne de alpaca en la ciudad de Huancavelica

1.3.2 Objetivos específicos.

- Determinar a cuántos grados centígrados la carne de alpaca se seca en el interior del sistema de control de temperatura y humedad relativa

- Determinar a cuanto % de la humedad relativa se seca la carne de alpaca en el interior del sistema de control de temperatura y humedad relativa
- Determinar el % de la materia seca de la carne de alpaca que se obtiene con el sistema de control de temperatura y humedad relativa
- Determinar el tiempo de secado en horas de la carne de alpaca en el interior del sistema de control de temperatura y humedad relativa

1.4. JUSTIFICACIÓN

1.4.1 Justificación teórica

La implementación del sistema electrónico cuasi hermético de control de temperatura y humedad en el secado de carne de alpaca mejorara la producción de charqui para consumo humano en forma sana y sanitaria; el sistema servirá como base para futuras investigaciones en la producción de mayor escala semi industrial e industrial.

1.4.2 Justificación social

La mejora de la producción del secado de carne de alpaca en mejores condiciones saludables, proporcionara el ingreso económico a los pobladores de la comunidad Huancavelicana que se dedican a esta actividad; así mismo disminuirá el riesgo de las enfermedades estomacales en su consumo.

1.4.3 Justificación tecnológica

Mediante la aplicación el sistema electrónico cuasi hermético de control de temperatura y humedad en el secado de carne de alpaca, permitirá que los futuros investigadores aprovechen la tecnología electrónica de punta para construir similares equipos en secado de tubérculos, frutas, cereales y otros.

1.4.4 Justificación científica

El estudio del sistema electrónico cuasi hermético de control de temperatura y humedad en el secado de carne de alpaca, permitirá investigar nuevas tecnologías e implementar nuevos circuitos electrónicos con tecnología de punta para lograr la construcción del sistema planteado.

1.4.5 Justificación económica

El estudio del sistema electrónico cuasi hermético de control de temperatura y humedad para el secado de carne de alpaca, permitirá mejorar la producción de charqui en mejores condiciones saludables, y siendo el charqui de consumo masivo en la localidad de Huancavelica por costumbre, permitirá la producción de carne seca de alpaca u otro tipo, aumentando el ingreso económico del poblador huancavelicano que se dedica a esta actividad.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 Tesis similares:

2.1.1.1 Tesis: Caracterización física de mantas elaboradas con carne de cabra serrana y oveja churra galega braganzana, presentado por m. Sc. Rubén Andrés Ortega Bonilla-Argentina _2006.

Se determinaron en carne fresca de caprinos y ovinos, respectivamente, los siguientes parámetros físicos: i) pH= 5,84 y 5,74, ii) actividad En este trabajo se evalúan los parámetros físicos de calidad de carne fresca y de mantas elaboradas a partir de carne caprina y ovina de especies de las razas: Serrana y Churra Galega Braganzana, que no cumplen con los requerimientos de edad y peso para ser incluidos dentro de los sistemas de Denominación de Origen Protegidas acuosa (aW)= 0,89 y 0,90, iii) capacidad de retención de agua (CRA)= 17,86 y 25,08, iv) textura= 7,89 y 5,85, y v) color. En esta tesis se dio importancia al color (dado que es el parámetro más influyente en la aceptabilidad del producto); su variabilidad fue seguida durante los procesos de salado y secado de las mantas. Estos procesos tuvieron un gran efecto sobre los parámetros del color generando una disminución de L*, a*, b* y C* y un incremento de H*. La elaboración de este producto transformado se sugiere como una

estrategia para incentivar el consumo y dar un valor agregado a los productos cárnicos de estas especies.

2.1.1.2 Tesis: Diseño y Construcción de un Secador Solar por Convección de Aire Caliente Automatizado de Pequeña Escala, para el Secado de café para la Universidad Nacional de Loja

Germán Leonardo Roa Marín. Diego Bladimir Ortega Torres.

En este trabajo los autores manifiestan, que el secado al aire libre es una práctica típica en el Ecuador, que se realiza exponiendo principalmente los productos directamente al sol colocándolos sobre el piso. Este proceso de secado produce perdidas y disminuye la calidad del producto seco. Frente a esta problemática, el Secador Solar por convección de aire caliente, es una eficiente solución a este problema que posibilita la conservación de las propiedades de los productos agrícolas, protección contra la contaminación ambiental y del ataque de insectos durante el proceso de secado. Este funcionamiento se basa en la utilización de un colector placa plana, el cual incrementa la temperatura del aire, para que se produzca la secado de carne del producto en la cámara de secado (Germán Leonardo Roa Marín, Diego Bladimir Ortega Torres., 2011).

2.1.1.3 Tesis: "CARACTERIZACIÓN DE LA CARNE Y CHARQUI DE ALPACA (Vicugna pacos)" Ing. Mg. Sc. BETTIT KARIM SALVÁ RUIZ-España_2009

Con respecto a la caracterización físico-química y microbiológica del charqui de alpaca procedente de los departamentos peruanos

de Puno y Cusco realizada en el presente estudio, podemos decir, en términos generales que el charqui de alpaca tiene una baja a_w que lo hace microbiológicamente estable. De otra parte, tiene un elevado nivel proteico y un bajo nivel de grasa.

En lo referente a las sustancias nitrogenadas no proteicas, el charqui de alpaca tiene un bajo nivel de nitrógeno no proteico que evidencian un escaso desarrollo proteolítico. Desde el punto de vista toxicológico podemos decir que el contenido de aminas biógenas en el charqui de alpaca estuvieron por debajo de los valores considerados como indicativos de actividad microbiana indeseable y perjudiciales para la salud. En cuanto al contenido de minerales podemos decir que el charqui de alpaca tiene niveles elevados de sodio y por ende de cloruro de sodio (debido a la sal añadida durante el proceso). Una parte importante del contenido mineral se pierde al momento de la rehidratación. El charqui de alpaca presenta un nivel importante de oxidación y actividad política lo que se evidencia en una elevada cantidad de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico y de ácidos grasos libres. En lo referente a las determinaciones colorimétricas el charqui de alpaca tiene un elevado valor de L* y b* debido a una considerable oxidación del hierro de la mioglobina.

Las propiedades el charqui se mantuvo muy estable a lo largo de un año de almacenamiento a temperatura ambiente con y sin vacío. No obstante, el tiempo de almacenamiento mostró un moderado efecto, a veces significativo, sobre algunos parámetros de interés tecnológico del charqui rehidratado de alpaca, tales como pH, capacidad de retención de agua, porcentaje de ganancia de agua y pérdida de sólidos del charqui en el agua de

rehidratación, color y sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico. En relación al tipo de envasado no se encontraron diferencias significativas, aunque los valores medios de los parámetros relacionados con la oxidación fueron ligeramente menores al usar envasado al vacío para la conservación del charqui (Salvá Ruiz, 2009).

2.2 BASE TEÓRICA

2.2.1 Energía

La energía de los cuerpos se puede definir como la capacidad del mismo para producir trabajo, la energía se puede manifestar en formas diferentes como por ejemplo: masa y energía definida por la ecuación de Einstein, $\mathbf{E = mC^2}$ donde ***E*** es la energía, ***m*** es la masa del cuerpo y **C** es la velocidad de la luz; del mismo modo la energía expresada por la ecuación de Planck en el que expresa la energía cuántica de la radiación dada por la ecuación $\mathrm{E = h\nu}$, donde ***h*** es la constante de Planck y **v** es la frecuencia de la radiación, la energía cinética está dada por $\mathbf{E = \frac{1}{2}mv^2}$, donde ***m*** es la masa del cuerpo y **v** la velocidad que tiene el cuerpo; la energía angular está dado por $\mathbf{E = \frac{1}{2}Iw^2}$, donde I es el momento de inercia del cuerpo alrededor de su eje y ***W*** es la velocidad angular; la energía potencial por unidad de volumen está dado por $\mathbf{E = \frac{\varepsilon^2}{8\Pi}}$, donde **ε** es el campo eléctrico; para el campo magnético la energía por unidad de volumen está dado por $\boldsymbol{E = \frac{H^2}{8\Pi}}$, donde ***H*** es la intensidad de campo magnético ; para el capacitor que almacena la energía está dado por $\mathbf{E = \frac{1}{2}CV^2}$, donde ***C*** es la capacidad y ***v*** es la tensión en las terminales del capacitor, la energía almacenada en un inductor está dado por $\mathbf{E = \frac{1}{2}LI^2}$, donde ***L*** es la inductancia e ***I*** es la corriente que circula por el inductor; del mismo modo entonces la energía se puede encontrar en el calor,

en la luz del sol, en el viento, en el agua de un rio, en la madera al arder, en los vegetales, en el carbón, en el gas, y otros cuerpos (Palacios & Valls, 1989; Roldan ,2008; Schallenberg et al,2008).

2.2.1.1 Principio de la conservación de la energía

Como se puede observar en el vivir diario la energía eléctrica se trasforma en energía mecánica, energía angular, en energía electromagnética, en calor o viceversa ejemplo el calor del vapor nueve turbinas para generar energía eléctrica, la luz que incide en una celda fotovoltaica trasforma la luz en energía eléctricas, la energía cinética del viento mueve las paletas de una turbina que genera la electricidad, la energía potencial del agua que cae desde un desnivel de altura mueve las turbinas de un generador eléctrico y así se puede mencionar muchas de ellas y se puede concluir que la energía se puede pueden convertir y transformar en otras formas de energía (Palacios & Valls, 1989; Roldan ,2008; Schallenberg et al,2008).

2.2.1.2 Energías renovables y no renovables

a. Renovables

Son las energías que se pueden renovar o son inagotables y son las que provienen de la energía que llega a nuestro planeta de forma continua, como consecuencia de la radiación solar o de la atracción gravitatoria de la Luna, entre ellas tenemos energía hidráulica, solar, eólica, biomasa, geotérmica y las marinas (Roldan,2008; Schallenberg et al,2008).

b. No renovables

Son las energías que se encuentran en nuestro planeta y son limitadas, las energías no renovables al transformarse en otra energía son consumidas o desaparecen, en la actualidad la demanda mundial de energía en la actualidad se satisface con este tipo de fuentes energía tales como el

carbón, el petróleo, el gas natural y el uranio (Roldan, 2008; Schallenberg et al, 2008).

2.2.1.3 La energía solar y la radiación solar

El Sol es una fuente de energía renovables para todos los seres vivos de muestro planeta Tierra, la energía que genera ésta estrella es de **$3{,}87x10^{26}$** Joule por cada segundo, la misma que es radiada a todo el espacio en forma de calor y campo electromagnético o flujo de fotones o luz, la misma que llega a la Tierra durante todo el año en **$4{,}03x10^{24}$** Joule, que equivale a **6 720** veces la necesidad energética del mundo, los fotones que parten del sol recorren unos **500** segundos una distancia de **150** millones de kilómetros y al llegar a la superficie de la atmosfera terrestre con una intensidad de **1360 wm^{-2}**, la radiación solar caracterizada por su frecuencia o longitud de onda, abarca el espectro continuo , mayormente en el rango de longitud de onda comprendidos entre **0,3** al **3,0 µm**, del cual aproximadamente la mitad corresponde al infrarrojo, el 40% corresponde a la luz visible (**0,4** al **0,7 µm**) y **10%** al ultravioleta (**<0.4 µm**), (Espinoza & Horn, 1992; Valera, 1993; Roldan, 2008).

La energía solar es el recurso energético con mayor disponibilidad en casi todo el territorio Peruano. En la gran mayoría de localidades del Perú, la disponibilidad de la energía solar es bastante grande y bastante uniforme durante todo el año, comparado con otros países, lo que hace atractivo su uso. En términos generales, se dispone, en promedio anual, de 4-5 kWh/m2/día en la costa y selva, sierra de 5-6 kWh/m^2/día, aumentando de norte a sur.

La sierra sur y parte de la sierra central dentro de ellas la provincia de Huancavelica, muestran altos valores de energía solar como se puede observar en la FIGURA 2.1, presentándose los máximos a fines de la primavera y durante el verano, lo cual se debe a que se encuentra menos influencia de los controladores climáticos que generan los sistemas nubosos como son la ZCIT y la Alta Bolivia. La ZCIT tiene mayor dominio e influencia sobre la sierra norte y central del territorio peruano, mientras que la Alta Bolivia, ejerce mayor influencia

sobre la sierra central y la sierra sur, originando y manteniendo la convección diurna y la humedad atmosférica en niveles medios en los flancos occidentales de los Andes.

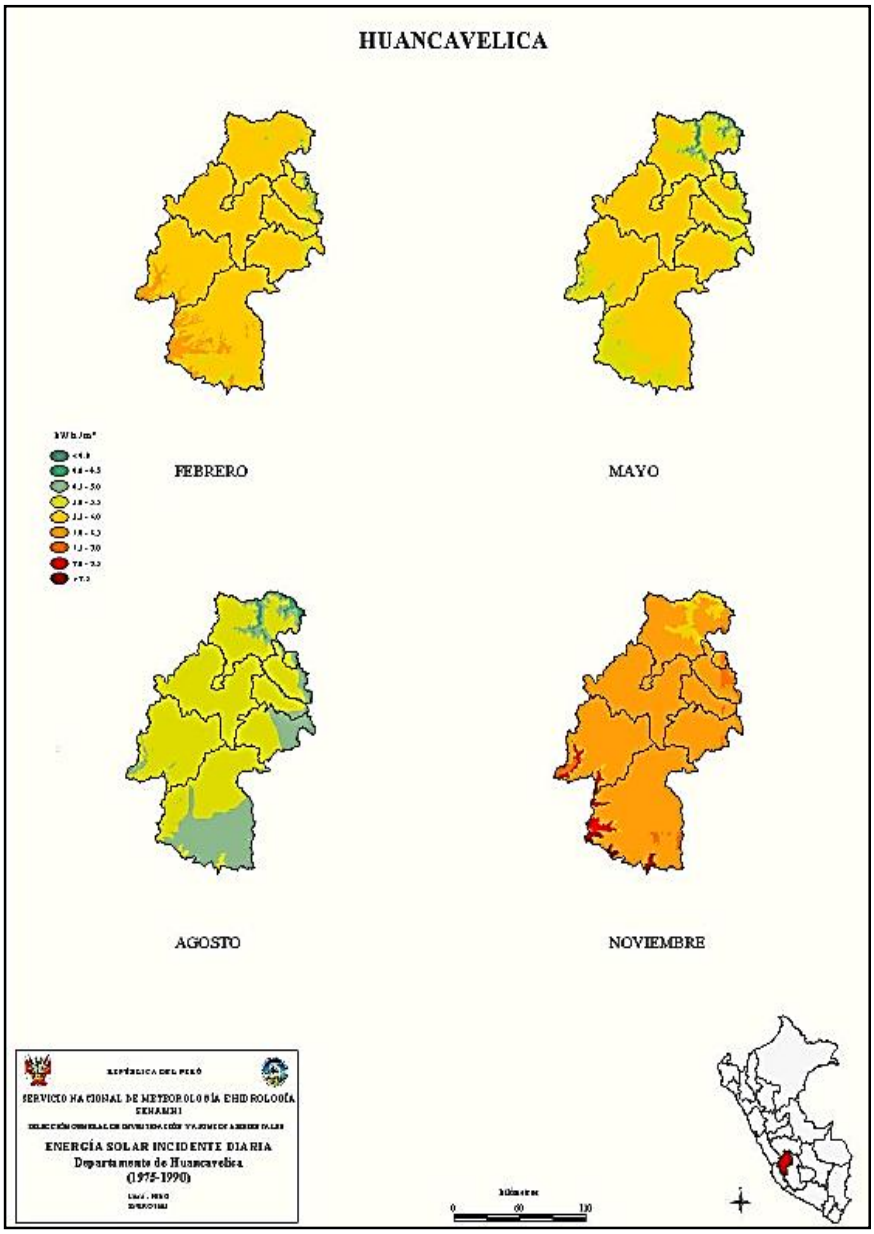


Figura 2.1 Energía solar incidente diaria región de Huancavelica. Fuente: Atlas de Energía Solar del Perú.

Tabla 2.1 Estimación de la media mensual de la radiación solar diaria en el Perú.

DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	LAT GRA.	ALT. m.	IRRADIACIÓN DIARIA MEDIA MENSUAL EN KWh/m²												MEDIA ANUAL Kwh/m²
					ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
Tumbes	Tumbes	Corales	3.6	85	4.6	4.9	5.1	4.9	4.5	4.1	3	3.9	4.2	4.2	4.6	4.9	4.5
Junín	Chamchamayo	Humaya	1.1		5.1	5.3	5.3	4.7	4.6	3.5	3.6	4.3	4.2	5	4.9	5.3	4.7
Junín	Huanuco	Huachac	12	1150	5	4.9	4.7	4.7	4.6	4.4	4.5	4.8	4.9	5.3	5.4	5.2	4.9
Huancavelica	Castrovirreyna	Castrovirreyna	13.1	4520	4.9	3.7	4.1	4.3	4.2	4.6	4.3	4.6	4.9	4.9	5.2	4.9	4.8
Ayacucho	Huamanga	Ayacucho	13.2	2760	5.1	5.1	4.7	4.7	4.5	4.2	4.2	4.7	5	5.4	5.7	5.3	4.9
Apurimac	Abancay	Abancay	13.6	2368	4.8	4.7	4.7	4.6	4.4	4.2	4.2	4.7	5	5.5	5.4	5	4.7
Cuzco	La Convención	Santa Ana	12.9	920	4	4	4	3.8	3.9	3.8	3.9	4	4.1	4.3	4.3	4.9	4

Fuente: Es una adaptación de la fuente original, Vásquez, J.W. & Lloyd P. Estimación de la energía solar en el Perú en revista energética. OLADE, AÑO 11 Nº 1, ABRIL DE 1987.

Estos datos son calculados en base a mediciones de horas sol, horas por día, usando la fórmula de Armstrong.

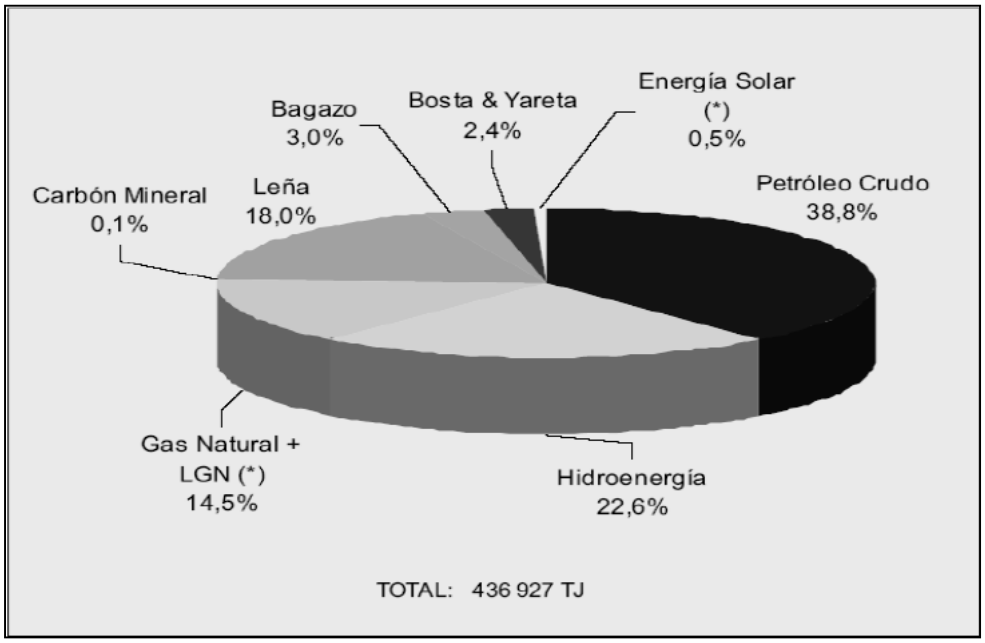


Figura 2.2 Estructura de la producción de energía primaria en el Perú. Fuente: Balance nacional de energía 2004-MEM.

2.2.1.4 Radiación solar

La radiación solar es la energía emitida por el Sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. La energía radiada por el Sol se deriva de reacción de fusión nuclear, en donde cada segundo cerca de $6x10^{11}$kg de Hidrogeno se convierte en Helio, en ésta transformación se produce una pérdida neta de masa del orden de $4x10^{9}$kg, el mismo que según la ecuación de Einstein (E= mc2) se convierte en energía radiante de $4x10^{26}$ J. Esa energía es el motor que determina la dinámica de los procesos atmosféricos y el clima.

El Sol emite energía en forma de radiación de onda corta, después de pasar por la atmósfera, donde sufre un proceso de debilitamiento por la difusión, reflexión en las nubes y de absorción por las moléculas de gases (como el ozono y el vapor de agua) y por partículas en suspensión, la radiación solar alcanza la superficie terrestre oceánica y continental que la refleja o la absorbe; la cantidad de radiación absorbida por la superficie es devuelta en dirección al espacio exterior en forma de radiación de onda larga, con lo cual se transmite calor a la atmósfera.

El sol es una fuente de energía renovables para todos los seres vivos de muestro planeta tierra, la energía que genera ésta estrella es de $3,87x10^{26}$ Joule por cada segundo, la misma que es radiada a todo el espacio en forma de calor y campo electromagnético o flujo de fotones o luz, la misma que llega a la tierra durante todo el año en $4,03x10^{24}$ Joule, que equivale a 6 720 veces la necesidad energética del mundo, los fotones que parten del sol recorren unos 500 segundos una distancia de 150 millones de kilómetros y al llegar a la superficie de la atmosfera terrestre con una intensidad de 1 360 wm-2, la radiación solar caracterizada por su frecuencia o longitud de onda, abarca el espectro continuo , mayormente en el rango de longitud de onda comprendidos entre 0,3 al 3,0 μm, del cual aproximadamente la mitad corresponde al infrarrojo, el 40% corresponde a la luz visible (0,4 al 0,7 μm) y 10% al ultravioleta (<0.4 μm).

La radiación es emitida sobre un espectro de longitud de ondas, con una cantidad específica de energía para cada longitud de onda, la cual puede ser calculada usando Ley de Planck:

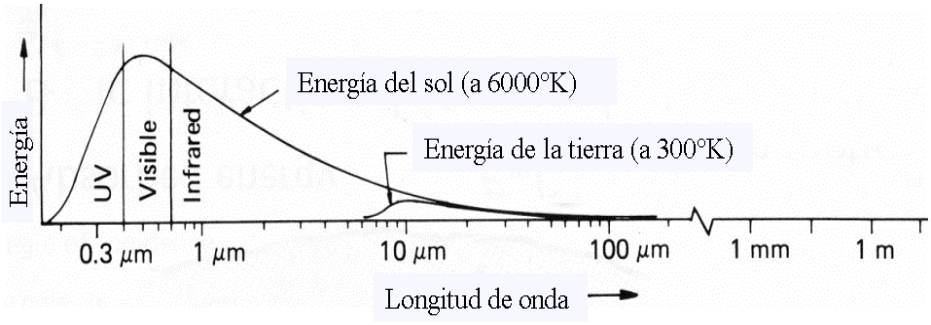
$$E_{\lambda,T} = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{1}{e^{(\frac{hc}{\lambda kT})} - 1} \qquad 2.1$$

Donde, El,T es la cantidad de energía (J/m3-m) emitida a una longitud de onda l (mm) por un cuerpo con una temperatura T (en grados Kelvin), con la constante de Planck h=6,626x10-34 J.s, y la constante de Boltzmann k=1,38054x10-16 erg k-1. Asumiendo que el Sol es un cuerpo negro, la longitud de onda para la cual es máxima emisión del cuerpo negro es inversamente proporcional a su temperatura absoluta y está dado por la siguiente ecuación:

l = 2897um°K / T 2.2

Esta ecuación es conocida como la Ley de Wien. Para una temperatura de 5 800°K (temperatura de la superficie solar) la longitud máxima de energía es aproximadamente 0,5 µm (micrómetro, equivalente a 1x10-6m) (ver figura 2.3). Esta longitud de onda corresponde a radiación en la parte del espectro visible.

Figura.2.3: **Energía radiada por el sol y la tierra. Fuente: Aníbal Valera.**



La ley de Stefan-Boltzmann, proporciona una relación de la energía radiada en función de la temperatura absoluta que posee, y por medio de la cual, se puede determinar el total de energía emitida por el sol:

$$E_T = \sigma T^4 \qquad 2.3$$

Donde s es la constante de Stefan-Boltzmann dentro de la radiación como mecanismo básico de la transmisión de calor su valor es: 5,6697x10-8 (W/m2°K4). Resolviendo la ecuación tres para una temperatura solar de 5 800 K, la energía total de salida es de aproximadamente 64 millones W/m2, de la cual, la Tierra solo intercepta 1 358 W/m2 “constante solar”

En la figura 2.4, la curva 1 representa la solución ideal de la Ley de Planck de la radiación solar que llega al tope de la atmósfera, donde el punto más alto de la curva representa la longitud de onda con la mayor energía espectral (0,5μm), de acuerdo con la Ley de Wien y la curva 2 constituye el espectro de la radiación solar después de la absorción atmosférica debida a diferentes gases.

El estudio del espectro de la radiación solar que llega a la superficie del suelo permite establecer que la radiación de longitud de onda menor que 0,2 μm debe ser absorbida totalmente por la atmósfera. Esta energía es absorbida principalmente en la atmósfera por el oxígeno molecular (O2), ozono (O3), y el vapor de agua (H2O).

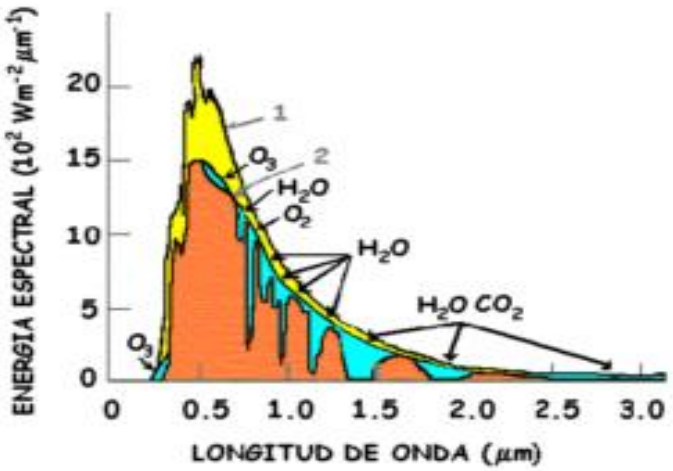


Figura. 2.4: Espectro de radiación solar fuera de la atmósfera de la Tierra (curva 1) y a nivel del mar para condiciones de cielo despejado (curva 2). Fuente: Aníbal Valera.

La Intensidad E que incidiría sobre la superficie terrestre en el caso que el Sol radiara como un cuerpo negro a temperatura de T=5 800 ºK, es la que se muestra en la figura 2.4 (2) coincide notablemente en forma general con el espectro solar extraterrestre (AM1: 1kW/m2).

La radiación solar que incide perpendicularmente y oblicua a nivel del mar con masa atmosférica nublosa AM1.5, es de 844 W/m2..

a. Distribución espectral de la radiación solar

La energía solar llega en forma de radiación electromagnética o luz, la radiación electromagnética, son ondas producidas por la oscilación o la aceleración de una carga eléctrica. Las ondas electromagnéticas no necesitan un medio material para propagarse, por lo que estas ondas pueden atravesar el espacio interplanetario e interestelar y llegar a la tierra desde el sol y las estrellas. La longitud de onda (λ) y la frecuencia (v) de las ondas electromagnéticas, relacionadas mediante la expresión $\lambda v = C$ (donde C es la velocidad de la luz), son importantes para determinar su energía, su visibilidad, su poder de penetración y otras características. Independientemente de su frecuencia y longitud de onda, todas las ondas electromagnéticas se desplazan en el vacío a una velocidad de C = 299 792 km/s.

b. Leyes de radiación

Para entender mejor cómo la energía radiante del Sol interactúa con la atmósfera de la tierra y su superficie, se deben conocer las leyes básicas de radiación, que son las siguientes:

Todos los objetos con temperatura mayor a 0°K emiten energía radiante, por ejemplo: el Sol, la Tierra, la atmósfera, las personas, etc.

Los objetos con mayor temperatura radian más energía total por unidad de área que los objetos más fríos (ver figura 2.5). Por ejemplo, el Sol con una temperatura media de 5 800°K en su superficie emite aproximadamente 64 millones W/m2, 165 000 veces más energía que la Tierra (la cual emite cerca de

390 W/m2) con una temperatura media en superficie de 288°K (15ºC), cifra obtenida al utilizar la ley de Stefan-Boltzmann relacionando estas temperaturas (5 800/288) elevadas a la cuarta potencia..

Los cuerpos con mayor temperatura emiten un máximo de radiación en longitudes de ondas, más cortas. Por ejemplo, el máximo de energía radiante del Sol se produce en λ~0,5 µm, mientras que para la Tierra en λ~10 µm.

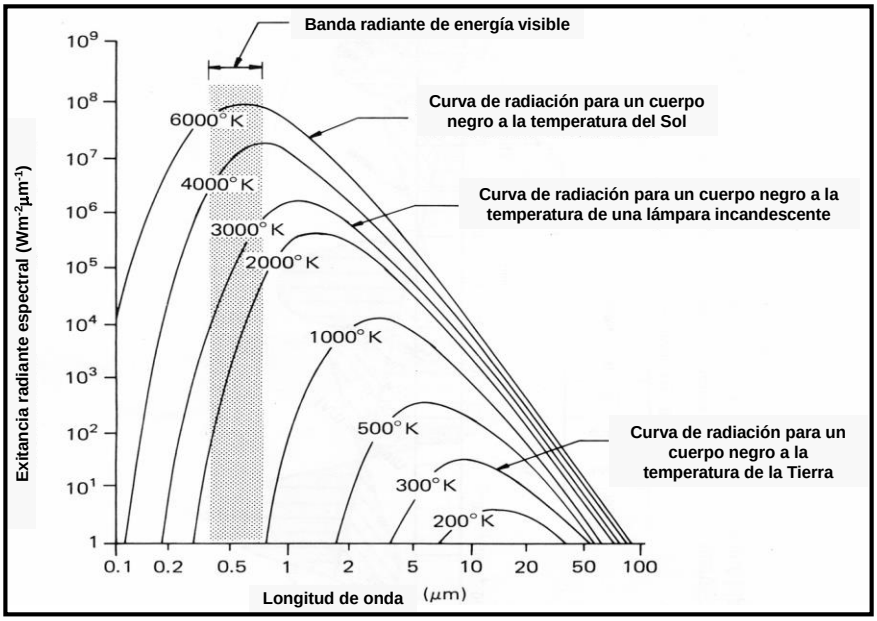


Figura. 2.5: Distribución Espectral de la energía radiada a partir de cuerpos negros a diferentes temperaturas; Fuente: García Barreto

Un absolvedor perfecto se llama “cuerpo negro”, que se define como un objeto ideal que absorbe toda la radiación que llega a su superficie. No se conoce ningún objeto así, aunque una superficie de negro de carbono puede llegar a absorber aproximadamente un 97% de la radiación incidente. El Sol, la Tierra, la nieve, etc. bajo ciertas condiciones se comportan como un cuerpo negro. En teoría, un cuerpo negro sería también un emisor perfecto de radiación, y emitiría a cualquier temperatura la máxima cantidad de energía disponible.

2.2.2 CHARQUI

Desde los tiempos de los Incas las familias secaban la carne de alpaca y otros animales en el sol a fin de prolongar su conservación o tener una forma diferente y agradable de consumirla, la carne lo chalonaban (fileteaban) lo más delgado posible y le echaban sal para evitar que en el momento del secado las moscas y otros insectos se peguen para depositar sus huevos; en la actualidad se sigue produciendo carne seca de alpaca en forma tradicional en la región centro sur de la sierra central del Perú, en Huancavelica en periodos donde hay más producción de carne de alpaca en donde el precio de la misma disminuye , la gente hace charqui para su consumo posterior.

La palabra "charqui" viene del quechua y significa seco. A este tenor un producto parecido, conocido como carne "cecina" nombre que aparenta venir del latín "siccus" o seco; pero también puede venir del céltico "ciercina" que hace referencia al "cierzo" o viento. Sin embargo, el término carne cecina se refiere a carne salada y secada al aire, con frecuencia ahumada pero en la que típicamente se procesan piezas completas en vez de carne en tiras o lonjas, principalmente de carne de res, pero con frecuencia se utiliza caballo, cabro y conejo. El procedimiento aquí delineado es para elaborar charqui o jerky y cubre el uso de carne de res cortada en tiras y marinada en líquido salino con condimentos y especias que a su vez imparte sabor, determinado por los ingredientes incorporados y su proporción. También se incluye receta para preparar jerky utilizando carne molida de res que también se sazona. Los elementos de preservación son principalmente atribuidos al deshidratado mediante el uso de aire cálido en movimiento y a la sal.

Fig. 2.7: carne deshidratada por el sol (fuente: Daniel G. Pesante)

2.2.2.1 Composición química y valor nutritivo de la carne de alpaca

El conocimiento de la composición química de la carne de alpaca es importante para el entendimiento de su valor nutritivo, así como también para interpretar su calidad sensorial y aptitud para el tratamiento industrial.

En los estudios se manifiesta que la carne de alpaca es baja en grasa y presenta un contenido de proteínas elevado con respecto a carne de rumiantes más convencionales y de cerdo Tabla 2.2. Además estos autores han observado una composición similar entre carne de alpaca y llama, a excepción de las cenizas que son mayores para el caso de la alpaca. Adicionalmente, en la Tabla 2.3, se puede observar la composición química de la carne proveniente de la pierna (sin considerar la grasa subcutánea) de alpaca, cerdo y cordero, donde resalta el bajo contenido graso de la carne de alpaca y mayor contenido de proteínas, con respecto a la carne de las otras especies (Bettit Karin Salvá Ruiz).

Tabla 2.2 Composición química del músculo Longissimus thoracis y lumborum de alpacas y llamas.

	Alpaca (n=40) Promedio ± SD	Llama (n=20) Promedio ± SD
Humedad (%)	73,64 ± 1,66 [a]	73,94 ± 1,87 [a]
Grasa (%)	0,49 ± 0,01 [a]	0,51 ± 0,01 [a]
Proteína (%)	23,33 ± 0,69 [a]	23,12 ± 0,88 [a]
Cenizas (%)	2,54 ± 0,20 [a]	2,43 ± 0,25 [b]

[a,b] Letras diferentes indican diferencias significativas ($P > 0,05$).

Fuente: Bettit Karin Salvá Ruiz).

Tabla 2.3 Composición química de la pierna de alpaca, cerdo y cordero.

	Alpaca*	Cerdo*	Cordero*
Humedad	73,1	71,7	75,2
Proteína	24	19,4	20,3
Grasa	1,8	7,4	3,1
Ceniza	1	1,1	1
Carbohidratos**	0,1	0,3	0,4

*Las medidas se realizaron eliminando la grasa subcutánea, **Determinados por diferencia.

Fuente: Bettit Karin Salvá Ruiz).

2.2.2.2 Variantes del proceso tecnológico de producción de charqui

En base al grado de tecnificación, actualmente se pueden identificar hasta tres tipos de procesos de producción de charqui: tecnología alta, media y baja; la diferencia entre ellos se justifica no solo por la inversión en instalaciones y costo de producción, sino también por la localización geográfica y tipo de mercado al que va destinado.

La tecnología alta se caracteriza por la utilización de energía solar en el secado de la carne fileteada, previamente salada en seco o en húmedo en pozas de cemento o mayólica u otros depósitos. Esta tecnología logra reducir considerablemente el tiempo del secado de la carne, de aproximadamente dos semanas a una, con

lo que permite una mayor producción en un mismo período de tiempo. Además, el uso del secador solar parece tener un efecto positivo sobre la percepción de los consumidores acerca de la percepción de la calidad higiénico-sanitaria del charqui por el consumidor.

Por su parte, en la tecnología media la carne, previamente fileteada y sin grasa visible, se somete a la salazón en pozas de cemento o mayólica u otros depósitos, en seco o en húmedo, durante una semana aproximadamente.

Después se procede a mantener la carne apilada, con presión en la parte superior durante un periodo de hasta por dos semanas. Posteriormente, las carnes son expuestas (los filetes son extendidos sobre superficies) a la acción del frío de las noches y al fuerte sol del día. Existen variantes de este proceso, por ejemplo, en algunos casos se prefiere el secado a la sombra. Con esta tecnología se obtiene una carne salada y deshidratada de color blanquecino, de olor y sabor singular, cuya producción se destina a las urbes.

Finalmente, la tecnología baja o tradicional agrupa a aquellos productores que realizan el salado de piezas enteras de carne, a las que se aplican cortes (incisiones) para facilitar el salado, que es llevado a cabo mediante fuertes frotaciones con sal. Después, la carne se apila y después de un tiempo se seca a la intemperie. De esta forma, se obtiene un charqui de color más oscuro que los anteriores, con hueso y en algunos casos con presencia de grasa subcutánea e intermuscular de las piezas. Generalmente su producción se destina a la población rural de los valles (zonas de menor altitud que la de las zonas productoras) por su menor costo de producción y precio del producto. Debido a que Lima y Arequipa

son mercados que exigen mayor calidad principalmente se comercializa el charqui procesado con tecnología media, mientras que a Cusco llega el procesado con tecnología baja (BETTIT KARIM SALVÁ RUIZ, 2009).

Proceso de secado de charqui de alpaca en la zona centro del Perú

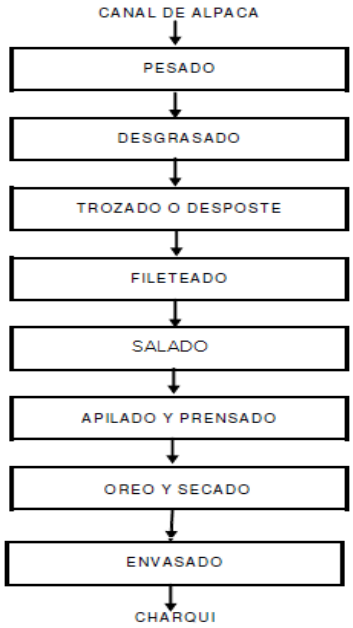


Fig. 2.8. Diagrama de flujo de operaciones para la elaboración de charqui de alpaca mediante salazón en seco. Fuente:(BETTIT KARIM SALVÁ RUIZ, 2009).

2.2.2.3 Temperatura y hora de tratamiento:

Lo más acertado es utilizar un deshidratador que acomode la carne en bandejas cubiertas con mallas de plástico reticulado y que el aparato mecánicamente genere aire caliente en movimiento continuo y que la temperatura se pueda controlar mediante termostato. Colocando las tiras de carne sobre la malla de plástico reticulado teniendo la precaución que las tiras no toquen entre sí, a fin de que haya buena ventilación. Las temperaturas recomendadas son; luego de poner la carne y prender el aparato, que la carne llegue a 71°C y mantener ésta por 30 minutos, para

luego bajar y mantener a unos 60°C, hasta el final del proceso de deshidratado. Alcanzar los 71°C luego de inicialmente colocar la carne en el deshidratador toma más de dos horas, como resultado de la gran cantidad de agua que está siendo removida durante la primera parte del proceso de secado. Llegar a una temperatura de 71°C y mantenerla por 30 minutos es importante para matar bacterias y otros microorganismos potencialmente patógenos. Bajar inmediatamente a 60°C también es importante para que el secado sea uniforme y efectivo. Si se mantiene la temperatura muy alta, se forma una capa seca en la superficie de la carne que evita la humedad interior salga. Si muy baja se tardará mucho en secar y pueden crecer organismos patogénicos que dañarán la carne y pueden amenazar la salud de aquel que la consuma. Si tiene un horno de convección puede utilizarlo, pero tiene que tener la precaución de entre abrir la portezuela para que escape el aire húmedo, cosa que el deshidratador realiza mediante diseño estructural. Para su seguridad y tranquilidad es conveniente utilizar un buen termómetro para asegurarse de que el aire que circula la carne llegue a las temperaturas recomendadas por el tiempo necesario (Daniel G. Pesante).

a. Temperatura

Para efectos del deshidratador se debe tener en cuenta que mientras mayor sea el diferencial de temperatura entre el medio calórico y el producto, mayor será la transferencia del calor al producto, permitiendo mayor extracción de humedad desde el interior. Cuando el medio calórico es el aire, la temperatura juega un rol secundario importante, ver tabla 2.4. El agua se extrae de la fruta como vapor y este debe de ser transportado fuera del deshidratador, de lo contrario, la humedad relativa aumentará retardando la extracción del agua del producto. Mientras más caliente sea el aire, mayor será la humedad que podrá contener antes de saturarse, de esta forma el aire caliente puede extraer una mayor cantidad de humedad del producto que el aire frio. El factor de arrastre

es la capacidad del aire para retirar humedad y fluctúa entre un 30% y 50% de la cantidad teórica. También un mayor volumen de aire será capaz de extraer mayor vapor que uno menor.

Tabla 2.4 Relación de temperatura y humedad relativa.

T. °C	Humedad Relativa	g Agua/ kg Aire Seco
29	90	0,6
30	50	7
40	28	14,5
50	15	24

Fuente, Erika Johanna Giraldo Sepulvera, 2014

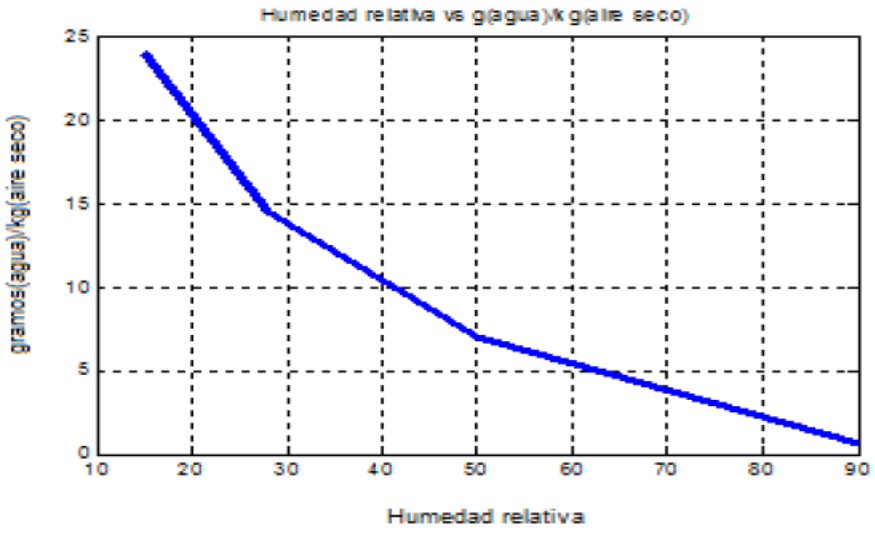


Figura. 2.9. Humedad relativa vs agua (g)x aire seco(g), Erika Johanna Giraldo Sepulvera, 2014

b. Humedad Relativa

Cantidad de vapor de agua que hay en la atmósfera. Se expresa comúnmente en tanto por ciento:

$$H_R = \frac{Cantidad\ de\ vapor\ de\ agua\ x100}{Cantidad\ de\ vapor\ de\ agua\ \ en\ saturación} \qquad 2.4$$

La humedad relativa es 100% si el vapor está saturado, y 0% si no hay en absoluto vapor de agua.

Entre menor humedad relativa tenga el aire este tendrá mayor capacidad para absorber y retener la humedad. También la humedad en el aire determinará el nivel de humedad del producto a deshidratar.

El aire es capaz de transportar agua. La forma que adopta el agua en el aire es como vapor. Mientras mayor sea la temperatura en el aire, tanto mayor será su capacidad de transporte, pues su humedad específica será menor y podrá contener mayor vapor antes de alcanzar el punto de saturación (Erika Johanna Giraldo Sepulvera, 2014).

c. Relación entre tiempo y temperatura

Puesto que todos los métodos más importantes para deshidratar alimento se basan en el calor y que los constituyentes del alimento son sensibles al calor, se debe llegar a un compromiso entre la intensidad máxima de secado de carne y el mantenimiento de la calidad del alimento. El proceso de secado de carne puede emplear relativamente altas temperaturas por poco tiempo para que el daño al alimento sea menor que menores temperaturas por tiempos más prolongados (Erika Johanna Giraldo Sepulvera, 2014).

2.2.2.4 Métodos de secado tradicionales

a. Secado al aire libre

Tradicionalmente se secan algunos alimentos, tales como: carne, granos de maíz, maní y poroto, almidón de mandioca, plantas medicinales, etc., sin ningún equipamiento especial; se colocan sobre una manta, lona o tablas de madera o se cuelgan por un hilo al aire libre, en el sol o en la sombra (según el producto) aprovechando el calor ambiental.

Este método natural tiene los siguientes inconvenientes:

- El proceso es lento debido a la elevada humedad en el ambiente.
- Muchas veces, los alimentos se secan mal, sobre todo los que contienen un alto porcentaje de agua, y se pudren o se enmohecen.
- Los productos están expuestos al polvo, a insectos y otros animales que pueden deteriorar los alimentos y causar enfermedades al consumirlos.
- En el caso del secado al Sol, se necesita una atención particular para proteger los alimentos de la intemperie (aguaceros, roció).
- La exposición directa de los alimentos a los rayos solares puede ser perjudicial en cuanto a su calidad (perdida del color natural, destrucción de vitaminas y valor nutritivo), debido a la acción de los rayos ultravioletas.

2.2.3 Transferencia de calor

La Transferencia de calor es la energía en tránsito debido a una diferencia de temperaturas en un cuerpo o entre cuerpos diferentes. Siempre que exista una diferencia de temperatura, la energía se transfiere de la región de mayor temperatura a la de menor temperatura. De acuerdo con los conceptos de la Termodinámica, la energía que se transfiere como resultado de una diferencia de temperatura es el calor (José E Acuña Sequera, 2006).

Las leyes de la termodinámica tratan de la transferencia de energía, pero sólo se aplican a sistemas que están en equilibrio (pueden utilizarse para predecir la cantidad de energía requerida para modificar un sistema de un estado de equilibrio a otro), pero no sirven para predecir la rapidez (tiempo) con que pueden producirse estos cambios. La transferencia de calor, complementa los principios termodinámicos, proporcionando métodos de análisis que permitan predecir esta velocidad de transferencia térmica (José E Acuña Sequera, 2006).

Para proceder a realizar un análisis completo de la transferencia del calor es necesario considerar tres mecanismos diferentes: conducción, convección y radiación.

El diseño y proyecto de los sistemas de un intercambio de calor y conversión energética requieren de cierta familiaridad con cada uno de estos mecanismos, así como de sus interacciones (José E Acuña Sequera, 2006).

2.2.3.1. Transmisión de calor por radiación

Mientras que la conducción y la convección térmica tienen lugar sólo a través de un medio natural, la Radiación térmica puede transportar el calor a través de un fluido o del vacío, en forma de ondas electromagnéticas o fotones como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas, estos se propagan a la velocidad de la luz.

La cantidad de energía que abandona una superficie en forma de calor radiante depende de la temperatura absoluta a la que se encuentra y también la naturaleza de la superficie (J.P. Holman).

2.2.3.2. Temperatura

La temperatura es la propiedad que poseen los cuerpos, tal que su valor para ellos es el mismo siempre que esté en equilibrio térmico. Principio cero de la termodinámica: si dos cuerpos están en equilibrio térmico con un tercero, también

lo estarán entre sí cuando se pongan en contacto térmico. Definimos la temperatura a partir del número de estados como (J.P. Holman):

$$\frac{1}{kT} = \frac{1}{\Omega}\frac{d\Omega}{dU} \qquad 2.5$$

Donde k es la constante de Boltzmann k=1.380658×10-23J/K, T es la temperatura absoluta, se mide en Kelvins, y está relacionada con la centígrada TC a través de T=TC−273.15, kT es igual a 3/2 de la energía media por partícula (J.P. Holman).

Calor

La cantidad de calor necesaria para producir un cambio de temperatura ΔT es (J.P. Holman):

$$Q = mc\Delta T \qquad 2.6$$

Donde m es la masa del cuerpo y c el calor específico, el calor específico del aire es igual a 1029 J/(kg K). El calor específico medio del cuerpo humano es de 3300 J/(kg K).Para cambiar una sustancia de una fase a otra es necesario suministrarle una cantidad de calor(J.P. Holman):

$$Q = mL \qquad 2.7$$

La constante L se denomina calor latente.

2.2.4 La innovación tecnológica:

2.2.4.1 Secar con secadores solares

La energía del sol, se puede utilizar correctamente para beneficio de la salud y para la economía familiar; para ello, se han creado métodos o procedimientos que aseguran un buen proceso a través de aparatos especialmente diseñados.

En el secador solar los rayos luminosos del sol son transformados en calor a través del efecto invernadero en un llamado colector solar, que tiene los siguientes elementos:

- Una superficie metálica oscura, preferiblemente de color negro, generalmente orientada hacia la dirección del Sol, que recibe y absorbe los rayos luminosos. El calor producido de esta manera es transferido al aire, que está en contacto con dicha superficie.
- Una cobertura transparente (vidrio o plástico), que deja pasar la radiación luminosa y que evita el escape del aire caliente.

Para un mayor rendimiento, algunos modelos de secadores solares de gran capacidad disponen de un sistema de calefacción combinado. Se usa un combustible o energía eléctrica como fuente de energía auxiliar para los periodos con deficiencia de radiación solar, para los días nublados y para seguir trabajando en horas de la noche.

El proceso de secado se produce por la acción de aire cálido y seco, que pasa por los productos a secar, ubicados generalmente en bandejas en el interior del secadero. De esta forma la humedad contenida en los alimentos se evapora a la superficie de los mismos y pasa en forma de vapor al aire, que los rodea.

2.2.4.2 Técnicas para un secado correcto

Los factores claves para un buen secado son entonces:

- ✓ Aire caliente a una temperatura de 40 a 70°C
- ✓ Aire con un bajo contenido de humedad
- ✓ Movimiento constante del aire.

Al calentar aire, que está a la temperatura del ambiente y con un cierto porcentaje de humedad, aumenta su capacidad de absorber vapor de agua. Por cada 20°C de aumento de la temperatura del aire su capacidad de retener vapor de agua se triplica y por consecuencia su humedad relativa se reduce a un tercio.

Para eliminar la humedad de los alimentos, es necesario que el aire que pasa por los productos este en constante movimiento y renovación. Esta ventilación se puede lograr en forma natural gracias al efecto chimenea o en forma forzada mediante ventiladores, dependiendo del modelo del secadero.

Para obtener un buen secado, los productos tienen que ser colocados de tal forma que haya suficiente espacio entre las partes que los componen.

2.2.4.3 Tipos de secaderos solares

a. Tipo "carpa":

Es un modelo sencillo, compacto, liviano, plegable y transportable para secar cualquier tipo de alimento en pequeñas cantidades.

Esta hecho de una estructura metálica (que puede ser también de madera) de la forma de una carpa triangular, cubierta en gran parte por una lámina de plástico transparente, resistente a los rayos ultravioletas (polietileno larga duración) y puede tener diferentes tamaños.

Las aberturas de ventilación están ubicadas abajo, por uno de los lados longitudinales y arriba por el otro, los dos cubiertos de malla mosquitero para evitar el ingreso de insectos. A 20cm del suelo aproximadamente se encuentra la bandeja de secado removible, consistiendo en un tejido por ejemplo de hilo de nylon. Sobre este se coloca una gasa o una malla fina sobre la cual se colocaran los productos a secar (Fundación Celestina Pérez de Almada-Suiza).

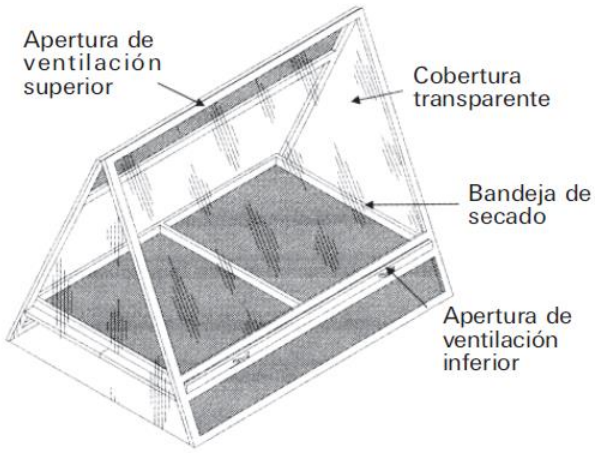


Figura. 2.10: secador tipo carpa (fuente: Fundación Celestina Pérez de Almada-Suiza).

b. Tipo "armario"

Es un modelo más complejo para secar todo tipo de alimentos, especialmente aquellos que necesitan mantener un buen color y proteger sus propiedades naturales.

Consiste en una cámara de secado y un colector solar inclinado, unidos entre sí en la parte inferior de la cámara. En esta se encuentran superpuestas varias bandejas de secado removibles con tejido. Las bandejas están protegidas por una puerta colocada en la pared trasera de la cámara.

El colector está cubierto con vidrio y tiene en su interior una chapa de color negro doblada en zigzag, para aumentar su superficie de intercambio de calor con el aire. El aire ambiental entra por la extremidad inferior del colector, que está cubierta por una malla mosquitero, y se calienta gradualmente hasta una temperatura de 25 a 30°C superior a la temperatura ambiental.

Entra finalmente en la cámara, donde atraviesa las bandejas ejerciendo su poder secador. Un extractor eléctrico de aire en la parte superior de la cámara garantiza la buena ventilación del aparato (Fundación Celestina Pérez de Almada-Suiza).

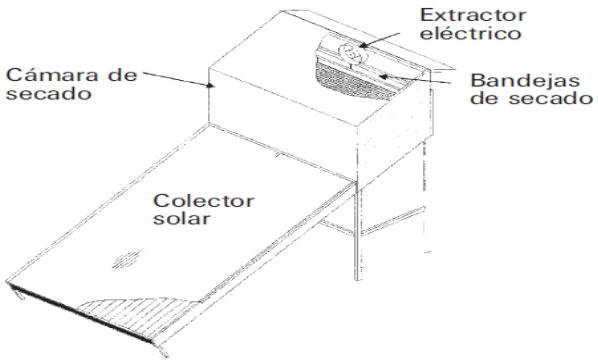


Figura. 2.11: secador tipo armario (fuente: Fundación Celestina Pérez de Almada-Suiza).

c. Tipo "túnel"

Este modelo sirve para pequeños emprendimientos industriales. Consiste en un túnel horizontal elevado con una base rígida de hierro y una cobertura transparente de lámina de polietileno de larga duración, igual que el tipo carpa. El túnel está dividido en sectores alternantes de colector y secador. Los primeros tienen la función de calentar el aire, que luego en los últimos es utilizado para el secado de los productos en las bandejas.

El aire circula en forma horizontal a través de todo el túnel, ingresa por un extremo y sale por el otro, generalmente con la ayuda de un ventilador eléctrico. En sitios sin energía eléctrica está apoyado por una chimenea ubicada en la salida del secadero. El aparato es una construcción modular plana con marco rígido, compuesta de dos chapas, con una capa de aislante térmico. Esta estructura se coloca sobre caballetes.

Las bandejas de secado son removibles y se pueden estirar lateralmente como los cajones de una cómoda. Por la altura relativamente grande de las bandejas es posible secar también productos que ocupan mucho volumen, tales como hierbas o flores.

La entrada y la salida del aire están protegidas con una malla mosquitero para evitar el ingreso de insectos.

El secadero se calienta a una temperatura de 20 a 25°C superior a la temperatura ambiental.

Para un mejor aprovechamiento del secadero, se puede agregar un sistema de calefacción auxiliar (Fundación Celestina Pérez de Almada-Suiza).

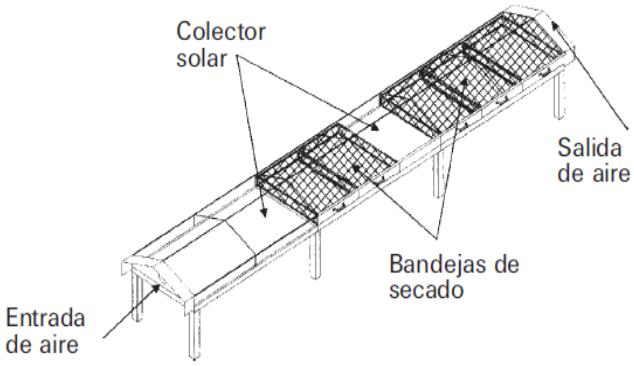


Fig. 2.12 secador tipo túnel (fuente: Fundación Celestina Pérez de Almada-Suiza).

2.2.4.4 Procedimiento para evaluar el correcto secado de los productos:

- ✓ Determinar la humedad fresca del producto utilizando el valor de la tabla o mejor secando una muestra del producto en un horno eléctrico a temperatura constante (50 a 70°C), midiendo el peso de la muestra cada 30 min., hasta que no se observe más ninguna reducción de peso. En este momento se puede considerar, que el producto perdió la totalidad de su agua y queda solamente la materia seca (Pms).
- ✓ Calcular la Hf usando la formula (1).
- ✓ Calcular con la formula (2) el rendimiento R, que va ser un valor constante para cada tipo de producto.
- ✓ Se elige una muestra del producto fresco que se va secar y se la pesa (Pf). Anotar el valor en una tabla.
- ✓ Calcular con la formula (3) el Ps que corresponde a la Hs recomendable.

- ✓ En el transcurso del secado (por ejemplo cada 2 horas) pesar la misma muestra y anotar los valores correspondientes en mencionada tabla. Continuar el secado hasta que el Ps medido corresponde al Ps calculado.
- ✓ Para hierbas medicinales y aromáticas que contienen poca agua el punto de fin de secado se determina sencillamente por la textura del producto. Cuando se trata de hojas, el secado ha terminado, cuando las hojas se separan del tallo y se quiebran con facilidad.

$$H_f = \frac{P_f - P_{ms}}{P_f} x100 \qquad 2.8$$

$$R = \frac{(100 - H_f)}{100 - H_s} = \frac{P_s}{P_s} \qquad 2.9$$

$$P_s = R\ x\ P_f \qquad 2.10$$

Dónde:

Ps = peso seco

H_f = humedad fresca en %

P_f = peso fresco

Hs = humedad seca en %

Pms = peso materia seca

R = rendimiento

2.2.5 Efecto Joule

Cuando circula una determinada intensidad de corriente eléctrica por un conductor, este se calienta y se disipa energía en forma de calor. Este fenómeno se conoce como efecto Joule.

La energía eléctrica (W) que se transforma en calor por el efecto Joule se puede cuantificar a través de la siguiente expresión.

$$\mathrm{W} = \mathrm{RI}^2\mathrm{t} \qquad 2.11$$

Donde I es la intensidad que circula; t, el tiempo durante el cual circula la intensidad y R, la resistencia que ofrece dicho conductor al paso de los electrones. Se puede expresar en Joule (J) o en calorías (cal). R, 1J=0,24 cal. Si se expresa en calorías se obtiene la expresión:

$$q = 0{,}24RI^2t \qquad 2.12$$

Donde q es el calor disipado expresado en calorías.

2.2.6 Proceso de secado

2.2.6.1 Contenido de humedad

Las condiciones físicas del producto se modifican en el transcurso de la extracción de humedad. Así cuando la humedad se encuentra en la superficie sólo se necesita para el secado la evaporación superficial. Sin embargo, cuando la humedad se halla en el interior, el secado está influido por el movimiento de la humedad en la materia, que es consecuencia de fenómenos como la capilaridad, la difusión del vapor y el flujo de las moléculas La determinación directa del contenido de humedad implica medir la masa del producto y la masa seca correspondiente al eliminar el agua evaporable contenida en él, aplicando calor a una temperatura generalmente de 104 ºC hasta llegar a un peso constante de la muestra. Este método, aunque es el más utilizado, presenta como principal inconveniente el que al evaporar el agua se pueden eliminar, al mismo tiempo, otras sustancias del producto (volátiles) lo cual puede suponer errores en la obtención de dicha variable. El contenido de humedad en base húmeda, definido como el peso del agua presente en el producto por unidad de peso del material sin secar (Sivipaucar Clodoaldo; Curo Herve; Huancahuari Eder; Llantoy Víctor; Valderrama Andrés, 2008)

$$M_{wb} = \frac{W_w}{W_o} = \frac{W_o - W_d}{W_o} \qquad 2.13$$

El contenido de humedad en base seca, definido como el peso del agua presente en el producto por unidad de peso del material seco (Sivipaucar Clodoaldo; Curo Herve; Huancahuari Eder; Llantoy Víctor; Valderrama Andrés, 2008)

$$M_{db} = \frac{W_w}{W_d} = \frac{W_o - W_d}{W_d} \qquad 2.14$$

Dónde:

M_{wb}: Humedad en base húmeda (Kg. agua / Kg. pro. húmedo)

M_{db}: Humedad en base seca (Kg. agua / Kg. prod. seco)

W_o: Peso inicial de la materia sin secar (Kg.)

W_w: Cantidad de agua en el producto húmedo (Kg.)

W_d: Peso de la materia seca en el producto (Kg.)

2.2.6.2 Ratio de Humedad

El ratio de humedad se expresa por la ecuación siguiente:

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} \qquad 2.15$$

Dónde:

M_R: Ratio de humedad (dec. o %)

M_t: Contenido de humedad en cada instante

M_e: Contenido de humedad en equilibrio

M_o: Contenido de humedad inicial

Es habitual en las aplicaciones de secado despreciar

Me debido a que es un parámetro difícil de determinar. El ratio de humedad se define de la siguiente manera.

$$MR = \frac{M_t}{M_o} \qquad 2.16$$

2.2.6.3 Ratio de Secado

Al diferenciar el ratio de humedad en función al tiempo se obtiene la velocidad de secado que está dada por la ecuación siguiente.

$$DR = \frac{dM}{dt} = \frac{M_{t+dt} - M_t}{dt} \qquad 2.17$$

2.2.6.4 Propiedades físicas del aire húmedo

El comportamiento del aire húmedo varía con respecto a la temperatura (Tm) y de la dependencia con sus propiedades (Sivipaucar Clodoaldo; Curo Herve; Huancahuari Eder; Llantoy Víctor; Valderrama Andrés, 2008).

Calor específico Ce (J/kg.K)

$$C_e = 999.2 + 0.143T_m + 1.101x10^{-4}T_m^2 - 6.758x10^{-8}T_m^3 \qquad 2.18$$

Densidad ρ (kg/m3)

$$\rho = \frac{353.44}{T_m + 273.15} \qquad 2.19$$

Viscosidad dinámica μ (N.s/m2)

$$\mu = 1.718x10^{-5} + 4.62x10^{-8}T_m \qquad 2.20$$

Conductividad térmica Kv (W/m.K)

$$K_v = 0.0244 + 0.7673x10^{-4}T_m \qquad 2.21$$

Coeficiente de expansión térmica β1

$$\beta^1 = \frac{1}{T_m + 273.15} \qquad 2.22$$

2.2.7 Célula Fotovoltaica

El diodo semiconductor es la junta de dos semiconductores dopados, un semiconductor de silicio dopado con fosforo hará enlaces covalentes con el silicio y dejando un electrón libre sin enlace, este electrón libre tiene carga negativa y el ion dopado o donador tendrá carga eléctrica positiva, por lo que el material semiconductor dopado eléctricamente neutro tiene electrones libres por cada enlace y se les conoce con el nombre de semiconductor tipo ***N***; si el material de silicio se dopara con boro, sus enlaces covalentes no completarían el cuarto enlace, quedando un enlace sin completar y sería un portador libre o llamado hueco de carga eléctrica positiva y el ion aceptor se carga eléctricamente negativo, formándose de esta forma un material semiconductor eléctricamente neutro de tipo ***P***. La juntura de estos dos materiales formara el diodo semiconductor, algunos electrones del material tipo ***N*** pasan al lado del material tipo ***P*** ocupando los enlaces covalentes libres del material tipo ***P***, resulta así que el material tipo ***P*** se carga negativamente y el material pio ***N*** se carga positivamente, produciéndose en la juntura un campo eléctrico llamado barrera de potencial eléctrico ***V***, (ver figura 2.9), impidiendo que los electrones del semiconductor tipo **N** sigan fluyendo hacia el material tipo **P**; la ecuación aproximada que da la característica tensión corriente del diodo semiconductor es la dada por la ecuación de ***Shockley:***

$\mathbf{i_D = I_s(e^{v_D/nV_T} - 1)}$**;** Donde $\mathbf{i_D}$**=**corriente que circula por el diodo, $\mathbf{V_D}$= Tensión del diodo con el ánodo positivo con respecto cátodo, ***Is***= corriente de saturación inversa, ***n***=coeficiente de emisión cuyo valor varia de 1 a 2 (Millman & Halkias, 1972; Boylestad & Nashelsky, 1994; Muhammad, 2000).

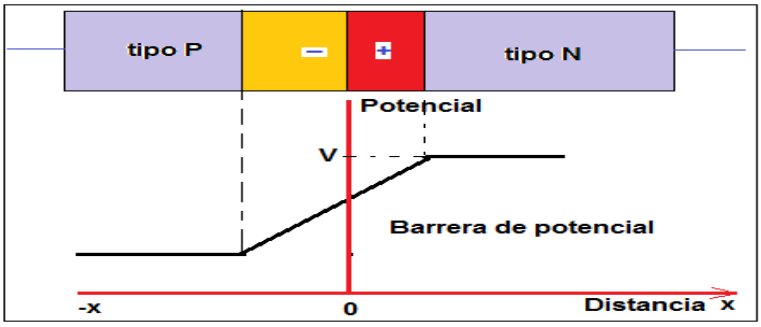


Figura 2.13: Barrera de potencial V que se genera en la juntura PN (Modificado de Robert Muhammad R, 2 000)

Si incide en un semiconductor fotones con una energía mayor que la requerida para liberar un electrón de su enlace, estos fotones son absorbidos y generan pares electrones y huecos libres, ocurre esto en la interface de un diodo **PN**, debido a la fuerza sobre los electrones generados por el campo eléctrico existente en la interface, estos electrones son empujados a la región **N** y los huecos a la región **P**; se produce así una tensión eléctrica, y si los dos contactos del diodo están conectados a una resistencia externa, fluye una corriente eléctrica. Este fenómeno es el llamado efecto fotovoltaico y representa una transformación directa de la energía radiante en energía eléctrica (Valera, 1993; Boylestad & Nashelsky, 1994; Green, 2000).

El efecto fotovoltaico de la célula fotovoltaica permite la transformación de la energía electromagnética en energía eléctrica directa, la célula fotovoltaica es una juntura de dos semiconductores tipo **P** y de tipo **N**, formando un diodo semiconductor sensible a la luz cuya corriente está dado por la siguiente ecuación:

$$\mathbf{I} = \frac{\mathbf{R_p}}{\mathbf{R_p}+\mathbf{R_s}}\left[\mathbf{Io}\left(\mathbf{e}^{\frac{\mathbf{q(V-IR_S)}}{\mathbf{KT}}} - \mathbf{1}\right) + \mathbf{I_f} + \frac{\mathbf{V}}{\mathbf{Rp}}\right] \qquad 2.23$$

Donde ***q* = 1.602176x10^{-19}*C*** es la carga eléctrica del electrón, **K= 6.626176x10^{-23}/moles** la constante de ***Boltzmann***, ***Io*** es la corriente inversa de saturación del diodo su valor depende de los materiales de construcción de la célula, ***I*** y ***V*** son las tensiones generadas por la célula, ***T*** es la temperatura absoluta que se encuentra la juntura ***PN*** de la célula fotovoltaica, I_f es la corriente foto generada, ***Rp*** y***Rs*** son resistencias internas de la celda real en paralelo y serie respectivamente, en la figura

2.14, se muestra el circuito equivalente eléctrico real de la celda fotovoltaica (Valera, 1993).

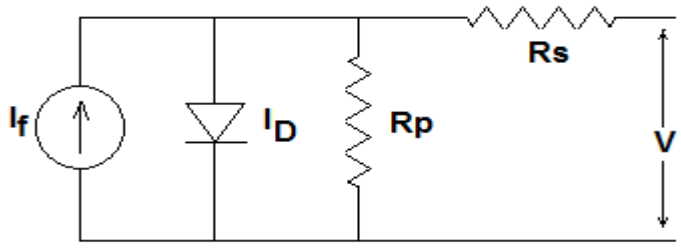


Figura 2.14: Circuito equivalente eléctrico de la celda fotovoltaica (Modificado de Aníbal Valera P, 1993).

La curva característica de tensión corriente se muestra en la figura 2.15, en la que se observa en ella que la corriente aumenta con respecto a la frecuencia de la intensidad luminosa en mayor proporción que la tensión (Boylestad & Nashelsky, 1994)

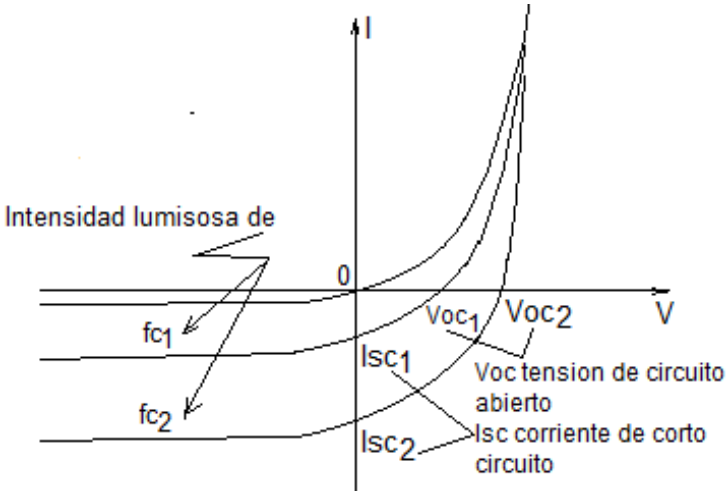


Figura 2.15: curva característica de tensión corriente de la célula fotovoltaica (modificado de Robert Boylestad & Louis Nashelsky, 2000)

La eficiencia η de la célula solar se determina dividiendo la potencia eléctrica generada con respecto a la potencia que proporciona la fuente luminosa, ecuación siguiente:

$$\eta = \frac{\text{Po(Eléctrica)}}{\text{Pi (energía lumisosa)}} \text{x} 100\% = \frac{\text{Po}}{\text{Área x Irradiancia}} \text{x} 100\% \qquad 2.24$$

Los niveles típicos de eficiencia varían de 10 a 40% (Boylestad & Nashelsky, 1994)

2.2.7.1 Conexionado en serie y paralelo de las células fotovoltaicas

La celda fotovoltaica comercial de silicio tiene un punto de trabajo característico de (**0.45 V y 30mA cm-^{2}**) para lograr mayor tensión y corriente eléctrica se tendrá que hacer arreglos en serie y en paralelo y así tener la estructura de un panel fotovoltaico con ciertas características de tensión (**12V, 24V)** y corriente propio del panel solar (Valera, 1993; Roldan, 2008).

Para obtener un panel de mayor capacidad en tensión habrá que colocar las células fotovoltaicas en serie como se muestra en la figura 2.16 (Espinoza & Horn, 1992; Valera, 1993; Roldan, 2008).

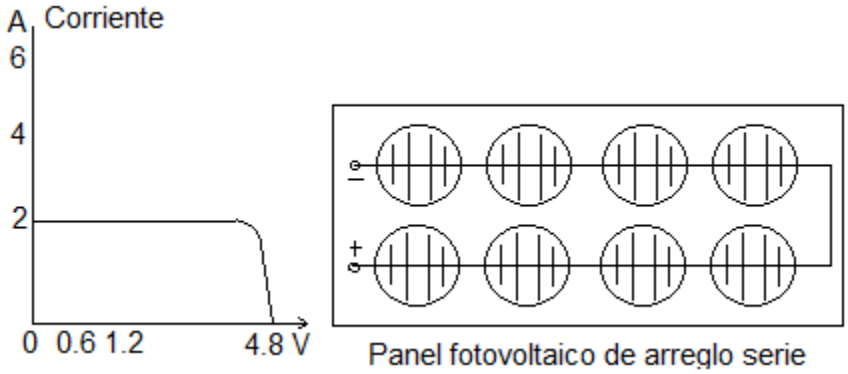


Figura 2.16: Células fotovoltaicas en serie (modificado de Aníbal Valera P, 1993).

Para obtener un panel de mayor capacidad en corriente habrá que colocar las células fotovoltaicas en paralelo como se muestra en la figura 2.17.

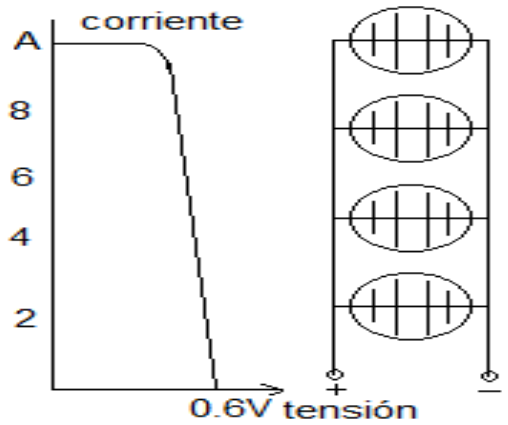


Figura 2.17: Células fotovoltaicas en paralelo (modificado de Aníbal Valera P, 1993).

Para obtener un panel de mayor capacidad en corriente y tensión habrá que colocar las células fotovoltaicas en paralelo y en serie como se muestra en la figura2.18.

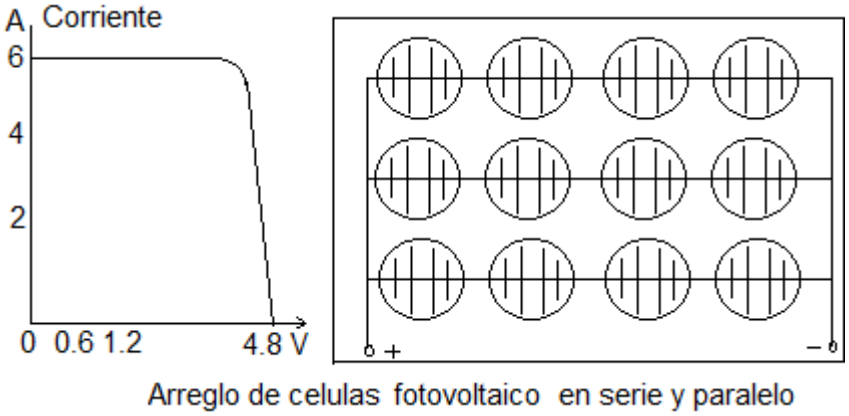


Figura 2.18: Células fotovoltaicas en serie y paralelo (modificado de Aníbal Valera P, 1993).

La luz es una radiación electromagnética y es una forma de energía y en un día soleado la energía irradiada en la superficie de la tierra es de ($1kWm^{-2}$) la misma que puede ser aprovechada por el sistema fotovoltaico(Roldan, 2008).

2.2.7.2 Tipos de fabricación de la célula fotovoltaica

La formación de la unión p-n mediante la deposición de varios materiales (boro y fósforo generalmente), y su integración en la estructura de silicio cristalino que finalmente provee a la célula de contactos eléctricos adecuados; los tipos de células según su estructura son:

- Silicio mono cristalino: material de silicio caracterizado por una disposición ordenada y periódica de átomo, de forma que solo tiene una orientación cristalina, es decir, todos los átomos están dispuestos simétricamente (Sc-Si single crystal). Presentan un color azulado oscuro y con un cierto brillo metálico. Alcanzan rendimientos de hasta el 17% (Schallenberg et al, 2008).
- Silicio poli cristalino: silicio depositado sobre otro sustrato, como una capa de10 a 30 micrómetros y tamaño de grano entre 1 micrómetro y 1 mm. Las direcciones de alineación van cambiando cada cierto tiempo durante el proceso de deposición. Alcanzan rendimientos de hasta el 12% (Schallenberg et al, 2008).
- Silicio amorfo: compuesto hidrogenado de silicio, no cristalino, depositado sobre otra sustancia con un espesor del orden de 1 micrómetro (am-Si, o am-Si-H).No existe estructura cristalina ordenada, y el silicio se ha depositado sobre un soporte transparente en forma de una capa fina. Presentan un color marrón y gris oscuro. Esta tecnología permite disponer de células de muy delgado espesor y fabricación más simple y barata, aunque con eficiencia del 6-8% (Schallenberg et al, 2008).

2.2.7.3 La energía solar sustentable de la conversión de energía eléctrica de las células fotovoltaicas

La sustentabilidad es un término que es equivalente al potencial de desarrollo inmerso en ecosistema (Elizalde, 2003). Las fuentes de energía sustentables e inagotables para la producción de electricidad, que se

encuentra en la tierra son las energías renovables, nuclear y el hidrogeno, la energía solar como fuente de energía renovables en el proceso de generación de energía eléctrica por medio de sistema fotovoltaico y como fuente de energía limpia libre de emisiones de gas de efecto invernadero (Bazán, 2004).

El sistema fotovoltaico es el sistema de electrificación moderno, autónomo y limpio, usadas en la electrificación rural; se han instalado en 500 000 hogares rurales en todo el mundo y se abastece de la energía del sol (Rodríguez & Sarmiento, 2011).

2.2.7.4 El sistema fotovoltaico

Para generar la energía eléctrica a partir de un sistema fotovoltaico, hay que componerla por sus elementos correspondientes como se muestra en la figura 8 y se describen a continuación:

a. Acumulador eléctrico y regulador de corriente

Está conformado por el banco de baterías y su finalidad es de acumular la energía de exceso o no consumo por la carga proveniente de los paneles, esta energía es suministrada a la carga eléctrica bajo el control del regulador de corriente en especial en las horas pico de generación eléctrica, desviando el exceso de energía hacia las baterías y suministrando en las horas que no genera el sistema hacia la carga. Las baterías son elegidas de acuerdo a ciertos factores de la carga tales como: el tipo de carga al que se destina el sistema, la potencia de la carga y el ciclo de consumo previsto y otros. El regulador de corriente es la encargada de desconectar el banco de condensadores cuando ha llegado a su capacidad de almacenamiento de carga eléctrica así mismo apertura la conexión con el modulo fotovoltaico en las horas de no generación a fin de que la corriente no regrese a los paneles y los dañe, así mismo interrumpe la conexión

con la carga en los instantes en que el modulo fotovoltaico o el banco de baterías no cuente con la energía suficiente que solicita la carga eléctrica hasta que el banco de baterías se cargue con suficiente energía para seguir suministrando (Roldan, 2008; Escobar et al., 2009).

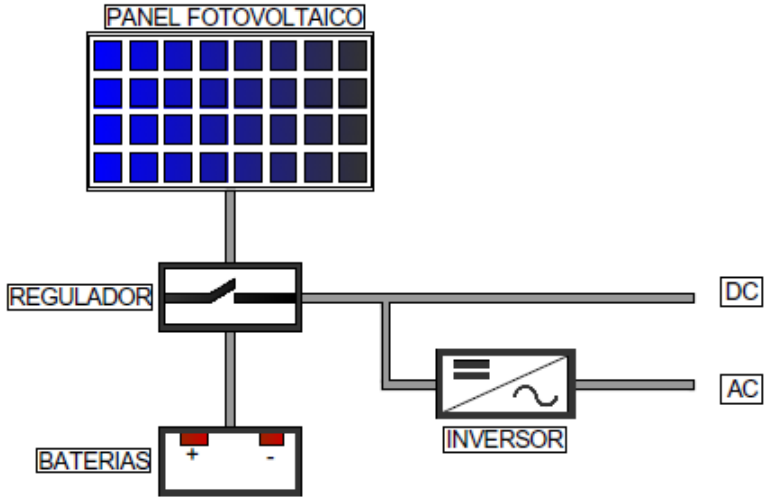


Figura 2.19: Esquema general de un sistema fotovoltaico: modificado de [19] Escobar M et al., 2009

b. Paneles o módulo fotovoltaico:

Son la encargada de la transformación de la energía electromagnética provenientes del sol en energía eléctrica, cada panel proporciona una tensión (V) corriente (I) y potencia (P) continua (DC) , a fin de conseguir mayor corriente en el sistema se tendrá que hacer un arreglo en paralelo (suma de corrientes) y para obtener mayor tensión en el sistema se tendrá que hacer un arreglo en serie (suma de tensiones), sumando en cada una de ellas la potencia individual del panel otros (Roldan, 2008; Escobar et al., 2009).

c. Cálculo de las partes del sistema fotovoltaico

El consumo energético E_T (Watt-H) se determina calculando la potencia eléctrica requerida por las horas de trabajo al día de la carga, y se puede calcular con la ecuación 2.25.

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{E_T}}{\mathbf{R}} \qquad 2.25$$

Donde E energía requerida por el sistema fotovoltaico dado en Watt-H y R es la pérdida global o parámetro de rendimiento global del sistema y se determina por la ecuación 2.26:

$$\mathbf{R} = (\mathbf{1} - \mathbf{k_b} - \mathbf{k_c} - \mathbf{k_v})(\mathbf{1} - \frac{\mathbf{k_a N}}{\mathbf{P_d}}) \qquad 2.26$$

En donde kb es el coeficiente de pérdidas por rendimiento del acumulador, vale 0,1 en sistemas con descargas profundas y 0,05 para sistemas que no demanden descargas intensas; k_c es el coeficiente de pérdidas en el convertidor y vale 0.05 para convertidores sinusoidales puros y 0,1 para convertidores en otras condiciones de trabajo; k_v es el coeficiente de perdidas varias, ella agrupa otras perdidas como el rendimiento de red, efecto Joule y otros, su valor es 0,05 a 0,15 como valores de referencia; k_a es el coeficiente de auto descarga diario y su valor está determinado como sigue : 0,002 para baterías de baja auto descarga (Ni- Cd), 0,005 para baterías estacionarias de Pb-acido (lo más habituales) y 0,012 para baterías de alta auto descarga; N es el número de días autonomía de la instalación, serán los días que la instalación deba operar bajo una irradiación mínima (días nublados continuos), en los cuales se va a consumir más energía de la que el sistema fotovoltaico va a ser capaz de generar; P_d es la profundidad de descarga diaria de la batería, esta

profundidad de descarga del banco de baterías no excederá el 80% (Escobar et al., 2009; Agustín , 2010).

Una vez definida la utilidad energética real ***E***, se obtiene la capacidad ***C*** de corriente requerida por el sistema en A-H necesario, del siguiente modo, ecuación 2.27:

$$\mathbf{C} = \frac{\mathbf{EN}}{\mathbf{VP_d}} \qquad 2.27$$

Siendo ***V*** la tensión nominal del sistema fotovoltaico; así mismo esta cantidad de corriente será la capacidad mínima $C_{Min\ B}$ de almacenamiento por el banco de batería (Escobar et al., 2009; Agustín, 2010).

Para encontrar el número de baterías a emplear se deben conocer cuantas se van a instalar en serie a fin de obtener la tensión nominal del sistema fotovoltaico y en paralelo para obtener la corriente requerida por la carga, los mismos que se determinan por la ecuación 2.28 y 2.29 respectivamente:

$$\mathbf{B_P} = \frac{\mathbf{C_{min\,B}}}{\mathbf{C_{BAT}}} \qquad 2.28$$

$$\mathbf{B_S} = \frac{\mathbf{V}}{\mathbf{V_{Nom\,B}}} \qquad 2.29$$

B_P: número de baterías en paralelo

$C_{Min\ B}$: capacidad mínima del banco de baterías en [A-h]

C_{BAT}: capacidad de la batería en [A-h]

B_S: número de baterías en serie

V: voltaje nominal del sistema en [V]

$V_{Nom\ B}$: voltaje de la batería en [V]

(Escobar et al., 2009)

El numero requerido de baterías se determina multiplicando BP*BS (Escobar et al., 2009)

El número de paneles solares NP necesarios se calcula del siguiente modo, ecuación 2.30:

$$\mathbf{N_P} = \frac{\mathbf{E}}{\mathbf{0{,}9 W_P HPS}} \qquad 2.30$$

Donde WP es la potencia nominal del panel y HPS es las horas pico de la zona que es numéricamente equivalente a la irradiancia en kWattm-2 de la zona (Agustín, 2010).

El regulador depende del número de paneles que se deben regular y se dimensiona con un 15 o 20 % de más de la corriente de la carga y se determina con la siguiente ecuación 2.31:

$$\mathbf{I_{Max\ R}} = \mathbf{I_M}(\mathbf{N_p} + \mathbf{M_P N_P}) \qquad 2.31$$

Donde

IMax R: corriente máxima del regulador en [A]

IM: corriente nominal del panel a potencia máxima en [A]

Np: número de paneles en paralelo

Mp: margen de potencia en (%)

(Escobar et al., 2009).

El número de reguladores se determina por la siguiente expresión, ecuación 2.32:

$$\mathbf{N_{Reg}} = \frac{\mathbf{I_{Max\ R}}}{\mathbf{I_R}} \qquad 2.32$$

Dónde:

NReg: número de reguladores requeridos

IMAX R: corriente máxima del regulador en [A]

IR: corriente del regulador, dato de placa en [A]

La potencia del inversor depende de la potencia que se requiere entregar a la carga y la potencia que entrega el inversor debe ser mayor a la requerida por la carga (Escobar et al., 2009).

2.2.8 Diseño del controlador PID

Dado el amplio uso de los controladores PID en el ámbito industrial (control de potencia en motores de inducción, control de nivel, caudal y presión en procesos químicos entre otros), el uso de microcontroladores para el desarrollo de este tipo de aplicaciones ha tomado fuerza gracias a la incorporación de lenguajes de alto nivel que facilitan ampliamente este tipo de implementaciones, además de los bajos costos de adquisición de estos dispositivos, distribución de software de desarrollo gratuito y amplia información en la Internet.

Es la razón que en el proyecto vamos a usar el sistema de control PID, donde a continuación mostramos el diseño y su desarrollo implementado con el Arduino uno con la programación "C". Tomamos como muestra el sistema de calefacción (heater) al cual se le realizara inicialmente un modelamiento basado en el método de curva de reacción, cálculo de parámetros y/o constantes de control PID mediante técnica de sintonización Ziegler–Nichols y por último se mostrara la metodología de implementación del circuito electrónico con el arduino y el sistema de potencia.

Los controladores PID analógicos, son principalmente de tipo hidráulico, neumático, electrónico, eléctrico o sus combinaciones. En la actualidad, muchos de estos se transforman en formas digitales mediante el uso de microprocesadores. Se puede indicar que un controlador PID responde a la siguiente ecuación:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i}\int_0^t e(t)\,\partial t + K_p T_d \frac{\partial e(t)}{\partial (t)} \quad 2.33$$

Donde e(t) es el error de la señal y u(t) es la entrada de control del proceso. Kp es la ganancia proporcional, Ti es la constante de tiempo integral y Td es la constante de tiempo derivativa.

En el dominio de la frecuencia, el controlador PID se puede escribir como:

$$U(S) = Kp\left(1 + \frac{1}{T_i S} + T_d S\right) E(S) \quad 2.34$$

2.2.9 Sintonización de controlador mediante ZIEGLER-NICHOLS

En lazo abierto, muchos procesos pueden definirse según la siguiente función de transferencia:

$$G(S) = \frac{K_0 e^{-s\tau_0}}{1+\gamma_0 S} \quad 2.35$$

Donde los coeficientes K_0, y0 y τ0 se obtienen de la respuesta del sistema en lazo abierto a una entrada escalón. Se parte del sistema estabilizado en y(t)=y(0) para u(t)=u(0). Se aplica una entrada escalón de u0 a u1 (el salto debe estar entre un 10% y un 20% del valor nominal) y se registra la respuesta de la salida hasta que se estabilice en el nuevo punto de operación.

Los parámetros se pueden obtener de la respuesta mostrada en la Figura 2.15

$$\tau_0 = t_1 - t_0 \quad 2.36$$

$$\gamma_0 = t_2 - t_1 \quad 2.37$$

$$k_0 = \frac{y_1 - y_0}{u_1 - u_0} \quad 2.38$$

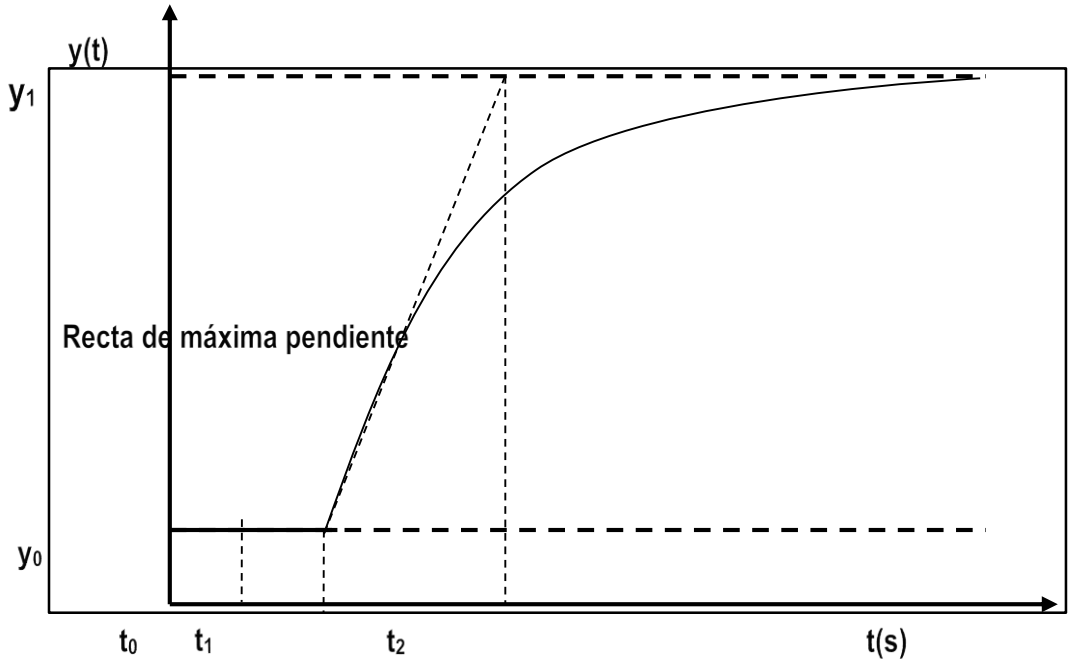


Figura 2.20 Respuesta de salida ante una entrada escalón.

Según Ziegler-Nichols, la relación de estos coeficientes con los parámetros del controlador son:

$$K_p = 1.2\frac{\gamma_0}{k_0\tau_0} \quad 2.39$$

$$T_i = 2\tau_0 \quad 2.40$$

$$T_d = 0.5\tau_0 \quad 2.41$$

Método de oscilación de Ziegler-Nichols

Este método es válido sólo para plantas estables a lazo abierto.

El procedimiento es el siguiente:

- Aplicar a la planta sólo control proporcional con ganancia Kp pequeña.
- Aumentar el valor de Kp hasta que el lazo comience a oscilar. La oscilación debe ser lineal y debe detectarse en la salida del controlador (u(t)).

- Registrar la ganancia crítica Kp = Kc y el período de oscilación Pc de u(t), a la salida del controlador.
- Ajustar los parámetros del controlador PID de acuerdo a la tabla 2.5.

Tabla 2.5 Parámetros de controladores PID según el método de oscilación de Ziegler-Nichols

	K_p	T_r	T_d
P	$0,50K_c$		
PI	$0,45K_c$	$\frac{P_c}{1,2}$	
PID	$0,60K_c$	$\frac{P_c}{2}$	$\frac{P_c}{8}$

Fuente Minorsky, «Directional stability of automatically steered bodies», Journal of the American Society of Naval Engineering, Vol. 34, p. 284, 1922.

Controlador digital PID

La función de transferencia para el controlador PID digital se convierte en:

$$U(z) = Kp\left[1 + \frac{T}{T_i(1-z^{-1})} + T_d\frac{(1-z^{-1})}{T}\right]E(z) \qquad 2.42$$

2.43

La función de transferencia discreta, también puede ser representada como:

$$\frac{U(z)}{E(z)} = a + \frac{b}{1-z^{-1}} + c(1-z^{-1}) \qquad 2.43$$

Dónde:

$$\boldsymbol{a = Kp} \qquad 2.44$$

$$\boldsymbol{b = \frac{K_pT}{T_i}} \qquad 2.45$$

$$\boldsymbol{c = \frac{K_pT_d}{T}} \qquad 2.46$$

Existen distintas posibilidades de la realización práctica de un controlador PID, una de las más habituales es la realización en paralelo:

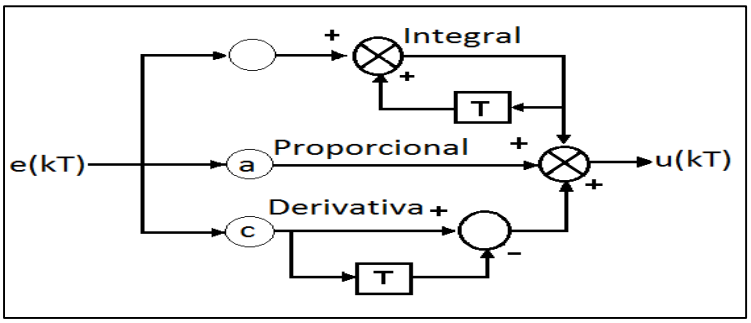


Figura 2.21 Diseño paralelo de controlador PID.

2.2.10.1 Algoritmo de programación en microcontrolador

El algoritmo utilizado para la programación en el nano arduino se muestra en la Figura 2.22. El muestreo (T) debe ser mayor que el tiempo de establecimiento del sistema en lazo abierto. En el modelo Ziegler-Nichols se toma un valor $T < \tau_0/4$.

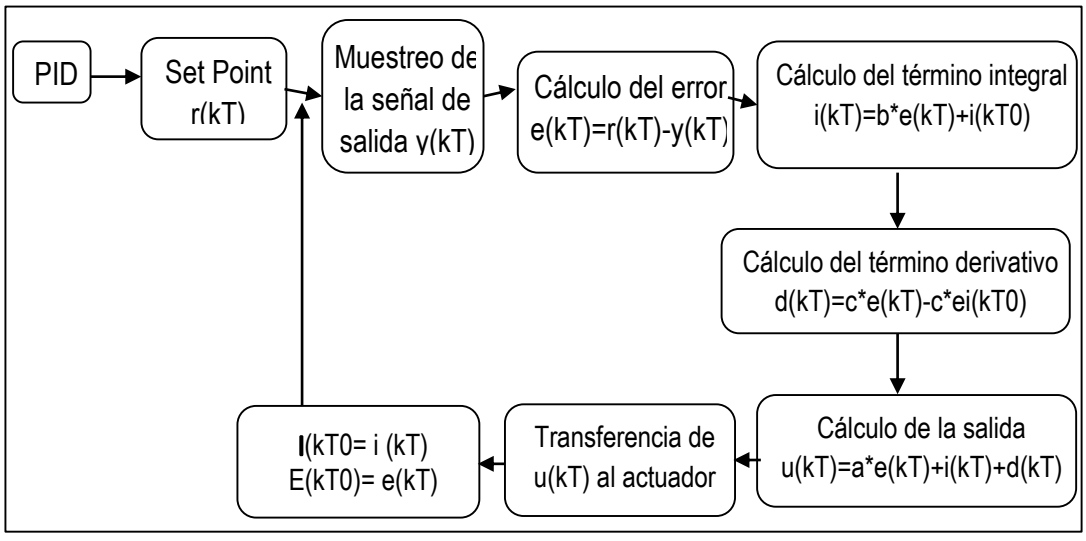


Figura 2.22 Algoritmo de programación del PID digital en el nanoarduino.

Para la implementación y simulación del controlador PID se utilizó el software ISIS Proteus. Este software ofrece el modelo esquemático de un sistema de calefacción denominado OVEN, al cual se le pueden variar sus características funcionales tales como temperatura ambiente de trabajo, resistencia térmica, constante de tiempo de establecimiento, constante de tiempo de calentamiento, coeficiente de temperatura y potencia de calentamiento.

Modelamiento del sistema de calefacción

Para facilidades de simulación se establecerán los siguientes valores de parámetros funcionales del modelo OVEN.

- Temperature Ambient (°C)= 25
- Thermal Resistence to Ambient (°C/W)= 0.7
- Oven Time Constant (sec)= 10
- Heater Time Constant (sec)= 1
- Temperature coefficient (V/°C)= 1
- Heating Power (W)= 120

El modelo esquemático OVEN contiene un terminal sensor T que entrega un voltaje proporcional a la temperatura del sistema. De acuerdo a los parámetros establecidos anteriormente, este terminal entregara 1V/°C, es decir, que para una temperatura de 100°C, el terminal T entregara 100V.

Para obtener la respuesta del sistema en lazo abierto ante una entrada escalón (curva de reacción), se utiliza el sistema de análisis interactivo de ISIS Proteus Interactive Analysis (Graph Mode Tool), el cual interactúa con el sistema OVEN mediante el uso de un Voltage Probe1 OV1(T), según se muestra en la Figura 2.23. Observar que para realizar la entrada escalon de 0V a 2V se utiliza un interruptor SW1.

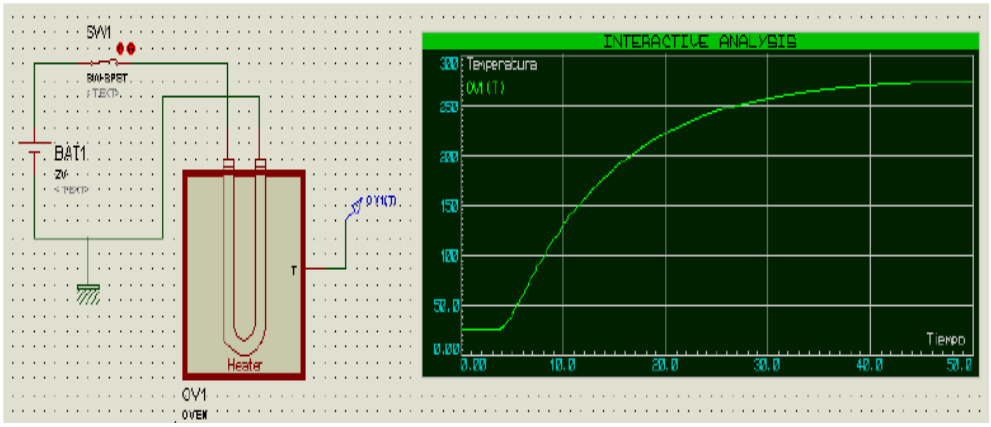


Figura 2.23 Esquemático para análisis de respuesta ante entrada escalón.

De la recta de máxima pendiente se deducen los parámetros y0, τ0 y k0 definidos por el análisis en lazo abierto de Ziegler-Nichols.

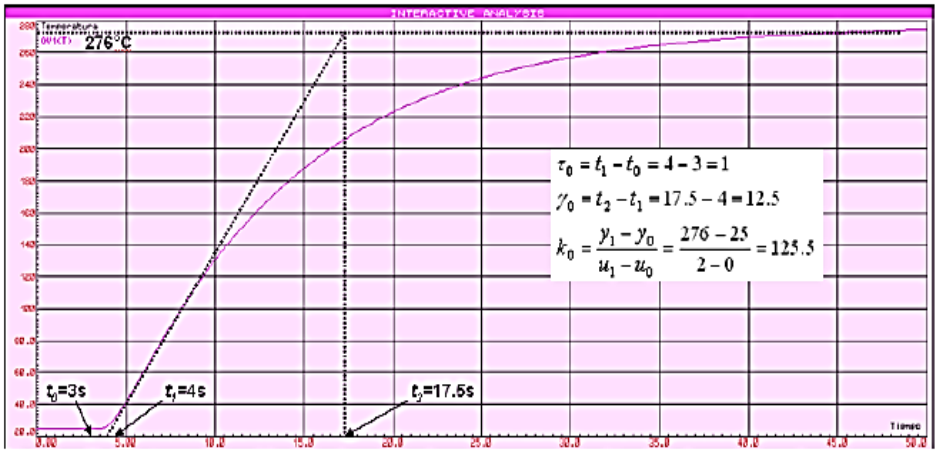


Figura 2.24 Determinación de los parámetros por método de curva de reacción.

Por tanto el modelo del sistema de calefacción queda definido así.

$$G(s) = \frac{K_0 e^{-s\tau_0}}{1+y_0 S} = 125.5\frac{e^{-1}}{1+12.5s} \qquad 2.47$$

Los parámetros Kp, Ti y Td se calculan según la Regla de Sintonización de Ziegler- Nichols basada en la respuesta al escalon.

$$K_p = 1.2\frac{y_0}{k_0\tau_0} = 0.1195 \qquad 2.48$$

$$T_i = 2\tau_0 = 2 \quad (2.49)$$

$$T_d = 0.5\tau_0 = 0.5 \quad (2.50)$$

Reemplazando los valores de Kp, Ti y Td en las ecuaciones dadas, y estableciendo un periodo de muestreo T=0.1s según criterio $T < \tau_0/4$, los parámetros del controlador discreto son.

$$a = K_p = 0.1195 \quad (2.51)$$

$$b = \frac{K_p T}{T_i} = 0.0062 \quad c = \frac{K_p T_d}{T} = 0.6215 \quad (2.52)$$

2.2.10 Arduino

2.2.10.1 Descripción general

Arduino es una plataforma de prototipos electrónica de código abierto (open-source) basada en hardware y software flexibles y fáciles de usar. Está pensado para artistas, diseñadores, como hobby y para cualquiera interesado en crear objetos o entornos interactivos.

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 microcontrolador de la placa se programa usando el Arduino Programming Language_ (basado en Wiring1) 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 (por ejemplo con Flash, Processing, MaxMSP, etc.).

Las placas se pueden ensamblar a mano o encargarlas pre ensambladas; el software se puede descargar gratuitamente. Los diseños de referencia del hardware (archivos CAD) están disponibles bajo licencia open source, por lo que eres libre de adaptarlas a tus necesidades.

Arduino recibió una mención honorífica en la sección Digital Communities del Ars Electrónica Prix en 2006 (Rafael Enríquez Herrador,2009).

2.2.10.2 Hardware

Hay múltiples versiones de la placa Arduino. La mayoría usan el ATmega168 de Atmel, mientras que las placas más antiguas usan el ATmega8 (Rafael Enríquez Herrador,2009)..

Placas E/S

- Diecimila: Esta es la placa Arduino más popular. Se conecta al ordenador con un cable estándar USB y contiene todo lo que necesitas para programar y usar la placa. Puede ser ampliada con variedad de dispositivos: placas hijas con características específicas.
- Nano: Una placa compacta diseñada para uso como tabla de pruebas, el Nano se conecta al ordenador usando un cable USB Mini-B.
- Bluetooth: El Arduino BT contiene un módulo bluetooth que permite comunicación y programación sin cables. Es compatible con los dispositivos Arduino.
- LilyPad: Diseñada para "aplicaciones listas para llevar", esta placa puede ser conectada en fábrica, y un estilo sublime.
- Mini: Esta es la placa más pequeña de Arduino. Trabaja bien en tabla de pruebas o para aplicaciones en las que prima el espacio. Se conecta al ordenador usando el cable Mini USB.
- Serial: Es una placa básica que usa RS232 como un interfaz con el ordenador para programación y comunicación. Esta placa es fácil de ensamblar incluso como ejercicio de aprendizaje.
- Serial Single Sided: Esta placa está diseñada para ser grabada y ensamblada a mano. Es ligeramente más grande que la Diecimila, pero aun compatible con los dispositivos.

- (Rafael Enríquez Herrador,2009).

Arduino Nano

Visión General

Arduino (Estados Unidos) (Genuino a nivel internacional hasta octubre 2016), es una compañía de hardware libre y una comunidad tecnológica que diseña y manufactura placas computadora de desarrollo de hardware y software, compuesta respectivamente por circuitos impresos que integran un microcontrolador y un entorno de desarrollo (IDE), en donde se programa cada placa.

Arduino se enfoca en acercar y facilitar el uso de la electrónica y programación de sistemas embebidos en proyectos multidisciplinarios. Toda la plataforma, tanto para sus componentes de hardware como de software, son liberados con licencia de código abierto que permite libertad de acceso a ellos.

El hardware consiste en una placa de circuito impreso con un microcontrolador, usualmente Atmel AVR, puertos digitales y analógicos de entrada/salida, los cuales pueden conectarse a placas de expansión (shields), que amplían las características de funcionamiento de la placa Arduino. Asimismo, posee un puerto de conexión USB desde donde se puede alimentar la placa y establecer comunicación con el computador.

Por otro lado, el software consiste en un entorno de desarrollo (IDE) basado en el entorno de Processing y lenguaje de programación basado en Wiring, así como en el cargador de arranque (bootloader) que es ejecutado en la placa.4 El microcontrolador de la placa se programa

mediante un computador, usando una comunicación serial mediante un convertidor de niveles RS-232 a TTL serial.

La primera placa Arduino fue introducida en 2005, ofreciendo un bajo costo y facilidad de uso para novatos y profesionales. Buscaba desarrollar proyectos interactivos con su entorno mediante el uso de actuadores y sensores. A partir de octubre de 2012, se incorporaron nuevos modelos de placas de desarrollo que usan microcontroladores Cortex M3, ARM de 32 bits,5 que coexisten con los originales modelos que integran microcontroladores AVR de 8 bits. ARM y AVR no son plataformas compatibles en cuanto a su arquitectura y por lo que tampoco lo es su set de instrucciones, pero se pueden programar y compilar bajo el IDE predeterminado de Arduino sin ningún cambio.

Las placas Arduino están disponibles de dos formas: ensambladas o en forma de kits "Hazlo tú mismo" (por sus siglas en inglés "DIY"). Los esquemas de diseño del Hardware están disponibles bajo licencia Libre, con lo que se permite que cualquier persona pueda crear su propia placa Arduino sin necesidad de comprar una prefabricada. Adafruit Industries estimó a mediados del año 2011 que, alrededor de 300,000 placas Arduino habían sido producidas comercialmente y en el año 2013 estimó que alrededor de 700.000 placas oficiales de la empresa Arduino estaban en manos de los usuarios.

Arduino se puede utilizar para desarrollar objetos interactivos autónomos o puede ser conectado a software tal como Adobe Flash, Processing, Max/MSP, Pure Data, etc. Una tendencia tecnológica es utilizar Arduino como tarjeta de adquisición de datos desarrollando interfaces en software como JAVA, Visual Basic y LabVIEW 6. Las placas se pueden montar a

mano o adquirirse. El entorno de desarrollo integrado libre se puede descargar gratuitamente.

Figura 2.25: Placa Arduino nano (USB)

Las principales características se muestran en la tabla 2.4

Tabla 2.4 características técnicas del Arduino

Característica	Descripción
Microcontrolador	ATmega168
Voltaje de operación	5 V
Tensión de entrada (recomendada)	7 - 12 V
Tensión de entrada (límite)	6 - 20 V
Pines digitales de E/S	14 (de los cuales 6 proveen salidas PWM)
Pines de entrada analógicos	6
Corriente DC por pin E/S	40 mA
Corriente DC para pin 3.3 V	50 mA
Memoria Flash	16 KB (de los cuales 2 KB usados para bootloader)
SRAM	1 KB
EEPROM	512 bytes
Frecuencia de reloj	16 MHz

Fuente, Rafael Enríquez Herrador,2009

Alimentación

El Arduino puede ser alimentado a través de la conexión USB o con un suministro de energía externo. La fuente de energía se selecciona mediante el jumper PWR_SEL: para alimentar la placa desde la conexión

USB, colocarlo en los dos pines más cercanos al conector USB, para un suministro de energía externo, en los dos pines más cercanos al conector de alimentación externa.

La alimentación externa (no USB) puede venir o desde un adaptador AC-a-DC (wall-wart) o desde una batería. El adaptador puede ser conectado mediante un enchufe centro-positivo en el conector de alimentación de la placa. Los cables de la batería pueden insertarse en las cabeceras de los pines Gnd y Vin del conector POWER. Un regulador de bajo abandono proporciona eficiencia energética mejorada.

La placa puede operar con un suministro externo de 6 a 20 voltios. Si es suministrada con menos de 7 V, sin embargo, el pin de 5 V puede suministrar menos de cinco voltios y la placa podría ser inestable. Si usa más de 12 V, el regulador de tensión puede sobrecalentarse y dañar la placa. El rango recomendado es de 7 a 12 voltios.

Los pines de alimentación son los siguientes: (Rafael Enríquez Herrador,2009).

- VIN. La entrada de tensión a la placa Arduino cuando está usando una fuente de alimentación externa (al contrario de los 5 voltios de la conexión USB u otra fuente de alimentación regulada). Puedes suministrar tensión a través de este pin, o, si suministra tensión a través del conector de alimentación, acceder a él a través de este pin.
- 5V. El suministro regulado de energía usado para alimentar al microcontrolador y otros componentes de la placa. Este puede venir o desde VIN a través de un regulador en la placa, o ser suministrado por USB u otro suministro regulado de 5 V.
- 3V3. Un suministro de 3.3 V generado por el chip FTDI de la placa. La corriente máxima es de 50 mA.
- GND. Pines de Tierra.

Memoria

El ATmega168 tiene 16 KB de memoria Flash para almacenar código (de los cuales 2 KB se usa para el "bootloader"). Tiene 1 KB de SRAM y 512 bytes de EEPROM (que puede ser leida y escrita con la librería EEPROM) (Rafael Enríquez Herrador,2009).

Entrada y Salida

Cada uno de los 14 pines digitales del Diecimila puede ser usado como entrada o salida, usando funciones pinMode(), digitalWrite() y digitalRead()2. Operan a 5 voltios. Cada pin puede proporcionar o recibir un máximo de 40 mA y tiene una resistencia interna "pull-up" (desconectada por defecto) de 20-50 KOhms. Además, algunos pines tienen funciones especiales: (Rafael Enríquez Herrador,2009).

- Serial: 0 (Rx) y 1 (Tx). Usados para recibir (Rx) y transmitir (Tx) datos TTL en serie. Estos pines estan conectados a los pines correspondientes del chip FTDI USB-a-TTL Serie.
- Interruptores externos: 2 y 3. Estos pines pueden ser con_gurados para disparar un interruptor en un valor bajo, un margen creciente o decreciente, o un cambio de valor. Mirar la función attachInterrupt().
- PWM: 3, 5, 6, 9, 10 y 11. Proporcionan salida PWM de 8 bits con la función analogWrite().
- SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Estos pines soportan comunicación
- SPI, la cual, aunque proporcionada por el hardware subyacente, no está actualmente incluida en el lenguaje Arduino.
- LED: 13. Hay un LED empotrado conectado al pin digital 13. Cuando el pin está a valor HIGH, el LED está encendido, cuando el pin está a LOW, está apagado.

Comunicación

El Arduino tiene un número de infraestructuras para comunicarse con un ordenador, otro Arduino, u otros microcontroladores. El ATmega168 provee comunicación serie UART TTL (5 V), la cual está disponible en los pines digitales 0 (Rx) y 1 (Tx). Un FTDI FT232RL en la placa canaliza esta comunicación serie al USB y los drivers FTDI (incluidos con el software Arduino) proporcionan un puerto de comunicación virtual al software del ordenador. El software Arduino incluye un monitor serie que permite a datos de texto simple ser enviados a y desde la placa Arduino.

El ATmega168 también soporta comunicación 12C (TWI) y SPI. El software Arduino incluye una librería Wire para simplificar el uso del bus 12C. Para usar la comunicación SPI, consultar el esquema del ATmega168 (Rafael Enríquez Herrador, 2009).

Programación

El Arduino nano puede ser programado con el software Arduino.
(Rafael Enríquez Herrador,2009).

Reseteo Automático (Software)

En lugar de requerir una pulsación física del botón de reset antes de una subida, la versión 0009 del software Arduino usa esta capacidad para permitirte cargar código simplemente presionando el botón upload en el entorno Arduino. Esto significa que el bootloader puede tener un tiempo de espera más corto, mientras la bajada del DTR puede ser coordinada correctamente con el comienzo de la subida.

Mientras esté programado para ignorar datos “malformados” (por ejemplo, cualquiera excepto una subida de código nuevo), interceptará los primeros

bytes de datos enviados a la placa después de abrir la conexión. Si una rutina que se ejecuta en la placa recibe una configuración una vez u otros datos cuando empieza, asegurarse de que el software con el que se comunica espera un segundo después de abrir la conexión y antes de enviar estos datos (Rafael Enríquez Herrador,2009).

Características Físicas

La máxima longitud y anchura del Diecimila PCB son 2.7 y 2.1 pulgadas respectivamente, con el conector USB y el conector de alimentación que se extienden más alla de las primeras dimensiones. Tres agujeros de tornillo permiten a la placa atornillarse a una super_cie o caja (Rafael Enríquez Herrador,2009).

2.2.10.3 Estructura de un sketch

La estructura básica del lenguaje de programación de Arduino es bastante simple y se compone de al menos dos partes. Estas dos partes necesarias, o funciones, encierran bloques que contienen declaraciones, estamentos o instrucciones.

```
void setup()
{
estamentos;
}
void loop()
{
estamentos;
}
```

En donde setup() es la parte encargada de recoger la configuración y loop() es la que contienen el programa que se ejecutara cíclicamente (de ahí el termino loop –bucle-). Ambas funciones son necesarias para que el programa trabaje. La función de configuración debe contener la declaración de las variables. Es la primera función a ejecutar en el programa, se ejecuta solo una vez, y se utiliza para configurar o inicializar pinMode (modo de trabajo de las E/S), configuración de la comunicación en serie y otras.

La función bucle (loop) siguiente contiene el código que se ejecutara continuamente (lectura de entradas, activación de salidas, etc) Esta función es el núcleo de todos los programas de Arduino y la que realiza la mayor parte del trabajo (José Manuel Ruiz Gutierrez, 2011).

Setup()

La función setup() se invoca una sola vez cuando el programa empieza. Se utiliza para inicializar los modos de trabajo de los pins, o el puerto serie. Debe ser incluido en un programa aunque no haya declaración que ejecutar. Así mismo se puede utilizar para establecer el estado inicial de las salidas de la placa.

```
void setup()
{
pinMode(pin, OUTPUT); // configura el 'pin' como
salida
digitalWrite(pin, HIGH); // pone el ‘pin’ en estado
// HIGH
}
```

(Brian W. Evans, 2007)

Loop()

Después de llamar a setup(), la función loop() hace precisamente lo que sugiere su nombre, se ejecuta de forma cíclica, lo que posibilita que el programa este respondiendo continuamente ante los eventos que se produzcan en la placa.

```
void loop()
{
digitalWrite(pin, HIGH); // pone en uno (on, 5v) el´pin´
delay(1000); // espera un segundo (1000 ms)
digitalWrite(pin, LOW); // pone en cero (off, 0v.) el
```

```
delay(1000); // ´pin´
}
```
(Brian W. Evans, 2007)

Funciones

Una función es un bloque de código que tiene un nombre y un conjunto de instrucciones que son ejecutadas cuando se llama a la función. Son funciones setup() y loop() de las que ya se ha hablado.

Las funciones de usuario pueden ser escritas para realizar tareas repetitivas y para reducir el tamaño de un programa. Las funciones se declaran asociadas a un tipo de valor. Este valor será el que devolverá la función, por ejemplo 'int' se utilizara cuando la función devuelva un dato numérico de tipo entero. Si la función no devuelve ningún valor entonces se colocara delante la palabra “void”, que significa “función vacía”. Después de declarar el tipo de dato que devuelve la funcion se debe escribir el nombre de la función y entre paréntesis se escribirán, si es necesario, los parámetros que se deben pasar a la función para que se ejecute.

```
tipo nombreFunción(parámetros)
{
instrucciones;
}
```

La función siguiente devuelve un numero entero, delayVal() se utiliza para poner un valor de retraso en un programa que lee una variable analógica de un potenciómetro conectado a una entrada de Arduino.

Al principio se declara como una variable local, ´v´ recoge el valor leído del potenciómetro que estará comprendido entre 0 y 1023, luego se divide el valor por 4 para ajustarlo a un margen comprendido entre 0 y 255, finalmente se devuelve el valor ´v´ y se retornaría al programa principal.

```
int delayVal()
{
int v; // crea una variable temporal 'v'
v= analogRead(pot); // lee el valor del potenciómetro
v /= 4; // convierte 0-1023 a 0-255
return v; // devuelve el valor final
}
```

(Brian W. Evans, 2007)

{} entre llaves

Las llaves sirven para definir el principio y el final de un bloque de instrucciones. Se utilizan para los bloques de programacion setup(), loop(), if.., etc.

```
type funcion()
{
instrucciones;
}
```

Una llave de apertura "{" siempre debe ir seguida de una llave de cierre "}", si no es así el compilador dará errores.

El entorno de programación de Arduino incluye una herramienta de gran utilidad para comprobar el total de llaves. Solo tienes que hacer click en el punto de inserción de una llave abierta e inmediatamente se marca el correspondiente cierre de ese bloque (llave cerrada) (Brian W. Evans, 2007).

; punto y coma

El punto y coma ";" se utiliza para separar instrucciones en el lenguaje de programación de Arduino. También se utiliza para separar elementos en una instrucción de tipo "bucle for".

```
int x = 13; // declara la variable 'x' como tipo
```

// entero de valor 13

(Brian W. Evans, 2007).

/*… */ bloque de comentarios

Los bloques de comentarios, o comentarios multi-linea son áreas de texto ignorados por el programa que se utilizan para las descripciones del código o comentarios que ayudan a comprender el programa. Comienzan con / * y terminan con * / y pueden abarcar varias líneas.

/* esto es un bloque de comentario no se debe olvidar
cerrar los comentarios estos deben estar equilibrados */

Debido a que los comentarios son ignorados por el compilador y no ocupan espacio en la memoria de Arduino pueden ser utilizados con generosidad. También pueden utilizarse para "comentar" bloques de código con el propósito de anotar informaciones para depuración y hacerlo más comprensible para cualquiera (Brian W. Evans, 2007).

// línea de comentarios

Una línea de comentario empieza con / / y terminan con la siguiente línea de código. Al igual que los comentarios de bloque, los de línea son ignoradas por el programa y no ocupan espacio en la memoria.

// Esto es un comentario

Una línea de comentario se utiliza a menudo después de una instrucción, para proporcionar más información acerca de lo que hace esta o para recordarla más adelante (Brian W. Evans, 2007).

Variables

Una variable es una manera de nombrar y almacenar un valor numérico para su uso posterior por el programa. Como su nombre indica, las variables son números que se pueden variar continuamente en contra de lo que ocurre con las constantes cuyo valor nunca cambia. Una variable debe ser declarada y, opcionalmente, asignarle un valor. El siguiente código de ejemplo declara una

variable llamada **variableEntrada** y luego le asigna el valor obtenido en la entrada analógica del PIN2:

```
int variableEntrada = 0; // declara una variable y le
// Asigna el valor 0
variableEntrada = analogRead(2); // la variable recoge
//el valor analógico del PIN2
```

'variableEntrada' es la variable en sí. La primera línea declara que será de tipo entero “int”. La segunda línea fija a la variable el valor correspondiente a la entrada analógica PIN2. Una vez que una variable ha sido asignada, o re-asignada, usted puede probar su valor para ver si cumple ciertas condiciones, o puede utilizar directamente su valor. Como ejemplo ilustrativo veamos tres operaciones útiles con variables: el siguiente código prueba si la variable “**entradaVariable**” es inferior a 100, si es cierto se asigna el valor 100 a “**entradaVariable**” y, a continuación, establece un retardo (**delay**) utilizando como valor “**entradaVariable**” que ahora será como mínimo de valor 100:

```
if (entradaVariable < 100) // pregunta si la variable es
{ //menor de 100
entradaVariable = 100; // si es cierto asigna el valor
} //100
delay(entradaVariable); // usa el valor como retardo
```

(Brian W. Evans, 2007).

Declaración de variables

Todas las variables tienen que declararse antes de que puedan ser utilizadas. Para declarar una variable se comienza por definir su tipo como int (entero), long (largo), float (coma flotante), etc, asignándoles siempre un nombre, y, opcionalmente, un valor inicial.

Esto solo debe hacerse una vez en un programa, pero el valor se puede cambiar en cualquier momento usando aritmética y reasignaciones diversas.
El siguiente ejemplo declara la variable entradaVariable como una variable de tipo entero “int”, y asignándole un valor inicial igual a cero. Esto se llama una asignación.

```
int entradaVariable = 0;
```

Una variable puede ser declarada en una serie de lugares del programa y en función del lugar en donde se lleve a cabo la definición esto determinara en que partes del programa se podrá hacer uso de ella (Brian W. Evans, 2007).

Tipos de datos

byte

Byte almacena un valor numérico de 8 bits sin decimales. Tienen un rango entre 0 y 255.

```
byte unaVariable = 180; // declara 'unaVariable' como
// de tipo byte
```

Int

Enteros son un tipo de datos primarios que almacenan valores numéricos de 16 bits sin decimales comprendidos en el rango
32,767 to -32,768.

```
int unaVariable = 1500; // declara 'unaVariable' como
// una variable de tipo entero
```

Long

El formato de variable numérica de tipo extendido “long” se refiere a números enteros (tipo 32 bits) sin decimales que se encuentran dentro del rango -2147483648 a 2147483647.

```
long unaVariable = 90000; // declara 'unaVariable' como
```

// de tipo long

Float

El formato de dato del tipo “punto flotante” “float” se aplica a los números con decimales. Los números de punto flotante tienen una mayor resolución que los de 32 bits con un rango comprendido

3.4028235E +38 a +38-3.4028235E.

float unaVariable = 3.14; // declara 'unaVariable' como

// de tipo flotante

Arrays

Un array es un conjunto de valores a los que se accede con un numero índice. Cualquier valor puede ser recogido haciendo uso del nombre de la matriz y el número del índice. El primer valor de la matriz es el que está indicado con el índice 0, es decir el primer valor del conjunto es el de la posición 0. Un array tiene que ser declarado y opcionalmente asignados valores a cada posición antes de ser utilizado.

int miArray[] = {valor0, valor1, valor2...}

Del mismo modo es posible declarar una matriz indicando el tipo de datos y el tamano y posteriormente, asignar valores a una posición especifica:

int miArray[5]; // declara un array de enteros de 6

// Posiciones

miArray[3] = 10; // asigna l valor 10 a la posición 4

Para leer de un array basta con escribir el nombre y la posición a leer:

x = miArray[3]; // x ahora es igual a 10 que está en

// La posición 3 del array

Las matrices se utilizan a menudo para estamentos de tipo bucle, en los que la variable de incremento del contador del bucle se utiliza como indice o puntero del array. El siguiente ejemplo usa una matriz para el parpadeo de un LED.

Utilizando un bucle tipo for, el contador comienza en cero 0 y escribe el valor que figura en la posición de índice 0 en la serie que hemos escrito dentro del array parpadeo[], en este caso 180, que se envía a la salida analógica tipo PWM configurada en el PIN10, se hace una pausa de 200 ms y a continuación se pasa al siguiente valor que asigna el índice "i".

```
int ledPin = 10; // LED en el PIN 10
byte parpadeo[] = {180, 30, 255, 200, 10, 90, 150, 60};
// array de 8 valores
void setup()
{
pinMode(ledPin, OUTPUT); // configura la salida
}
void loop()
{
for(int i=0; i<7; i++)
{
analogWrite(ledPin, parpadeo[i]);
delay(200); // espera 200ms
}
}
```

(Brian W. Evans, 2007).

Aritmética

Los operadores aritméticos que se incluyen en el entorno de programación son suma, resta, multiplicación y división. Estos devuelven la suma, diferencia, producto, o cociente (respectivamente) de dos operando.

```
y = y + 3; x = x - 7; i = j * 6; r = r / 5;
```

La operación se efectúa teniendo en cuenta el tipo de datos que hemos definido para los operando (int, dbl, float, etc..), por lo que, por ejemplo, si definimos 9 y 4 como enteros “int”, 9 / 4 devuelve de resultado 2 en lugar de 2,25 ya que el 9 y 4 se valores de tipo entero

“int” (enteros) y no se reconocen los decimales con este tipo de datos.

Esto también significa que la operación puede sufrir un desbordamiento si el resultado es mas grande que lo que puede ser almacenada en el tipo de datos. Recordemos el alcance de los tipos de datos numéricos que ya hemos explicado anteriormente.

Si los operando son de diferentes tipos, para el cálculo se utilizara el tipo más grande de los operando en juego. Por ejemplo, si uno de los números (operando) es del tipo float y otra de tipo integer, para el cálculo se utilizara el método de float es decir el método de coma flotante (Brian W. Evans, 2007).

Asignaciones compuestas

Las asignaciones compuestas combinan una operación aritmética con una variable asignada. Estas son comúnmente utilizadas en los bucles tal como se describe más adelante. Estas asignaciones compuestas pueden ser:

x ++ // igual que x = x +1, o incremento de x en +1

x -- // igual que x = x - 1, o decremento de x en -1

x += y // igual que x = x + y, o incremento de x en +y

x -= y // igual que x = x - y, o decremento de x en -y

x *= y // igual que x = x * y, o multiplica x por y

x /= y // igual que x = x / y, o divide x por y operadores de comparación

Las comparaciones de una variable o constante con otra se utilizan con frecuencia en las estructuras condicionales del tipo if.. Para testear si una condición es verdadera. En los ejemplos que siguen en las próximas páginas se verá su utilización práctica usando los siguientes tipo de condicionales:

x == y // x es igual a y

x != y // x no es igual a y

x < y // x es menor que y

x > y // x es mayor que y

x <= y // x es menor o igual que y

x >= y // x es mayor o igual que y operadores lógicos

Los operadores lógicos son usualmente una forma de comparar dos expresiones y devolver un VERDADERO o FALSO dependiendo del operador. Existen tres operadores lógicos, AND (&&), OR (||) y NOT (!), Que a menudo se utilizan en estamentos de tipo if:

Lógica AND:

if (x > 0 && x < 5) // cierto sólo si las dos

Expresiones // son ciertas

Lógica OR:

if (x > 0 || y > 0) // cierto si una cualquiera de las

// Expresiones es cierta

Lógica NOT:

if (!x > 0) // cierto solo si la expresión es

// Falsa

(Brian W. Evans, 2007).

(Brian W. Evans, 2007).

2.3 HIPÓTESIS

2.3.1 Hipótesis general.

El sistema electrónico de control de temperatura y humedad relativa reduce el tiempo y mejora el secado de carne de alpaca.

2.3.2 Hipótesis específicas

- El sistema de control de temperatura y humedad relativa, controla la temperatura en el secado de carne de alpaca a 41.0°C.
- El sistema de control de temperatura y humedad relativa, controla la humedad relativa a 23.5 %
- El sistema de control de temperatura y humedad relativa, proporciona 28.65% de la materia seca de la carne de alpaca
- El sistema de control de temperatura y humedad relativa, seca la carne de alpaca en 6 horas que es menor a 24 horas del secado tradicional.

2.4 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

2.4.1 Sistema de control:

Es la combinación de componentes que actúan conjuntamente y cumplen un determinado objetivo.

Fig. 2.26: Sistema con entrada y salida (Fuente: elaboración propia)

2.4.2 Cuasi hermético

Que se cierra de modo que casi no permite pasar el aire ni los fluidos: cámara cuasi hermética.

2.4.3 Charqui

El charqui es la carne deshidratada que se cubre con sal y se expone al sol. Se usaba antaño, se usa en la actualidad para conservar la carne por períodos prolongados en la serranía del país.

2.4.4 Olor y sabor

El sabor y olor son penetrantes y es usado como condimentos exóticos y delicioso saborizante.

2.4.5 Deshidratación

La deshidratación de alimento es el proceso de extracción del agua que contiene mediante la circulación de aire caliente, lo que detiene el crecimiento de enzimas y microorganismos que lo deterioran.

2.4.6 Materia seca

Es la parte que resta de un material tras extraer toda el agua posible a través de un calentamiento hecho en condiciones de laboratorio. Es una noción usada principalmente en biología y agricultura.

2.4.7 Temperatura

La temperatura es una magnitud referida a las nociones comunes de calor medible mediante un termómetro.

2.4.8 Humedad relativa

Relación entre la cantidad de vapor de agua que tiene una masa de aire y la máxima que podría tener.

2.5 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

2.5.1 Variable independiente:

El sistema de control de temperatura y humedad relativa (Temperatura y humedad relativa)

2.5.2 Dependiente:

- Materia seca de la masa de carne de alpaca
- Tiempo de secado.

2.5.3 Definición operativa de variables e indicadores

VARIABLE	TIPODE VARIABLE	OPERACIONALIZACIÓN	CATEGORIAS O DIMENCIONES	DEFINICIÓN
1) V.I Utilizando el sistema de control de temperatura y humedad relativa, aprovechar la energía del sol.	Cuantitativa	Forma como se utiliza la energía solar en el sistema controlado, para secar productos pecuario	✓ Forma como se utiliza la energía solar con el sistema controlado electrónico para deshidratar carne de alpaca y producir Charqui.	✓ Uso de la radiación solar para calentar el colector, trasferir este calor al flujo de aire y secar la carne. ✓ Uso del control PID de la temperatura, para disminuir elpeso de la masa de carne de alpaca menor al 28.65% de su peso inicial, en la ciudad de Huancavelica. ✓ Uso del sistema electrónico controlado, para disminuir el tiempo de secado de la masa de carne de alpaca, en la producción doméstica de Charqui a en la ciudad de Huancavelica.
INDICADOR	NIVEL DE MEDICIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTO	VALOR
Control de la temperatura	De razón	°C	Termómetro	Bajo < 40 40≤ Medio ≤ 60 Alto ≥ 60
Control de la Humedad relativa	De razón	% de humedad	Medidor de humedad Higrómetro	Bajo < 15 15 ≤ Medio ≤ 30 Alto ≥ 30
Control de Tiempo	De razón	Hora (h).	Reloj	Bajo < 5 5≤ Medio ≤ 24 Alto ≥ 24

2.6 DEFINICIÓN OPERATIVA DE VARIABLES E INDICADORES

VARIABLE	TIPODE VARIABLE	OPERACIONALIZACIÓN	CATEGORIAS O DIMENCIONES	DEFINICIÓN
2) V.D Secado del producto agropecuario con el sistema de control de temperatura y humedad relativa	Cuantitativa	Formas de utilización del sistemas electrónico controlado , para la reducción del peso de los productos agropecuarios con la energía solar	✓ Deshidratación de la masa de carne de alpaca en el sistema electrónico controlad, utilizando la energía solar.	Charqui : carne salada y secada al aire
INDICADOR	NIVEL DE MEDICIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTO	VALOR
Materia seca de la masa de carne de alpaca.	De razón	Kg	Balanza	Bajo < 20 20 ≤ Medio ≤ 50 Alto ≥ 40

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO

Provincia de Huancavelica, está ubicada en la sección central del departamento y limita al norte con la provincia de Tayacaja, al sur con la de Castrovirreyna, al este con Angaraes y Acobamba, y al oeste con los departamentos de Urna y Junín. Sus zonas altas están dedicadas a la ganadería de vacunos, ovinos y camélidos, mientras que las partes bajas y más cálidas destacan por sus cultivos de cebada, trigo, papa y maíz. Esta es también una importante zona minera, con yacimientos de plata, plomo, cobre, zinc y mercurio (Santa Bárbara). Su capital, la ciudad de Huancavelica, se ubica sobre la margen derecha del río del mismo nombre (http://www.huancavelica.org/provincias).

El ámbito del plan de Tesis está circunscrito a lo siguiente:

3.1.1 Geográficamente

Región : Huancavelica

Provincia : Huancavelica

Distrito : Huancavelica

Longitud : Longitud este 77.018

Latitud : Latitud sur 12.19

Altitud : 3676 m.s.n.m.

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

En la investigación se utilizó la tecnología avanzada para la conversión de la energía electromagnética proveniente del sol en energía eléctrica, así mismo con el avance tecnológico se encuentra en el mercado nacional los paneles fotovoltaicos de última generación para la conversión de energía electromagnética en energía eléctrica, al utilizar el sistema de secado automático para secar la carne de alpaca, aprovechando la energía proveniente del sol, por medio de transferencia de calor del interior del sistema hacia el medio ambiente, se crea una diferencia de temperatura y diferencia de humedad, obteniéndose el secado de la carne en forma automática, por lo que la investigación es tipo cuantitativo .

Investigación aplicada es la utilización de los conocimientos en la práctica, para aplicarlos, en la mayoría de los casos, en provecho de la sociedad. Buscan una utilización directa e inmediata. Pueden ser exploratorias, descriptivas y aplicadas

En la investigación se hará uso de la tecnología avanzada de micro controladores y sensores para controlar la temperatura y la humedad del sistema en el proceso de secado del charqui; por lo que la investigación es tipo Aplicada.

En resumen la investigación es de tipo cuantitativo, aplicativo.

3.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Estudios explicativos, tienen la finalidad de explicar el comportamiento de una variable en función de otra u otras. Pretenden señalar que la ocurrencia de un fenómeno depende de otro; es decir establecer relación causa-efecto. Se apoyan en criterios de causalidad y requieren de control metodológico y estadístico. Por tanto, se llevan a cabo por medio de estudios experimentales y su estadística es multivariada. Se la aplica para descartar asociaciones casuales, aleatorias, espurias, entre variables.

De acuerdo a las variables que se utiliza en la investigación, los mismos que son la temperatura y humedad en el interior del sistema, la misma que depende del punto de comparación del secado de la carne de alpaca ideal con la temperatura y humedad de

control del sistema, existe una relación directa de las mismas y el nivel de investigación es explicativo

El nivel de investigación es Explicativo, ya que es una investigación de causa – efecto.

3.4. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Se logra un buen ambiente de secado de carne de alpaca, para aumentar la temperatura de la localidad de Huancavelica en el triple de la temperatura ambiente y esto se ha logrado con el sistema de secado automático, del mismo modo se ha logrado disminuir la humedad relativa en el interior del sistema al 23%.

Para reducir el tiempo de secado que se hace en medio tradicional con el sistema automático de secado diseñado, y evaporar el 80% de agua que contiene la carne de alpaca se ha diseñado el sistema de secado como se detalla:

- Secador de tipo tetraedro de base rectangular de 0.8mX0.6m y de altura de 0.4m, encerrando un volumen de 0.192m^3.
- Las paredes de este tetraedro son de vidrio de 0.4mm de espesor, se escogió el vidrio por tener las mejores características de absorción y transmisión de calor.

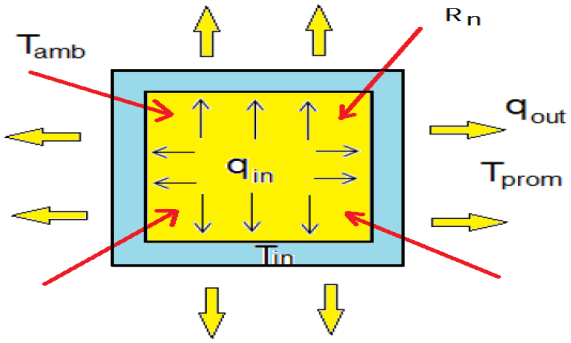


Fig. 3.1: Sistema de balance energético (elaboración propia)

De las leyes de la Física:

Rn, esa la radiación neta y está dada por

$$R_n = S_s \cdot [I \cdot (\alpha + \tau \cdot \alpha_s)] + S_c \cdot \sigma \cdot \tau_{ter} \cdot (\varepsilon_{atm} \cdot T_{atm}^4 - \varepsilon_{ter} \cdot T_c^4) \quad (W) \qquad 3.1$$

Siendo:

Ss: superficie captadora de la radiación solar (m^2)

I: radiación solar incidente (W/m^2)

α: coeficiente de absorción de la cubierta para la radiación solar

τ: coeficiente de transmisión del material de cubierta para la radiación solar

Sc: superficie de suelo cubierta (m^2)

σ: constante de Stefan-Boltzman ($5{,}67 \times 10^{-8}$ $W/m^2 \cdot K^4$)

τ_{ter}: coeficiente de transmisión del material de cubierta para la radiación térmica.

ε_{ter}: emisividad del material de cubierta para la radiación térmica

Tc: temperatura absoluta de la cubierta (K).

$$\alpha_S = 1 - \rho_S \qquad 3.2$$

El coeficiente de absorción del suelo a la radiación solar se puede obtener a partir de su reflexión a la radiación solar o albedo ρ_s (Tabla 3.2).

La temperatura de emisión de energía de la atmósfera puede estimarse a partir de la siguiente expresión

$$T_{atm} = f_n T_e + 0.0552(1 - f_n) T_e^{1.5} \qquad 3.3$$

Siendo f_n el factor de nubosidad (1 para cielo totalmente cubierto y 0 para cielos claros) y Te la temperatura absoluta exterior (K).

La emisividad de la atmósfera se puede calcular como:

$$\varepsilon_{atm} = 1 - 0{,}35 e^{(-10 e_e / T_e)} \qquad 3.4$$

t_e la temperatura exterior (°C).

Siendo la presión parcial del vapor de agua en el aire en el exterior:

$$e_e = e_{se} HR_e \qquad 3.5$$

HR_e: humedad relativa exterior

La presión parcial del vapor saturante en el aire en el exterior se puede calcular mediante la fórmula de Magnus-Tetens:

$$e_s = 6.1078 e^{\frac{17.269T}{T+273}} \qquad 3.6$$

Tabla 3.1. Absorbividad **(α)**, emisividad **(ε),** transmisividad **(τ)** y reflectividad **(&)** para diferentes tipos de radiación; coeficiente de pérdidas de calor **(U)** y densidad **(ρc)** de los materiales comúnmente utilizados como cubierta de invernaderos.

Materiales utilizados en cubiertas simples, en dobles paredes o como pantallas térmicas	Espesor	Radiación solar (300-2.500 nm)			Radiación visible (380-760 nm)			Radiación térmica (2.500-40.000 nm)			U	ρc
	(mm)	(α = ε)	(τ)	(δ)	(α = ε)	(τ)	(δ)	(α = ε)	(τ)	(δ)	(W/m²·°C)	(g/cm³)
Vidrio hortícola (VH)	4	0,03	0,89	0,08	0,01	0,91	0,08	0,90	0,00	0,10	6,7	2,40
Poliéster (PRV)	1	0,01-0,02	0,89-0,92	0,07-0,09	0,01	0,93	0,06	0,64-0,69	0,27-0,32	0,04		1,50
PVC rígido	18	0,11	0,62	0,27	0,02	0,61	0,37	0,92	0,01	0,07	3,8	1,30
Polimetacrilato de metilo (PMMA)	8	0,06	0,82	0,12	0,01	0,92	0,07	0,98	0,00	0,02	3,4	1,19
Policarbonato (PC)	4	0,08-0,11	0,78	0,14-0,15	0,06-0,10	0,75-0,79	0,15	0,89-0,98	0,02-0,03	0,09	3,5	0,17-0,20
Polietileno sin aditivos (PE)	0,1	0,01	0,88-0,91	0,08-0,11	0,01	0,88-0,91	0,08-0,11	0,04-0,19	0,79-0,84	0,02	9,1	0,92
Polietileno de baja densidad (PEbd)	0,18	0,03	0,88	0,09	0,01	0,89	0,10	0,13-0,40	0,53-0,80	0,07	9,4-16,2	0,91
Polietileno de larga duración (PEld)	0,1	0,03	0,88	0,09	0,01	0,89	0,10	0,20-0,40	0,53-0,76	0,04-0,07	9,4-16,2	0,92
Polietileno infrarrojo (PEir)	0,1	0,03	0,89	0,08	0,01	0,89	0,10	0,77	0,20	0,03	8,6-13,0	0,92
Polietileno térmico (PEt)	0,18	0,03	0,89	0,08	0,02	0,90	0,08	0,80	0,10	0,03	8,6-13,0	0,92
Copolímeros EVA	0,1	0,02	0,89-0,91	0,07-0,09	0,00	0,90-0,92	0,08-0,10	0,42-0,58	0,39-0,55	0,03	7,8	0,94
Coextrusiones PE-EVA-PE	0,2	0,02-0,04	0,82-0,89	0,09-0,14	0,01	0,82-0,85	0,14-0,17	0,59	0,38	0,03	8,8-10,4	0,93
PVC plastificado	0,1	0,02	0,91	0,07	0,01	0,92	0,07	0,62	0,06	0,32	7,7	1,3
PVC armado	0,15	0,06	0,73-0,74	0,20-0,21	0,03	0,73-0,76	0,21-0,25	0,53-0,76	0,09-0,32	0,15	6,5	1,3
Polipropileno (PP)	0,8	0,06	0,74	0,20	0,04	0,73	0,23	0,69-0,71	0,21-0,26	0,05-0,08	11,2	0,91
VH+VH	4+4	0,15	0,72	0,13	0,03	0,82	0,15	0,83	0,00	0,17	3,2	
VH+PE	3,4+0,1	0,04	0,84	0,12	0,01	0,86	0,13	0,87	0,01	0,12	4,2	
VH+EVA	3,4+0,1	0,04	0,84	0,12	0,02	0,86	0,12	0,87	0,01	0,12	4,0	
PE+PE	0,1+0,1	0,03	0,83	0,14	0,00	0,84	0,16	0,28	0,66	0,06	6,8	
PE+EVA	0,1+0,1	0,03	0,87	0,10	0,00	0,88	0,12	0,59-0,70	0,27-0,38	0,03	9,4-10,2	
Pantalla aluminizada en las dos caras	0,04							0,50	0,10	0,40	7,6	
Cara aluminizada hacia el suelo	0,03							0,45	0,23	0,32	7,9	
Cara aluminizada hacia el cielo	0,03							0,50	0,23	0,27	8,1	

Tabla 3.2. Valores del albedo para diferentes superficies de suelo

Tipo de superficie	Albedo (ρ_{sue})
Arcilla húmeda	0,02-0,08
Arcilla seca	0,16
Arena húmeda	0,09
Arena seca	0,18
Césped	0,15-0,28
Rastrojo	0,15-0,17
Tela blanca	0,30

Fuente: Diego L. Valera, Francisco D. Molina y Antonio J. Álvarez

La temperatura de emisión de energía de la atmósfera puede estimarse a partir de la siguiente expresión

Calculando Rn= 6.654KW

- Determinamos la potencia que proporciona el calefactor en el interior del Sistema de secado

  $q = 0.24RI^2$ Ca 3.7

  La resistencia del calefactor R= 8Ω

  La corriente de consumo del calefactor es I=4A

  $q = VI = 24Vx4A = 96W$ 3.8

  Las resistencias se colocaron en paralelo, sumando la potencia de 192W.

- El balance energético se determina a continuación.

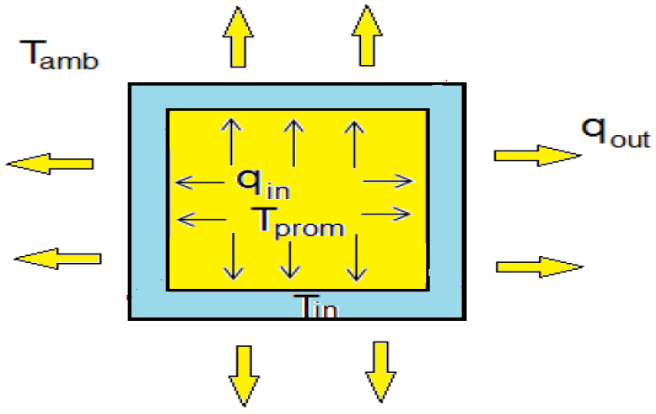


Fig. 3.2 Transferencia de calor en el deshidratador solar
fuente ERIKA JOHANNA GIRALDO SEPÚLVEDA

De la ley de transferencia de Fourier

$$KA\frac{dT}{dx} = q \quad 3.9$$

$$K\int_{Tin}^{Tpro} dT = \frac{q}{A}\int_0^x dx \quad 3.10$$

Resolviendo: $q_{in} = \frac{T_{in}-T_{Pro}}{\frac{A}{Kx}}$ 3.11

Siendo:

K= conductividad térmica (w/mK)

A= Área (m^2)

T= temperatura (K)

X= espesor (m)

q= flujo de calor (W)

Rcond= Resistencia de conducción=A/(Kx)

De la primera ley de termodinámica

$$q_{out} = (T_{prom} - T_{amb})A \quad 3.12$$

Reordenando

$$q_{out} = \frac{T_{prom}-T_{amb}}{\frac{1}{h_c A}} \quad 3.13$$

Tamb= Temperatura ambiente

Tprom=temperatura promedio del deshidratador

hc=coeficiente de convección

Rconv= Resistencia de convección = 1/(hcA)

De la primera ley de newton

$$q_{in} - q_{out} = q_{neto} = C_T\frac{dT_{pro}}{dt} = C_e m \quad 3.14$$

Donde:

Ce= poder calorífico

m=masa

$$q_{in} - \frac{T_{prom}-T_{amb}}{R_{conv}} = C_T\frac{dT_{pro}}{dt} \quad 3.15$$

$$q_{in} = \frac{T_{prom} - T_{amb}}{R_{conv}} + C_T \frac{dT_{pro}}{dt} \quad 3.16$$

Si: $T_{pro} - T_{amb} = T$; derivando $dT_{pro} = dT$ 3.17

Remplazando en la ecuación anterior

$$q_{in} = \frac{T}{R_{conv}} + C_T \frac{dT_{pro}}{dt} \quad 3.18$$

$$\frac{q_{m(t)}}{C_T} = \frac{T}{C_T R_{conv}} + \frac{dT}{dt} \quad 3.19$$

Tomando la transformada

$$\frac{q_{in(S)}}{C_T} = ST_{(S)} + \frac{1}{R_{conv}C_T} T_{(s)} = T_{(S)}(S + \frac{1}{R_{conv}C_T}) \quad 3.20$$

Reordenando.

$$\frac{T_{(S)}}{q_{in(S)}} = \frac{{}^{1}/_{C_T}}{S + \frac{1}{R_{conv}C_T}} = \frac{{}^{1}/_{C_T}}{S + \frac{1}{\tau}} \quad 3.21$$

$$G_{(s)} = \frac{T_{(S)}}{q_{in(S)}} = \frac{K}{\tau S + 1} \quad 3.22$$

Multiplicando por el operador de retardo $e^{-t_d S}$

$$G_{(s)} = \frac{T_{(S)}}{q_{in(S)}} = \frac{K}{\tau S + 1} e^{-t_d S} \quad 3.23$$

K=ganancia propia o estática del proceso

td= tiempo de retardo

τ=constante de tiempo

- Simulación del sistema de secado de carne

Programa en Matlab.

```
% simulación del secador solar
% sin control
ta=15;
K=40;
tau=300;
s=tf('s');
%g=(k/t1)/(s+1/t1);
g=K/(tau*s+1);
G=g;
```

```
q=1;
t=0:2:2000;
T=step(q*G,t)+ta;
plot(t,T);grid on;
axis([0 max(t) 14 max(T)])
```

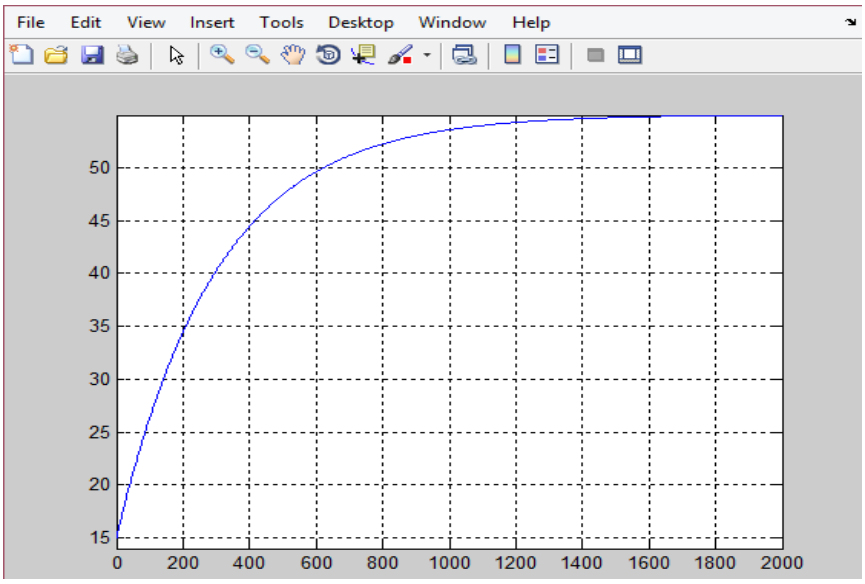


Fig.3.3. Simulación del sistema deshidratador sin control, fuente

Elaboración propia.

- De acuerdo al método de oscilación de Ziegler y Nichols, se determina los parámetros del controlador PID: Kc=553750, Pc= 0.01s,

  Circuito de simulación en Matlab, usando el simulink, se varía Kp, hasta que oscile, encontrándose Kc y Pc.

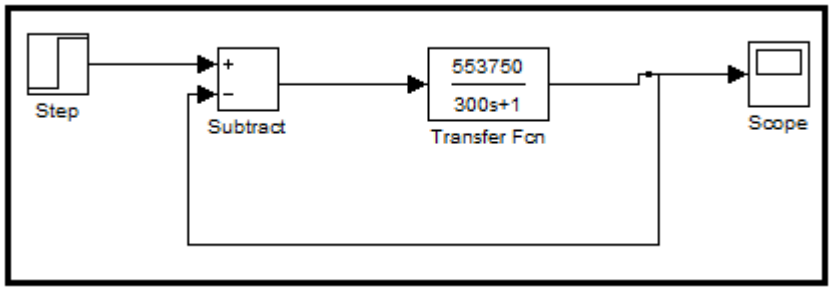


Fig 3.4 Circuito de simulación con control proporcional

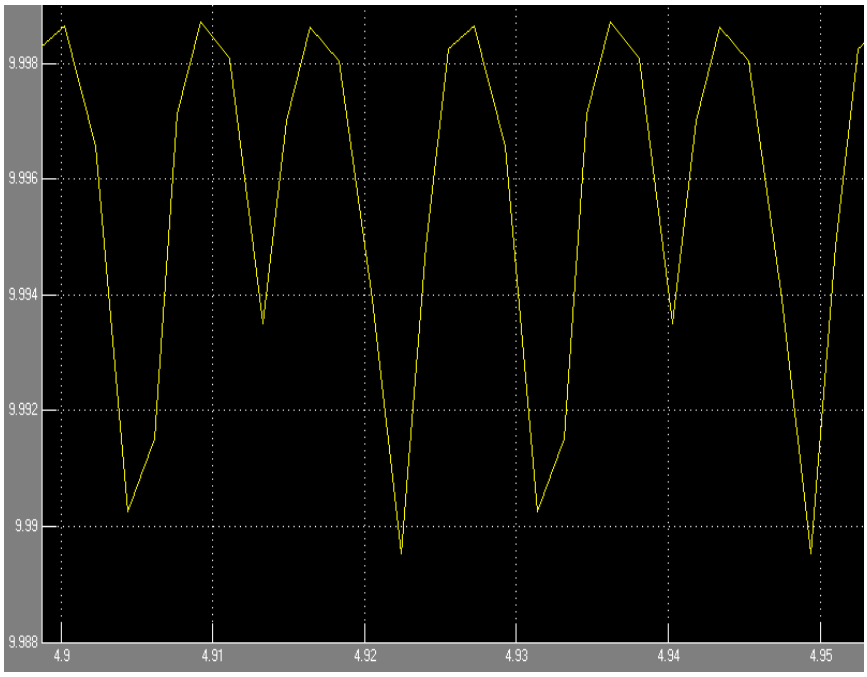


Fig. 3.5 Oscilación del sistema con control proporcional

La señal de salida oscila en un periodo de 0.01s.

Se determina los valores de Kp, Ti, y Td con las ecuaciones de la tabla 2.5

Siendo Kp=0.6Kc= 332250; Ti= 0.005 y Td= 0.0125

En controlador PID tiene la siguiente ecuación:

$$PID_{(s)} = K_p(1 + \frac{1}{0.005\,S} + 0.00125\,S) \qquad 3.24$$

- Se simula con el controlador PID

  Circuito de simulación

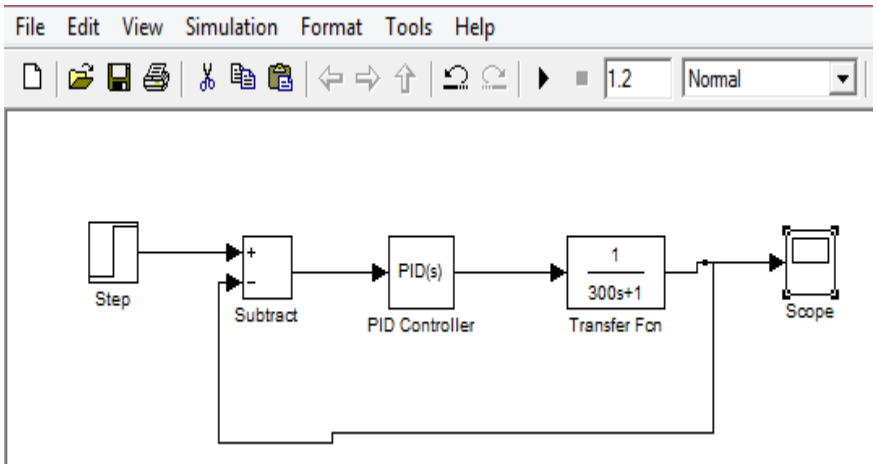


Fig. 3.6 Circuito de simulación con el control PID

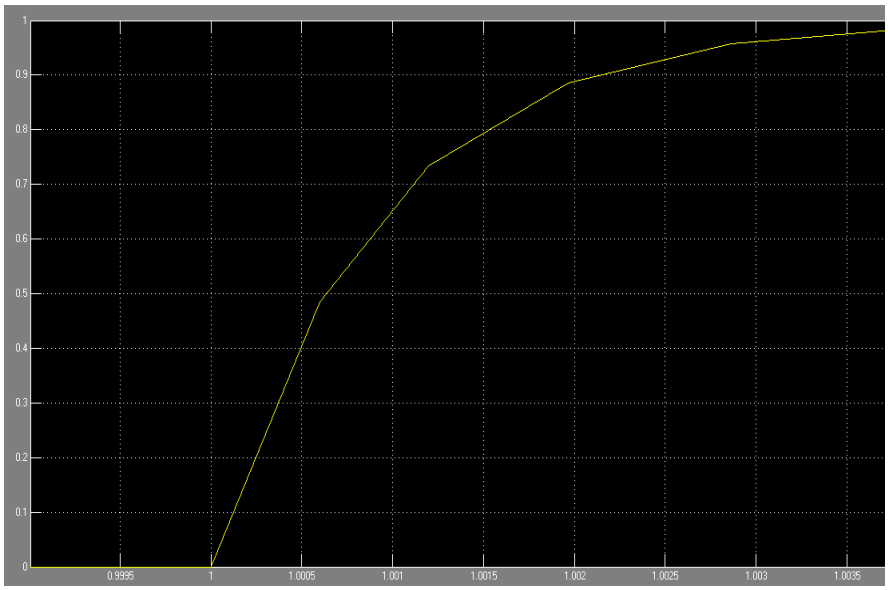


Fig. 3.7. Respuesta de la salida a un escalón unitario con el control PID

A fin de lograr un ambiente artificial que se aproxime a lo natural para el proceso de secado de la carne de alpaca en el interior del sistema electrónico de secado automático, se tendrá que comparar la temperatura y humedad con los valores de control de temperatura y humedad relativa en el interior del sistema electrónico de secado hermético, si hay diferencia se tendrá que corregir y para ello tendremos que utilizar el

control Proporcional Integral, por medio de los sensores y la circuitería a diseñar que cumpla la condición de control; por lo que se usa el método experimental.

El aprovechamiento de la energía del sol por medio de la radiación al interior del sistema de secado automático, la temperatura que alcanza en el interior del sistema es hasta el punto de control, del mismo modo con el control de la ventilación del interior se alcanza la humedad relativa que se requiere para secar la carne de alpaca, estos puntos de control se mantienen con la utilización del sistema de control PID, el mismo que lo realiza el Arduino.

3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de investigación es experimental:

- Se origina la causa con la manipulación de la variable independiente, aumento de la potencia en el sistema electrónico de secado hermético.
- Se mide el efecto de las variables dependientes, si hay diferencia, el sistema corrige para mantener las variables dependientes en el punto de secado ideal.
- Para el desarrollo dela investigación, se considera varias réplicas del proceso de secado de carne de alpaca a fin de lograr el secado ideal (caso natural por medio de la intemperie y el sol).

  Para ello se hará uso del diseño de una prueba previa y prueba posterior con un solo grupo (Pre Test y Post Test), tal como se muestra en la figura 3.8 siguiente:

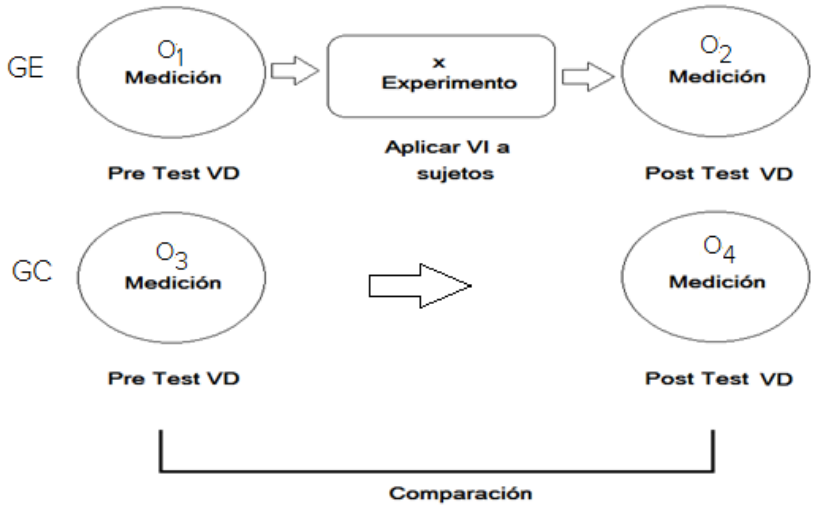


Figura 3.8, diseño de investigación, Cuasi experimental

Dónde: GE es el grupo experimento y GC es el grupo de comparación.

O_1= Medición de la variable dependiente antes del experimento, del grupo experimento.

x = se realiza el experimento.

O_2 = Medición de la variable dependiente después del experimento, del grupo experimento.

O_3 = Medición de la variable dependiente del grupo de control antes del experimento.

O_4 = Medición de la variable dependiente del grupo de control después del experimento

El proceso de desarrollo de la investigación contempló en primer lugar la recopilación de la información bibliográfica necesaria en textos de la física y de la especialidad como radiación solar, transferencia de calor, tipos secadores, dispositivos electrónicos, circuitos electrónicos. Durante el proceso de análisis y síntesis se tuvo que recurrir a diversas separatas digitales PDF donde se encuentran las características de la radiación solar y en particular de los paneles solares a fin de realizar un diseño electrónico adecuado para la recolección de datos.

Una vez recolectada la información secundaria o datos del secado de carne de alpaca a temperatura ambiente, datos de temperatura y humedad relativa del interior del sistema, se toman como marco de referencia para los datos experimentales de los grupos del

experimento, y no tener error de exceso con los valores obtenidos de los datos experimentados.

3.6. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

Población: Está constituida por las temperaturas, humedad relativa (medidas en el interior del sistema electrónico de secado N_1=157 para ambos casos) y la masa seca de carne de alpaca es de N_2=27; así mismo para el rendimiento del sistema se tomarán datos del peso al inicio (charqui húmedo) y al final del secado (charqui deshidratado).

Siendo la población total N =341.

Muestra: Masa seca, Temperaturas y humedad medidas y escogidas en forma aleatoria de todas las mediciones realizadas del interior del sistema de secado artificial.

El tamaño de la muestra, para una población finita de masa seca, lo establecemos de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z^2(P)(1-P)N}{(N-1)E^2+Z^2(P)(1-P)} \qquad 3.25$$

Dónde:

n = Tamaño de la muestra.

Z = Nivel de confianza o coeficiente de confianza.

E = Error absoluto o error permitido.

P= Proporción de unidades que poseen el atributo de interés en la población. Se conoce de antecedentes de estudios similares o de lo contrario de un estudio piloto. En caso no existiera estudios similares y no pudieran hacerse un estudio piloto se considera la máxima varianza cuando P = 0.5 con un error absoluto de E = 0.05.

Los valores Z más utilizados y sus niveles de confianza son							
Z	1.15	1.28	1.44	1.65	1.96	2	2.58
Nivel de confianza	75%	80%	85%	90%	95%	95.5%	99%

Tabla 3.3. Muestra los valores que toma Z. Fuente: Bejarano Benites Leopoldo, Mormontoy Laurel Wilfredo, Tipacti Alvarado César. MUESTREO E INFERENCIA ESTADÍSTICA en Ciencias de la Salud.

Reemplazando los valores en la ecuación anterior, obtenemos el siguiente resultado:

$$n = \frac{1.96^2(0.5)(1-0.5)27}{(27-1)0.05^2+1.96^2(0.5)(1-0.5)} \quad 3.26$$

$$n = \frac{3.8416(0.5)(1-0.5)27}{(27-1)0.0025+3.8416(0.5)(1-0.5)} \quad 3.27$$

$$n = \frac{25.9308}{1.0254} \quad 3.28$$

$$n = 25.3 \quad 3.29$$

Así mismo se utilizó la misma fórmula para determina los datos aleatorios para la temperatura y humedad relativa de una población 157 datos respectivamente, siendo estos datos aleatorios calculado igual a n = 112 datos.

Variación de la temperatura y humedad relativa en la ciudad de Huancavelica en un día soleado.

Tabla 3.4. Datos de Temperatura y humedad relativa de un día soleado en la ciudad de Huancavelica

observación	HORA	T (°C)	HR (%)
1	10:00	39	24
2	10:20	39	24
3	10:30	41	23
4	10:40	43	25
5	12:00	43	22
6	12:20	43	22
7	12:40	43	22
8	13:00	42	26
9	13:30	43	22
10	13:40	42	25
11	14:00	43	22
12	14:20	42	23
13	14:40	41	23
14	15:00	38	25
15	15:19	38	25
16	15:42	37	27
17	16:00	35	26

Fuente: elaboración propia.

La figura 3.9 muestra la variación de la temperatura en un día soleado en la ciudad de Huancavelica.

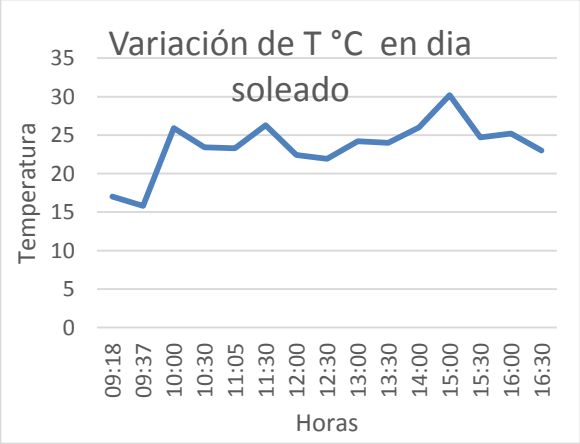


Fig.3.9 Variación de la temperatura en un día soleado en la ciudad de Huancavelica

La figura 3.10 muestra la variación de la humedad relativa en un día soleado en la ciudad de Huancavelica.

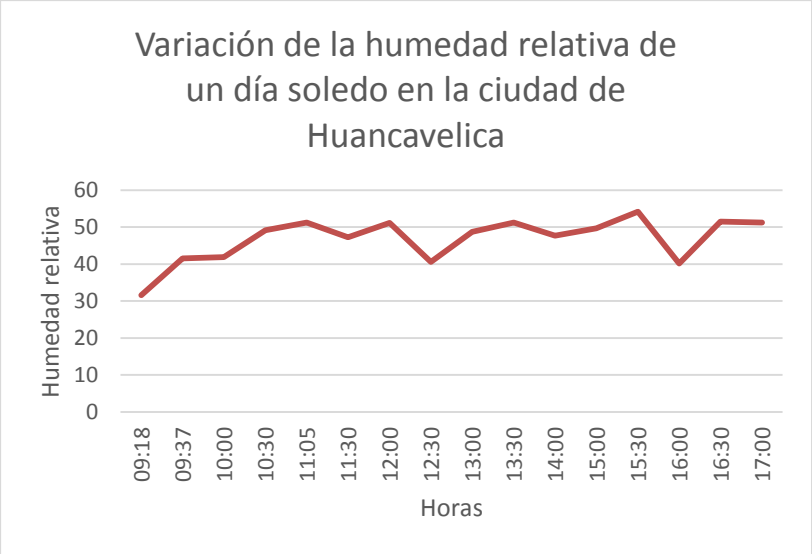


Fig.3.10 Variación de la humedad relativa en un día soleado en la ciudad de Huancavelica

3.7. PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para obtener un buen secado de la carne de alpaca por medio del sistema propuesto, se tendrá que instalar los sensores de temperatura y humedad, esta se comprará con los puntos ideales que se tiene para el secado de la carne en forma natural, para luego si hay diferencia se tendrá que corregir a fin de que en el interior del sistema propuesto sean ideales para lograr un buen secado de la carne de alpaca y obtener el charqui o la carne deshidratada en el menor tiempo y menor peso.

3.8. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

De los datos de la muestra obtendremos la media y su varianza con los software estadísticos conocidos como el SPSS, SAS y EXCEL, los mismos que nos permitirá comparar en la prueba de hipótesis, así mismo al graficar el histograma nos permitirá observar la simetría de los datos (simétrico, simétrico +, simétrico -); al calcular la curtósis se podrá observar la concentración de los datos sobre la media.

CAPITULO IV

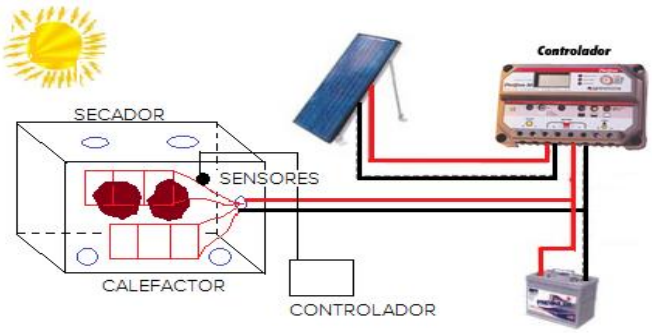
RESULTADOS

4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados de los datos tomados se presentan en el anexo, "El trabajo de investigación titulado "SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA Y DE HUMEDAD PARA EL SECADO DE CARNE EN LA CIUDAD DE HUANCAVELICA"; presenta en este capítulo, los resultados del procesamiento de los datos tomados en la ciudad de Huancavelica.

4.1.1 Sistema de secado de carne de alpaca y toma de medidas

En esta sección se presenta el sistema deshidratador de carne figura. 4.1, los circuitos electrónicos utilizados para el control de la temperatura y de la humedad relativa figura 4.2, como se detalla:



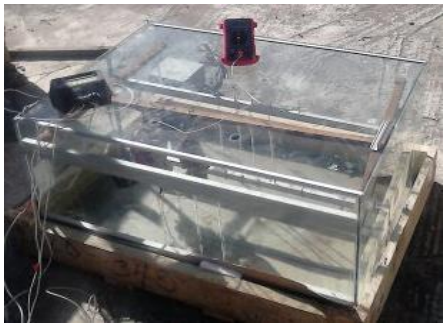


Figura. 4.1, Transferencia de energía y control de T y HR. Fuente elaboración propia

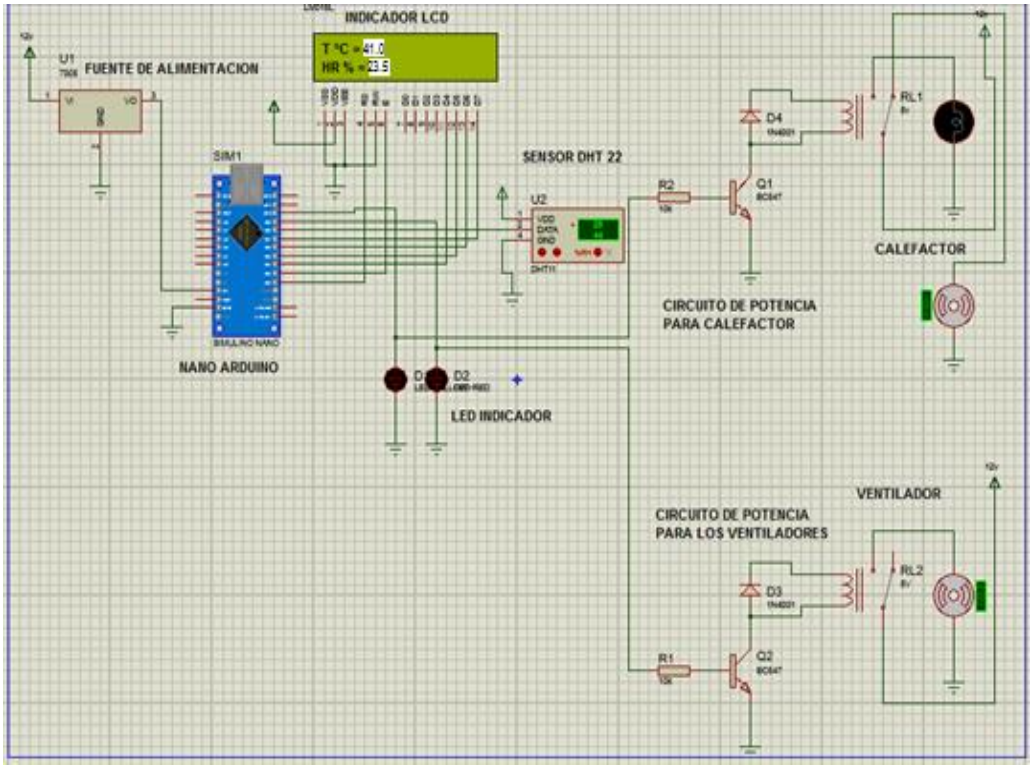


Figura. 4.2, Circuito de control de Temperatura y Humedad relativa. Fuente elaboración propia

En la figura 4.2. Se observa que es necesario una fuente de alimentación de 5V DC para la alimentación del nanoarduino y el LCD, el mismo que se deriva con un 7805 de la batería de 12V. el LCD utilizado es de 16x2 que tiene dos líneas de 16 caracteres por línea.

El nano arduino basado en el microcontrolador ATMEL, nos permite controlar la temperatura y humedad relativa, con su programación en C, y sus sentencias configuradas que permiten el control PID.

El sensor de temperatura y humedad relativa el DTH22 es uno de los sensores más económicos de este tipo y preciso, calibrado en fabrica que mide la humedad relativa de 20% a 95% con margen de error del 1%, para la temperatura de 0 °C a 100°C, con error del 0.01%, que se alientan con una fuente de alimentación de 5VDC; y los ventiladores usados son de los ventiladores de las fuentes de alimentación de PCs.

La función de transferencia del sistema secador de charqui es:

$$G_{(s)} = \frac{T_{(S)}}{q_{in(S)}} = \frac{K}{\tau S+1} e^{-t_d S} \qquad 4.1$$

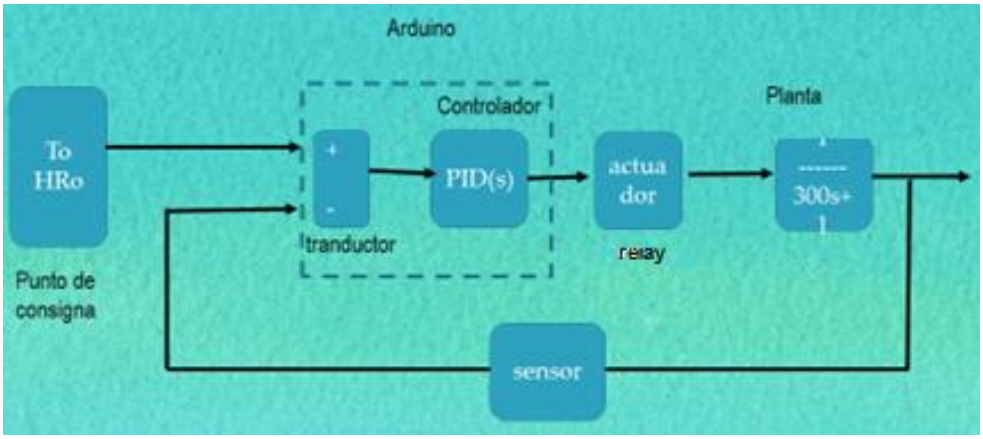


Figura. 4.3 Diagrama de bloques de sistema de control de temperatura. Fuente elaboración propia

El controlador está diseñado con arduino y con programa en C, para el control de la temperatura y humedad relativa es el DTH22, al aumento de la temperatura del secador hasta 60°C sin control al medio día, el controlador PID controla la temperatura a un punto de control programado en 43 °C y 22 % de HR, el controlador está cargado con el programa de control PDI, el mismo que se presenta en las siguientes sentencias en lenguaje C:

#include <LiquidCrystal.h> (**usar libreria del cristal liquid)**

LiquidCrystal lcd(12,11,5,4,3,2);////(rs,e,D4,D5,D6,D7) (conf de los pines

#include <PID_v1.h> (util la libreria

double sp,setpoint,input,in,out,output, temperatura;

int sal,val;

int Estufa=8;

int ventilador=9;

PID Secador(&in,&out,&sp,0.1195,0.06,0.06,DIRECT);

void setup() (function para la programacion d los pines)

```
{
  // put your setup code here, to run once:
  lcd.begin(16,2);
  pinMode(Estufa,OUTPUT);
  pinMode(ventilador,OUTPUT);
  delay(100),
  setpoint=analogRead(0);
  sp=0;
  Serial.begin(9600);
  Serial.println(sp);
  Secadgor.SetSampleTime(20);
  Secador.SetMode(AUTOMATIC);
  Secador.SetOutputLimits(-255,255);
}
void loop()
{
  // put your main code here, to run repeatedly:
  input=analogRead(0);
  val=setpoint-input;
  in=val;
  Secador.Compute();
  temperatura =out;
  if( temperatura < 41.0)
    {
      digitalWrite(ventilador, LOW);
      digitalWrite(Estufa, HIGH);
    }
  if((temperatura >= 42.0 )&&( temperatura <= 43.0))
    {
```

```
    digitalWrite(ventilador, HIGH);
    digitalWrite(Estufa, LOW);
  }
  Serial.print(setpoint);
 Serial.print(" ");
 Serial.print(in);
 Serial.println(temperatura);
 delay(200);
 lcd.setCursor(0,0);
 lcd.print("Temperatura");
 delay(200);
 lcd.setCursor(0,1);
 lcd.print(temperatura);
 delay(200);
}
```

4.1.2 Análisis de las variables medidas

Para este análisis se tendrá que analizar en una primera parte los datos observados para el secado de la carne de alpaca en forma tradicional; en segundo lugar se analizan los datos obtenidos con el sistema de secado diseñado con control de la temperatura y humedad relativa y luego se hicieron la comparación de las medias de cada variable e inferir la prueba de hipótesis con el apoyo de la estadística inferencial.

Los datos tomados en el secado de carne en el modo tradicional, son 27 en el proceso de secado, se selecciona 25 datos en forma aleatoria, lo que se muestra a continuación:

En forma tradicional la carne de alpaca se seca a una temperatura promedio de 23.28°C y una humedad relativa promedio de 46.08% en un tiempo de 24 horas a pleno sol del día esto es en tres días.

Los datos de peso de las observaciones se muestran a continuación.

Tabla 4.1 Muestra de pesos.

Observación	Peso Inicio (gr)	Peso Final (gr)	Secado de carne (%)	Materia seca (%)
W1	360	100	72.22	27.78
W2	180	50	72.22	27.78
W3	200	60	70.00	30.00
W4	200	60	70.00	30.00
W5	100	20	80.00	20.00
W6	80	20	75.00	25.00
W7	200	80	60.00	40.00

Fuente: elaboración propia.

El promedio de la masa seca de carne de alpaca obtenida después de secar en la forma tradicional es de 28.65%, esto en tres días a pleno sol desde las 9:00 am hasta las 6:00 pm.

Tabla 4.2 Estadística descriptiva de humedad en base seca %

Media	262.38
Error típico	28.74
Mediana	260.00
Moda	260.00
Desviación estándar	76.03
Varianza de la muestra	5780.42
Curtosis	1.89
Coeficiente de asimetría	0.63
Rango	250.00
Mínimo	150.00
Máximo	400.00
Suma	1836.67
Cuenta	7.00
Nivel de confianza (95.0%)	70.32

Fuente elaboración propia

La media de la cantidad de la humedad en base seca es de 262.38 %, esto quiere decir que la cantidad de masa de charqui disminuida de la inicial con respecto a la masa seca final, medido en %.

En este punto se muestran los datos tomados de la temperatura (T °C), humedad relativa (HR) y Peso, obtenidos del secador solar con control de temperatura y humedad relativa; se tomó los 112 datos de cada variable en forma aleatoria de un total de 157 datos con el EXCEL:

Tabla 4.3 Datos aleatorios de temperatura y humedad relativa

N°	T (°C)	HR (%)	N°	T (°C)	HR (%)	N°	T (°C)	HR (%)
1	39	24	39	43	22	77	40	24
2	39	23	40	42	23	78	41	23
3	41	24	41	43	25	79	43	23
4	41	25	42	42	25	80	42	23
5	39	23	43	41	27	81	38	23
6	39	22	44	38	26	82	38	25
7	42	22	45	37	23	83	37	23
8	42	23	46	35	24	84	35	23
9	43	25	47	39	25	85	40	23
10	43	22	48	39	23	86	40	23
11	43	23	49	41	22	87	41	23
12	43	27	50	39	22	88	40	22
13	42	26	51	39	23	89	42	22
14	43	23	52	42	25	90	42	23
15	38	23	53	42	22	91	43	25
16	38	24	54	43	23	92	43	22
17	35	25	55	43	23	93	43	23
18	40	23	56	43	23	94	43	23
19	41	22	57	42	23	95	42	23
20	41	22	58	43	24	96	40	23
21	39	22	59	39	24	97	39	24
22	42	23	60	39	24	98	39	24
23	42	25	61	39	23	99	39	24
24	43	22	62	43	25	100	39	23
25	43	23	63	43	22	101	40	23
26	43	23	64	42	22	102	40	23
27	42	25	65	43	26	103	42	23
28	43	23	66	42	22	104	42	23
29	42	23	67	42	25	105	43	22
30	38	23	68	41	22	106	43	22
31	37	24	69	38	23	107	42	23
32	41	24	70	38	25	108	43	25
33	42	25	71	35	25	109	42	23
34	42	23	72	39	27	110	41	23
35	40	22	73	39	26	111	40	23
36	42	22	74	35	24	112	40	24
37	42	22	75	35	29			
38	43	23	76	40	28			

Fuente elaboración propia

A continuación se realiza el análisis de la estadística descriptiva de las variables temperatura y humedad relativa, recogida por el sensor DTH 22, datos analógicos que es convertido por el conversor análogo digital del nano arduino, estos datos tomados son programados en el microcontrolador para el control PID de la temperatura y para mostrarlo en el LCD 16x2, los datos leídos en el LCD se muestran a continuación:

Tabla 4.4 Estadística descriptiva de Temperatura	
Media	40.65178571
Error típico	0.208687532
Mediana	41
Moda	42
Desviación estándar	2.208541247
Varianza de la muestra	4.87765444
Curtosis	0.153770784
Coeficiente de asimetría	-0.891251226
Rango	8
Mínimo	35
Máximo	43
Suma	4553
Cuenta	112
Nivel de confianza (95.0%)	0.413528276

Fuente elaboración propia

Se puede observar que la media de temperatura es 41.65 °C, la mediana es de 41 °C y la moda es 42°C, el punto de control programado es de 41.0 °C, por lo que la mediana y la moda se acercan al punto de control.

Tabla 4.5 Estadística descriptiva de HR	
Media	23.54464286
Error típico	0.132353458
Mediana	23
Moda	23
Desviación estándar	1.400697335
Varianza de la muestra	1.961953024
Curtosis	2.018293224
Coeficiente de asimetría	1.318704089
Rango	7
Mínimo	22
Máximo	29
Suma	2637
Cuenta	112
Nivel de confianza(95.0%)	0.262267212

Fuente elaboración propia

Se puede observar que la media de la humedad relativa es 23.54 %, la mediana es de 23 %y la moda es 22 %, el punto de control programado es de 23.5 %, por lo que la mediana y la moda se acercan al punto de control.

Del mismo modo analizamos los datos de la humedad en base seca, estos datos fueron obtenidos al pesar la masa inicial y la masa seca final, los datos se muestran en las siguientes tablas de frecuencia 4.6 y 4.7:

Tabla 4.6 Humedad en base seca (%)

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	192.86	1	4.0	4.0	4.0
	220.00	1	4.0	4.0	8.0
	221.43	1	4.0	4.0	12.0
	224.32	1	4.0	4.0	16.0
	236.00	1	4.0	4.0	20.0
	238.46	1	4.0	4.0	24.0
	242.11	1	4.0	4.0	28.0
	244.83	1	4.0	4.0	32.0
	245.00	1	4.0	4.0	36.0
	248.39	1	4.0	4.0	40.0
	256.86	1	4.0	4.0	44.0
	260.00	1	4.0	4.0	48.0
	262.50	1	4.0	4.0	52.0
	263.64	1	4.0	4.0	56.0
	267.65	1	4.0	4.0	60.0
	275.00	2	8.0	8.0	68.0
	277.78	1	4.0	4.0	72.0
	283.33	1	4.0	4.0	76.0
	288.89	1	4.0	4.0	80.0
	300.00	1	4.0	4.0	84.0
	316.67	1	4.0	4.0	88.0
	329.73	1	4.0	4.0	92.0
	340.00	1	4.0	4.0	96.0
	364.29	1	4.0	4.0	100.0
	Total	25	100.0	100.0	

Fuente: elaboración propia

		Humedad en base seca (%)
N	Válidos	25
	Perdidos	0
Media		266.9896
Mediana		262.5000
Moda		275.00
Desv. típ.		40.19752
Varianza		1615.840
Asimetría		.664
Error típ. de asimetría		.464
Curtosis		.406
Error típ. de curtosis		.902
Rango		171.43
Mínimo		192.86
Máximo		364.29
Percentiles	25	240.2850
	50	262.5000
	75	286.1100

Fuente: elaboración propia

De la tabla 4.7, se puede observar que la humedad en base seca promedio que se logra obtener de la masa seca de la carne de alpaca, en el sistema de secado controlando la temperatura y humedad relativa es de 266.98 % veces de la masa seca.

En la figura 4.4 se observa el histograma de los datos de la humedad en base seca, y se observa que la mayor frecuencia de la humedad en base seca de la masa seca final en porcentaje, que se obtiene en el sistema del secador solar controlado de temperatura y humedad, es del 225% al 250%; también se observa que la curva de distribución de los datos de la secado de carne es cuasi a la distribución normal.

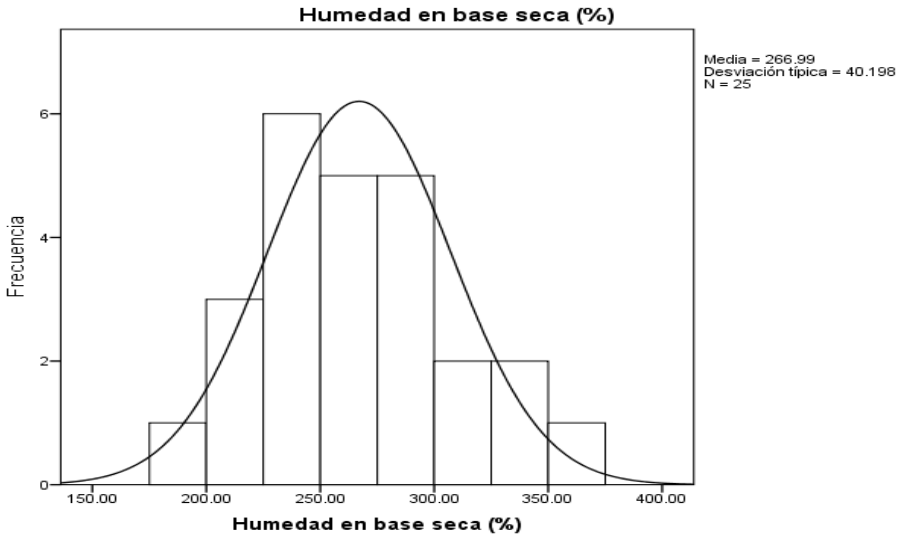


Figura. 4.4: Histograma de la humedad en base seca de la carne de alpaca en el secador solar controlado.

Los tiempos de secado que se consideró con el secador solar con control de la temperatura y humedad relativa, por cada experiencia fue de seis (6) horas, esto empezando de las 10:00 A.M hasta la 2:00 P.M.

La siguiente tabla muestra los datos aleatorios de la masa seca de carne de alpaca obtenida del sistema de control de temperatura y humedad relativa.

Tabla. 4.7 nuestras de materia seca de la carne de alpaca

Observación	Materia seca (%)	Observación	Materia seca (%)
1	22.86	14	24.00
2	27.20	15	27.59
3	24.00	16	27.78
4	27.59	17	31.11
5	28.70	18	26.67
6	24.00	19	34.15
7	27.78	20	26.67
8	31.25	21	26.09
9	25.00	22	27.78
10	27.86	23	26.09
11	23.27	24	21.54
12	23.27	25	23.27
13	28.02		

Fuente: elaboración propia

A continuación se muestra los datos estadísticos descriptivos de la materia seca obtenida con el sistema de control.

Tabla. 4.8 Estadística descriptiva de la materia seca de carne de alpaca

Media	26.54
Error típico	0.59
Mediana	26.67
Moda	24.00
Desviación estándar	2.96
Varianza de la muestra	8.73
Curtosis	0.51
Coeficiente de	0.58
Rango	12.61
Mínimo	21.54
Máximo	34.15
Suma	663.51
Cuenta	25.00
Nivel de confianza	1.22

Fuente elaboración propia

4.2 PROCESO DE PRUEBA DE HIPÓTESIS

A continuación presentaremos la prueba de hipótesis de la hipótesis general e hipótesis específicas, para ello se utilizó los conceptos básicos de la Estadística Descriptiva y las herramientas de los Software EXCEL y SPSS, como detallamos a continuación el proceso.

4.2.1 Prueba de hipótesis de la temperatura

En seguida presentamos la hipótesis planteada: la temperatura de control en el interior del secador solar es de 41°C.

¿El sistema de control de temperatura y humedad relativa, para secar carne de alpaca podrá ser regulado a 41°C?

Ho: El sistema de control de temperatura y humedad relativa, controla la temperatura de secado de carne de alpaca a 41.0°C.

H1: El sistema de control de temperatura y humedad relativa, no controla la temperatura de secado de carne de alpaca a 41.0°C.

Hipótesis estadística:

Ho: $\mu_o = \mu_1$

H_1: $\mu_o \neq \mu_1$

Siendo Ho y H1 la hipótesis nula y la alterna respectivamente.

Tabla 4.9. Nivel de confianza y significancia.

Nivel de confianza 1-α	Nivel de significancia α	Observación
0,95	0,05	Significativa

Fuente: elaboración propia.

Con la prueba de "t" de medias poblacionales de los datos "μ" y tomando un nivel de significancia α= 0,05, se determina el "t" de prueba "t_o", de la hoja de cálculo EXEL utilizando el comando to=INV.T.2C(0.025,111)= 2.2722; calculando el valor de "t" de los datos tomados para la comparación, usando la siguiente ecuación:

$$t = \frac{u_1 - u_o}{S/\sqrt{n}} = \frac{40.65-41}{2.208/\sqrt{111}} = -1.66 \qquad 4.2$$

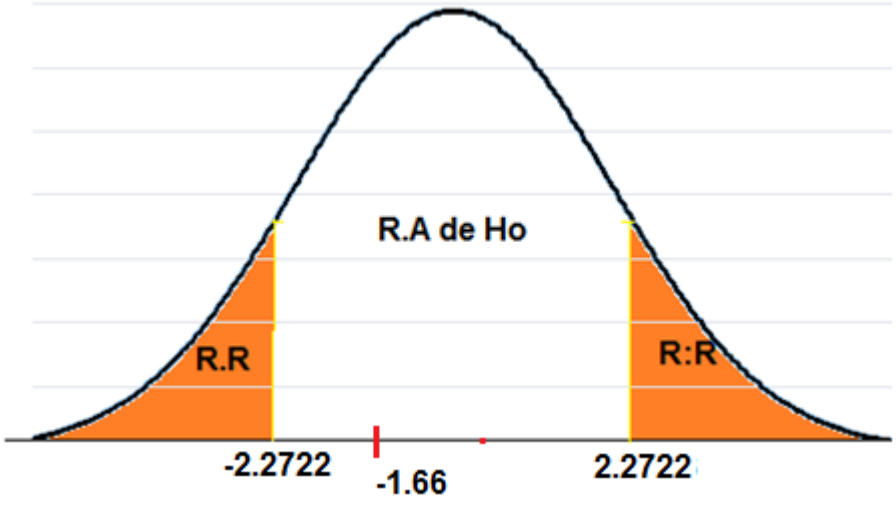


Figura. 4.6 La ***"to"*** de la variable temperatura y su ubicación en la distribución normal.
Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.10. Decisión de la Hipótesis nula “Ho”.

Comparación	Decisión	Conclusión
$to = t_1$	Región de Aceptación de Ho	Se acepta la hipótesis Nula (Ho)
$to \neq t_1$	Región de rechazo de Ho	Se acepta la hipótesis Alterna (H1)

Fuente: elaboración propia.

Como t=-1.66 se ubica en la región de aceptación de la hipótesis nula figura 4.6, se acepta la hipótesis nula, podemos aseverar con una confianza del 95%, podemos afirmar que el sistema de control de temperatura y humedad relativa, ha sido adecuadamente regulada para el control de la temperatura a 41°C.

4.2.2 Prueba de hipótesis de la humedad relativa

En seguida presentamos la hipótesis planteada: la humedad relativa de control en el interior del secador solar es el 23.5%.

¿El sistema de control de temperatura y humedad relativa para secar carne de alpaca ha sido regulado para obtener una humedad relativa del 23.5%, en el interior del secador?

Ho: El sistema de control de temperatura y humedad relativa, controla la humedad relativa en el interior del secador en el secado de carne de alpaca al 23.5%.

H1: El sistema de control de temperatura y humedad relativa, no controla la humedad relativa en el interior del secador en el secado de carne de alpaca al 23.5%.

Hipótesis estadística:

Ho: $\mu_o = \mu_1$

H_1: $\mu_o \neq \mu_1$

Siendo Ho y H1 la hipótesis nula y la alterna respectivamente.

Tabla 4.11. Nivel de confianza y significancia.

Nivel de confianza 1-α	Nivel de significancia α	Observación
0,95	0,05	Significativa

Fuente: elaboración propia.

Con la prueba de "t" de medias poblacionales de los datos "μ" y tomando un nivel de significancia α= 0,05, se determina el "t" de prueba "t_o", de la hoja de cálculo EXEL utilizando el comando to=INV.T.2C(0.025,111)= 2.2722; calculando el valor de "t" de los datos tomados para la comparación, usando la siguiente ecuación:

$$t = \frac{u_1 - u_o}{S/\sqrt{n}} = \frac{23.544 - 23.5}{1.40/\sqrt{111}} = 0.3358$$

4.3

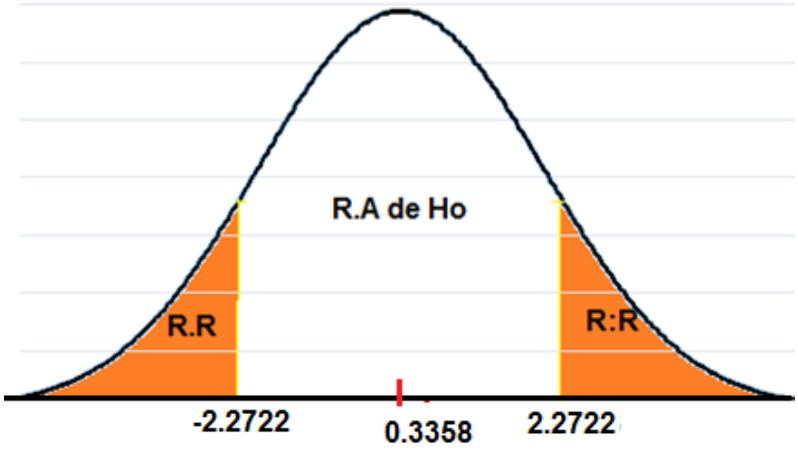


Fig. 4.7 La ***"to"*** de la variable humedad relativa y su ubicación en la distribución normal.
Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.12. Decisión de la Hipótesis nula "Ho".

Comparación	Decisión	Conclusión
to = t_1	Región de Aceptación de Ho	Se acepta la hipótesis Nula (Ho)
to ≠ t_1	Región de rechazo de Ho	Se acepta la hipótesis Alterna (H1)

Fuente: elaboración propia.

Como t=0.3358 se ubica en la región de aceptación de la hipótesis nula figura 4.7, se acepta la hipótesis nula, podemos aseverar con una confianza del 95%, que el sistema de control de temperatura y humedad relativa, ha sido adecuadamente regulada para el control de la humedad relativa a 23.5%.

4.2.3 Prueba de hipótesis de la materia seca de la masa de carne de alpaca

En seguida presentamos la hipótesis planteada: El sistema electrónico de secado hermético, proporciona la materia seca de la carne de alpaca en 28.65%.

¿El sistema de control de temperatura y humedad relativa para secar carne de alpaca, proporciona la materia seca de la carne de alpaca en 28.65%?

Ho: El sistema de control de temperatura y humedad relativa, proporciona materia seca de la carne de alpaca en 28.65%

H1: El sistema de control de temperatura y humedad relativa, proporciona materia seca de la carne de alpaca menor al 28.65%

Hipótesis estadística:

Ho: $\mu_o \geq 28.65\%$

H_1: $\mu_1 < 28.65\%$

Siendo Ho y H1 la hipótesis nula y la alterna respectivamente.

Tabla 4.13. Nivel de confianza y significancia.

Nivel de confianza 1-ɑ	Nivel de significancia ɑ	Observación
0,95	0,05	Significativa

Fuente: elaboración propia.

Con la prueba de "t" de medias poblacionales de los datos "μ" y tomando un nivel de significancia ɑ= 0,05, se determina el "t" de prueba "t_o", de la hoja de cálculo EXEL utilizando el comando to=INV.T.(0.05,24)=-1.71088; calculando el valor de "t" de los datos tomados para la comparación, usando la siguiente ecuación:

$$t = \frac{u_1 - u_o}{S/\sqrt{n}} = \frac{26.54 - 28.65}{2.96/\sqrt{24}} = -3.4921 \qquad 4.5$$

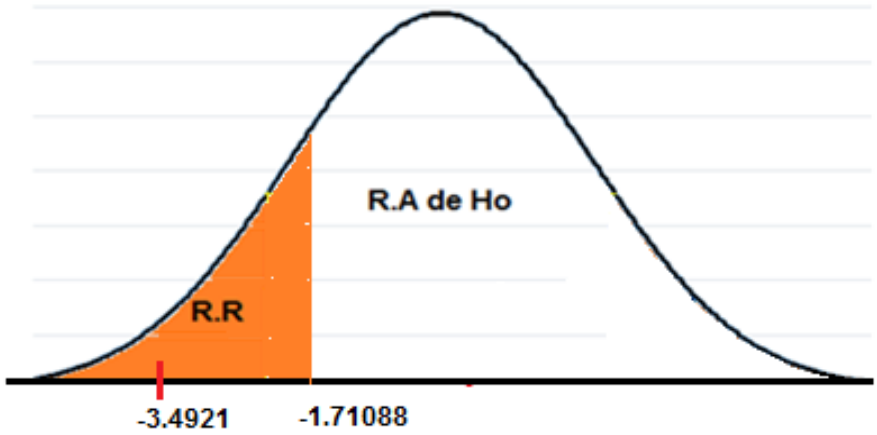


Fig. 4.8 La ***"to"*** de la variable masa seca de la carne de alpaca y su ubicación en la distribución normal. Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.14. Decisión de la Hipótesis nula "Ho".

Comparación	Decisión	Conclusión
$to \geq t_1$	Región de Aceptación de Ho	Se acepta la hipótesis Nula (Ho)
$to < t_1$	Región de rechazo de Ho	Se acepta la hipótesis Alterna (H1)

Fuente: elaboración propia.

Como t=-3.4921 se ubica en la región de rechazo de la hipótesis nula figura 4.9, se acepta la hipótesis alterna, podemos aseverar con una confianza del 95%, que el secador solar hermético proporciona una masa seca de carne de alpaca menor al 28.65 % .

El sistema electrónico de secado cuasihermético, seca la carne de alpaca en 6 horas que en menor al secado tradicional de 24 horas en pleno sol del día.

4.3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De los resultados obtenidos en la prueba de hipótesis para la temperatura, se puede discutir:

- La temperatura media en un día soleado en la ciudad de Huancavelica es de 23.272°C, este valor de temperatura se eleva a 41 °C en el interior del sistema de secado, el calor acumulado en el latón dentro del sistema es por la radiación solar, que luego irradia este calor hacia el aire concentrado dentro del secador, para luego por convección transferir el calor hacia la masa de la carne de alpaca y por medio de ella secar la carne; el control de temperatura a 41 °C permite que el secado sea homogéneo en toda la masa.
- La humedad relativa en la ciudad de Huancavelica es de 46.08%, si la humedad relativa se disminuye considerablemente, el secado de la masa de carne de alpaca secara en menos tiempo; en el interior del secador controlado, se logró disminuir a una humedad relativa del 23.5%, esta humedad permitió reducir el tiempo de sacado de la masa de carne de alpaca a 6 horas, comparando con el tiempo de secado tradicional que es de 24 horas.
- La cantidad de masa seca de la carne de alpaca obtenida en la forma tradicional es de 28.65% del peso inicial, utilizando el secador con el sistema de control de temperatura y humedad relativa, se logró obtener una masa de carne de alpaca seca de 26.54%.
- El tiempo utilizado para secar la carne de alpaca y obtener el charqui con el método tradicional es de 24 horas en tres días soleados; en el caso del secador con control, las horas utilizadas para el secado de la carne de alpaca y obtener el charqui es de seis horas.

CONCLUSIONES

Al culminar el trabajo de investigación titulado “SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA Y DE HUMEDAD PARA EL SECADO DE CARNE EN LA CIUDAD DE HUANCAVELICA”, se presenta las siguientes conclusiones:

- El secador solar implementado denominado “sistema de control de temperatura y humedad relativa”, controla la temperatura a 41 °C en su interior en el proceso de secado o secado de carne de la carne de alpaca en la ciudad de Huancavelica.
- El secador solar implementado denominado “sistema de control de temperatura y humedad relativa”, controla en 23.5% en su interior en el proceso de secado o deshidratación de la carne de alpaca en la ciudad de Huancavelica.
- El secador solar implementado denominado “sistema de control de temperatura y humedad relativa”, proporciona materia seca de la carne de alpaca menor al 28.65% de la masa inicial, en su interior, en el proceso de secado o deshidratación de la carne de alpaca en la ciudad de Huancavelica.
- Se puede aprovechar la energía solar, en especial su poder calorífico para el secado de otros tipos de carne como: pollo, gallina, trucha, res y de ovino, con sistemas de secado solar controlando la temperatura y humedad relativa en su interior, en la ciudad de Huancavelica.

RECOMENDACIONES

- A los profesionales de Ingeniería, se les recomienda aprovechar la radiación solar de la región de Huancavelica, que en promedio es de 5.5KWatt H/m2, con el diseño de secadores solares controlados electrónicamente, para el secado de carne, granos, tubérculos, frutas y hierbas aromáticas.
- Aprovechar los datos tomados en este proyecto, como base para diseño de nuevos sistemas secadores solar controlados, para diseño de producción de charqui en forma semi industrial.
- Para los interesados en el diseño de secadores solar, tener presente las características del colector a utilizar, como el de las contantes de absorción sea próximo a uno (1) y el de reflexión próxima a uno (1), o se aproxime a un cuerpo negro.
- Tener presente que las pérdidas por radiación de reflexión, del calor absorbido por el colector, sea despreciable, esto escogiendo una buena cobertura donde incide la radiación solar, utilizando vidrio de 6mm de espesor.
- Lo que queremos recomendar y destacar en éste proyecto y para otros, es que el control adecuado de la temperatura y de la humedad relativa en el interior del secador sea bien regulado y su valor sea en el caso de la temperatura mayor al doble de la temperatura ambiente y de la humedad relativa menor que la mitad de la humedad relativa del ambiente, esto para un secado uniforme del producto a secar.
- Se recomienda la utilización de controladores de última generación en el sistema de control PID, permite su fácil programación y control de los ventiladores para la entrada del aire fresco y salida del aire caliente; del mismo modo para el control PID de la temperatura.
- Se recomienda la experimentación del sistema de control electrónico varias veces, hasta lograr la regulación de la temperatura y humedad relativa en el interior del sistema, experimentando con varios tamaños de ventiladores hasta lograr los adecuados para el sistema de control.

- A la UNH promover el desarrollo de investigaciones multidisciplinarias brindándoles el soporte económico, transporte, tiempo, etc., a los grupos de investigación, ya que actualmente no se puede trabajar en forma aislada frente a la realidad. De esta manera existirá soluciones concretas y reales de problemáticas que aquejan a nuestro departamento y país.
- Por medio de la UNH, impulsar el desarrollo de proyectos para el aprovechamiento de la energía solar: para calefacción de las aulas, calentamiento de agua para duchas, para generar energía eléctrica no convencional etc.; a fin de desarrollar nuevos prototipos para la zona rural de nuestra región.

BIBLIOGRAFÍA

Peralta Meza Raúl; Quiñones Quispe Carlos. (08 de abril de 2008). Curso Básico de Pic16F877. Obtenido de Curso Básico de Pic16F877: http://www.aloha2.com.ar/Tincho/Descargas/Electronica/PIC16F877.pdf

Ávila Gómez Adrián Enrique, Mendoza Fandiño Jorge Mario y Beltrán Sarmiento Julio Fernando. (2010). Evaluación energética de un colector solar de placa plana de doble cubierta. Córdova: Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Montería.

Cabrera Cifuentes Gerardo; Marín César . (2009). Modelo estable de un absorbedor solar con lecho de rocas para secado por calentamiento de aire. El Hombre y la Máquina No 32, 13.

Vidal Santo Adrián , Velázquez Camilo Oscar, Iñaki De La Cruz Roberto, Ortega Montiel Gerardo. (2012). Diseño y construcción de un secador solar portátil. Congreso internacional de investigación, 6.

Vidal Santo Adrián; Velázquez Camilo Oscar; Iñaki De La Cruz Roberto. (2012). Diseño y construcción de un secador solar portátil. Academia Journals, 6.

Agro, W. (05 de 02 de 2013). SECADO SOLAR. Obtenido de SECADO SOLAR: http://www.agrowaste.eu/wp-content/uploads/2013/02/SECADO-SOLAR.pdf

Ávila Gómez, Adrián Enrique; Mendoza Fandiño Jorge Mario; Beltrán Sarmiento Julio Fernando. (2010). Evaluación energética de un colector solar de placa plana de doble cubierta. Redalyc, 21.

carlos, M. Y. (2012). Colectores Solares de aire para el secado de maiz. Madrid: UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID, ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR.

Clodoaldo Sivipaucar, Herve Curo, Huancahuari Eder, Llantoy Víctor y Valderrama Andrés. (2008). CÁLCULO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SECADOR SOLAR POR CONVECCIÓN NATURAL PARA EL SECADO DE PLANTAS MEDICINALES NO TRADICIONALES . Centro de Desarrollo e Investigación en Termofluidos CEDIT , 30.

Cordero Fernández, A. G. (2008). Estadística Experimental. Lima- Perú: Grapex.

Durán Gonzalo josé, Condorí Miguel Angel, Echazú Ricardo, Díaz Russo Gabriel. (2010). SECADOR SOLAR HÍBRIDO PARA LA PRODUCCIÓN CONTINUA A ESCALA INDUSTRIAL DE PIMIENTO PARA PIMENTÓN. IV Conferencia Latino Americana de Energía Solar (IV ISES_CLA) y XVII Simposio Peruano de Energía Solar (XVII- SPES), 12.

Fernández Chavesta, Juan. & Fernández Chavesta, José. (2007). Estadística Aplicada I (Vol. 1). Lima- Perú: San Marcos.

Fonseca Cristina; Huarachi Eddy; Chura William; Cotrado George. (2008). Guía de las buenas prácticas de procesamiento para la producción artesanal de la tunta. Puno Perú: Ministerio de Agricultura Perú.

Germán Leonardo Roa Marín, Diego Bladimir Ortega Torres. (2011). Diseño y Construcción de un Secador Solar por Convección de Aire Caliente Automatizado de Pequeña Escala, para elSecado de café para la Universidad Nacional de Loja. Loja: Área de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables, UN de Loja.

LÉVANO GAMBOA, L. J. (2012). COMPARACION DE DOS FORMULAS DE CEREALTIPO INFLADOELABORADO A PARTIR DE UNA MEZCLA DE HARINA DE TARWI. Lima: Universidad Cesar Vallejo.

Martín Almada; Stella Cáceres María; Machaín Singer Marta; Claude Pulfer Jean. (2005). Guia de uso de secaderos solares para frutas, legumbres,hortalizas, plantas medicinales y carnes. Asunción Paraguay: Fundación Celestina Pérez de Almada.

Martín Yuste, C. (2013). COLECTORES SOLARES DE AIRE PARA EL SECADO DE MAÍZ. MADRID: UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR.

Nel Quezada, L. (2012). Estadística con SPSS20. Lima-Perú: Macro.

Ortega Bonilla, R. A. (2012). CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE MANTAS ELABORADAS CON CARNE DE CABRA SERRANA Y OVEJA CHURRA GALEGA BRAGANZANA. Braganga: Instituto Politecnico, escuela Superior de Agraria.

Plaza Espinoza Xavier; Yange Zambrano William. (2012). Diseño e implementación de una secadora hibrida para el control y monitoreo del proceso de secado del cacao. Cuenca - Ecuador: Universidad Politecnica Salesiana.

Salvá Ruiz, B. K. (2009). CARACTERIZACIÓN DE LA CARNE Y CHARQUI DE ALPACA (Vicugna pacos). Leon-España: Universidad de León.

Sivipaucar Clodoaldo; Curo Herve; Huancahuari Eder; Llantoy Víctor; Valderrama Andrés. (2008). CÁLCULO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SECADOR SOLAR POR CONVECCIÓN NATURAL PARA EL SECADO DE PLANTAS MEDICINALES NO TRADICIONALES. Centro de Desarrollo e Investigación en Termofluidos CEDIT, 30.

Stef de Haan; Taipe Palomino Ana;Ramos Cóndor Armando; Ying de Salazar Rosa Ng; Portillo Zoraida. (2006). Catálogo de variedades de papa nativa de Huancavelica-Perú. Lima: Metrocolor.

Stef de Haan;Taipe Palomino Ana; Ramos Cóndor Armando;Ying de Salazar Rosa Ng; Portillo Zoraida; Quinyero Bendezú Genaro Rodrigo. (2002). Catálogo de variedades de papa nativa de Huancavelica-Perú. Lima: Metrocolor.

Sub gerencia Agraria , H. (2008). PLAN ESTRATÉGICO REGIONAL DEL SECTOR AGRARIO DE HUANCAVELICA 2009 – 2015. Huancavelica: GOBIERNO REGIONAL DE HUANCAVELICA.

Valdéz Marín, P. (4 de Setiembre de 2008). Manual de deshidratación I. Obtenido de Manual de deshidratación I: http://manualdeshidratacion.blogspot.pe/

Vásquez Campos , D. D. (2011). PROCESAMIENTO DE LA PAPA. Agroindustrias Definiciones y Realidades, 6.

Vidal castrejon, M. (2013). Diseño y construcción de un deshidratador hibrido con energías alternativas . Culhuacan: Escuela Superior de Ingenieria Mecanica y Electrica unidad Culhuacan .

Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES
GENERAL ¿Cómo mejorar el secado de carne de alpaca en la ciudad de Huancavelica utilizando el sistema electrónico de control de temperatura y humedad**?**	GENERAL Diseñar e implementar el sistema de control de temperatura y humedad para Mejorar el secado de carne de alpaca en la ciudad de Huancavelica	GENERAL El sistema electrónico de control de temperatura y humedad mejora el secado de carne de Alpaca en la ciudad de Huancavelica	GENERAL Sistema electrónico de control de temperatura y humedad relativa
ESPECIFICOS • ¿A cuántos grados centígrados se controla la temperatura en el sistema para el secado de la carne de alpaca? • ¿A cuanta humedad relativa se controla la temperatura en el sistema para el secado de la carne de alpaca? • ¿ El sistema de control de temperatura y humedad relativa, proporciona la materia seca de la carne de alpaca?. • ¿El sistema de control de temperatura y humedad relativa, seca la carne de alpaca en menos horas que en el secado tradicional?	ESPECIFICOS • Determinar a cuántos grados centígrados la carne de alpaca se seca en el interior del sistema de control de temperatura y humedad relativa • Determinar a cuanta humedad relativa se seca la de carne de alpaca en el interior del sistema de control de temperatura y humedad relativa • Determinar a cuanto % de la humedad relativa se seca la carne de alpaca en el interior del sistema de control de temperatura y humedad relativa • Determinar el % de la materia seca de la carne de alpaca se obtiene con el sistema de control de temperatura y humedad relativa • Determinar el tiempo de secado en horas de la carne de alpaca en el interior del sistema de control de temperatura y humedad relativa	• El sistema de control de temperatura y humedad relativa, controla la temperatura en el secado de carne de alpaca a 41.0°C. • El sistema de control de temperatura y humedad relativa, controla la humedad relativa a 23.5 % • El sistema de control de temperatura y humedad relativa, proporciona 28.65% de la materia seca de la carne de alpaca • El sistema de control de temperatura y humedad relativa, seca la carne de alpaca en menos de 24 horas en pleno sol del día.	Independiente: ✓ T °C ✓ HR Dependiente: ✓ Materia de masa seca de la carne de alpaca final ✓ Horas de secado de carne de alpaca

ANEXOS

Datos de temperatura y humedad relativa tomadas del sistema

HORA	T (°C)	HR (%)
10:00	39	24
10:20	39	24
10:30	41	23
10:40	41	23
11:00	39	24
11:20	39	24
11:40	42	25
12:00	42	23
12:20	43	22
12:40	43	22
13:00	43	22
13:20	43	23
13:40	42	25
14:00	43	22
14:20	42	23
14:40	41	23
15:00	38	25
15:19	38	25
15:42	37	27
16:00	35	26

HORA	T (°C)	HR (%)
10:00	40	23
10:20	40	23
10:30	41	23
10:40	41	23
11:00	39	24
11:20	39	24
11:40	42	25
12:00	42	23
12:20	43	22
12:40	43	22
13:00	43	22
13:20	43	23
13:40	42	25
14:00	43	22
14:20	42	23
14:40	41	23
15:00	38	25
15:20	38	25
15:42	37	27
16:00	35	26

HORA	T (°C)	HR (%)
10:00	41	23
10:20	41	23
10:30	42	23
10:40	42	23
11:00	40	24
11:20	40	24
11:40	42	25
12:00	42	23
12:20	43	22
12:40	43	22
13:00	43	22
13:20	43	23
13:40	42	25
14:00	43	22
14:20	42	23
14:40	41	23
15:00	38	25
15:21	38	25
15:42	37	27
16:00	35	26

HORA	T (°C)	HR (%)
10:00	39	24
10:20	39	24
10:30	41	23
10:40	41	23
11:00	39	24
11:20	39	24
11:40	42	25
12:00	42	23
12:20	43	22
12:40	43	22
13:00	43	22
13:20	43	23
13:40	42	25
14:00	43	22
14:20	42	23
14:40	41	23
15:00	40	23
15:19	40	23
15:42	39	24
16:00	39	24

HORA	T (°C)	HR (%)
10:00	39	24
10:20	39	24
10:30	41	23
10:40	43	25
12:00	43	22
12:20	43	22
12:40	43	22
13:00	42	26
13:30	43	22
13:40	42	25
14:00	43	22
14:20	42	23
14:40	41	23
15:00	38	25
15:19	38	25
15:42	37	27
16:00	35	26

HORA	T (°C)	HR (%)
10:01	39	24
10:20	39	24
10:32	41	23
10:42	35	29
11:00	35	28
11:20	40	24
11:40	41	23
12:00	40	23
12:20	41	23
12:40	41	23
13:05	43	23
13:20	42	23
13:40	42	25
14:00	43	22
14:20	42	23
14:40	41	23
15:00	38	25
15:19	38	25
15:42	37	27
16:00	35	26

HORA	T (°C)	HR (%)
10:00	40	23
10:20	40	23
10:30	41	23
10:40	41	23
11:00	40	23
11:20	40	23
11:40	42	23
12:00	42	23
12:20	43	22
12:40	43	22
13:00	43	22
13:20	43	23
13:40	42	25
14:00	43	22
14:20	42	23
14:40	41	23
15:00	40	23
15:19	40	23
15:42	39	24
16:00	39	24

HORA	T (°C)	HR (%)
10:02	39	24
10:21	39	24
10:30	40	23
10:42	40	23
11:00	40	23
11:20	40	23
11:44	42	23
12:00	42	23
12:22	43	22
12:39	43	22
13:00	43	22
13:20	43	23
13:40	42	25
14:00	43	22
14:20	42	23
14:40	41	23
15:00	40	23
15:20	40	23
15:40	39	24
16:00	39	24

Datos de secado de carne y materia seca

Observación	O1	O2	Secado de carne (%)	Humedad en base seca %	Materia seca %
1	1.4	0.35	75.00	300.00	25.00
2	0.9	0.28	68.89	221.43	31.11
3	0.7	0.18	74.29	288.89	25.71
4	0.6	0.16	73.33	275.00	26.67
5	2.2	0.65	70.45	238.46	29.55
6	1.7	0.45	73.53	277.78	26.47
7	1.25	0.3	76.00	316.67	24.00
8	1.38	0.4	71.01	245.00	28.99
9	1.3	0.28	78.46	364.29	21.54
10	0.8	0.25	68.75	220.00	31.25
11	0.66	0.15	77.27	340.00	22.73
12	0.41	0.14	65.85	192.86	34.15
13	2	0.58	71.00	244.83	29.00
14	1.82	0.51	71.98	256.86	28.02
15	1.59	0.37	76.73	329.73	23.27
16	1.4	0.32	77.14	337.50	22.86
17	2.5	0.68	72.80	267.65	27.20
18	2.4	0.66	72.50	263.64	27.50
19	2.32	0.64	72.41	262.50	27.59
20	2.16	0.62	71.30	248.39	28.70
21	3	0.8	73.33	275.00	26.67
22	2.8	0.78	72.14	258.97	27.86
23	2.6	0.76	70.77	242.11	29.23
24	2.4	0.74	69.17	224.32	30.83
25	0.72	0.2	72.22	260.00	27.78
26	1.74	0.45	74.14	286.67	25.86
27	1.68	0.5	70.24	236.00	29.76
28	2.3	0.6	73.91	283.33	26.09

Datos tomados de temperatura y humedad relativa sin sistema

	Hora	T °C	HR %
1	09:00	19	54
2	10:00	22.5	52
3	11:00	26.1	50
4	12:00	28	49.8
5	12:30	29.6	43.9
6	13:00	26.3	50
7	13:30	29.8	39.6
8	14:00	22.9	51.2
9	14:30	22.6	47.2
10	15:00	17	51.2
11	15:30	25.6	51.2
12	16:00	26.3	49.9
13	16:30	25.9	49.1

Datos de la materia seca con el sistema

Observación	Materia seca (%)	Observación	Materia seca (%)
1	22.86	14	24.00
2	27.20	15	27.59
3	24.00	16	27.78
4	27.59	17	31.11
5	28.70	18	26.67
6	24.00	19	34.15
7	27.78	20	26.67
8	31.25	21	26.09
9	25.00	22	27.78
10	27.86	23	26.09
11	23.27	24	21.54
12	23.27	25	23.27
13	28.02		

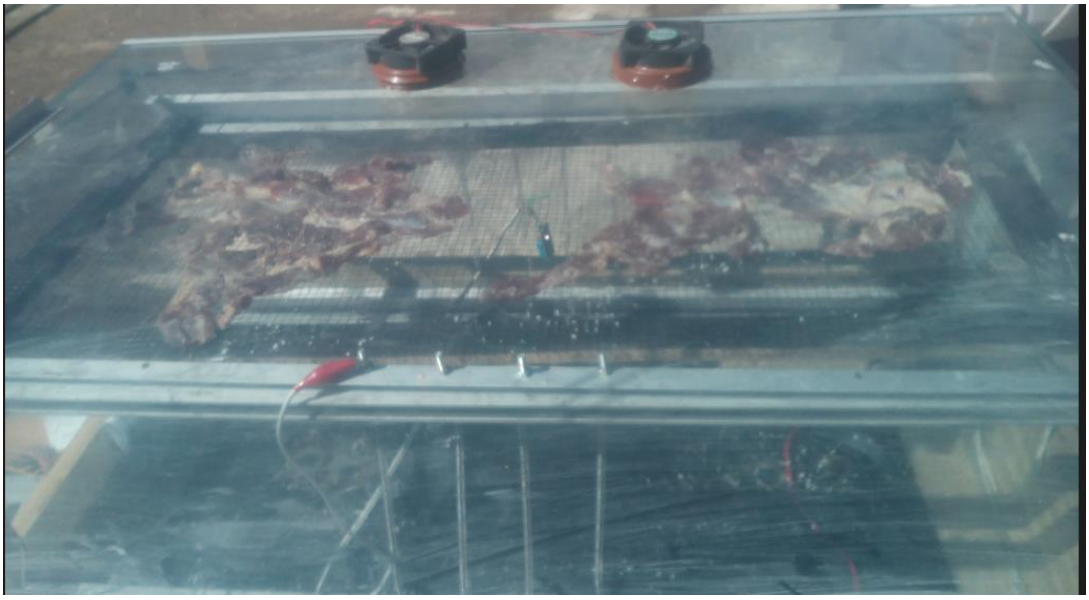
Datos de materia seca y secado de carne sin sistema

Pesos	Peso Inicio (gr)	Peso final (gr)	Secado de carne	Humedad en base seca (%)	Materia seca (%)
W1	360	100	72.22	260.00	27.78
W2	180	50	72.22	260.00	27.78
W3	200	60	70.00	233.33	30.00
W4	200	60	70.00	233.33	30.00
W5	100	20	80.00	400.00	20.00
W6	80	20	75.00	300.00	25.00
W7	200	80	60.00	150.00	40.00

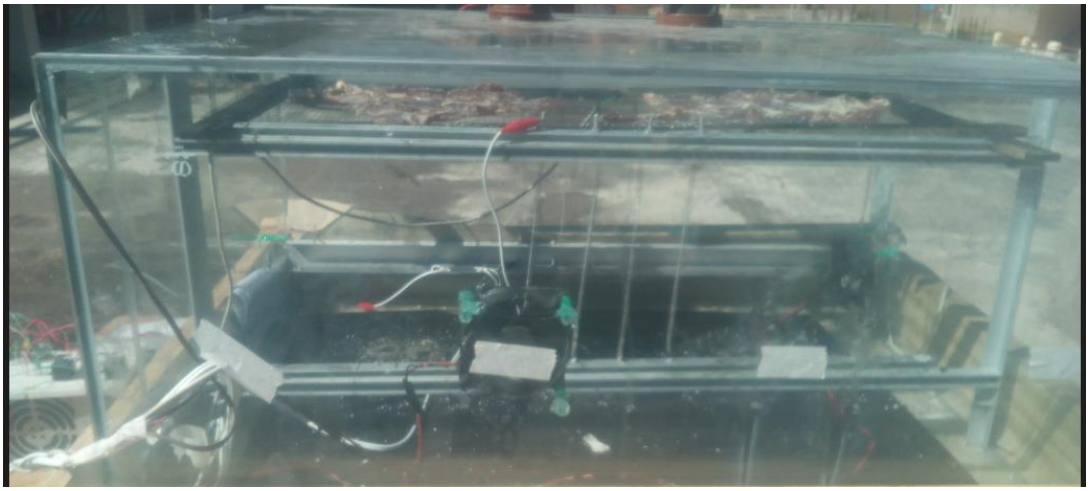
FOTOS

Pesado de la carne de alpaca

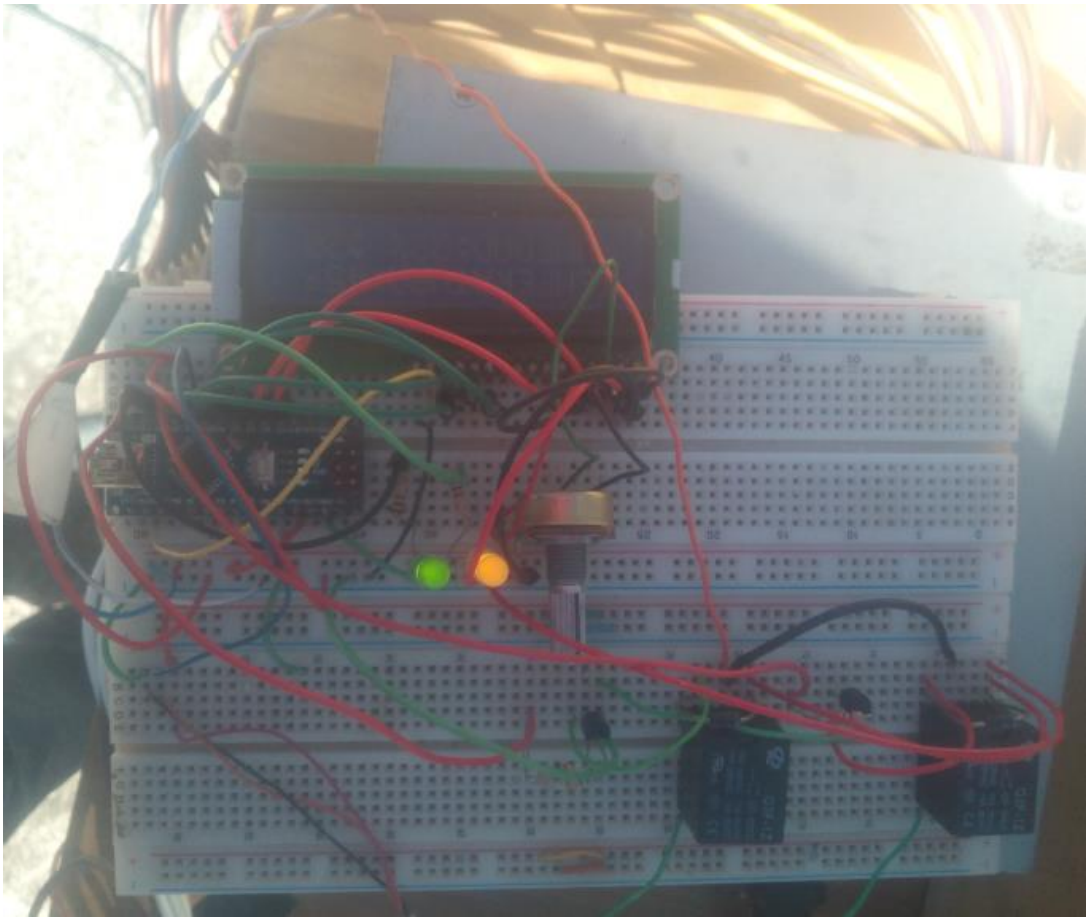
Sistema en funcionamiento



Sistema en funcionamiento



Circuito electrónico de control de temperatura y humedad relativa



Pesado de la carne seca de alpaca

Carne seca Charqui

Fuente de energía de potencia

SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA Y DE HUMEDAD PARA EL SECADO DE CARNE EN LA CIUDAD DE HUANCAVELICA

PRESENTADO POR:

Bach. Almonacid Paytan, Evangelina

Bach. Ramírez Rivera, Felicita Haydee

RESUMEN

La investigación titulada SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA Y DE HUMEDAD PARA EL SECADO DE CARNE EN LA CIUDAD DE HUANCAVELICA, siendo originado debido a que la población de Huancavelica tiene menor preferencia por el consumo de la carne de alpaca fresca, en comparación con la carne de pollo, de res y ovino, a pesar de su bajo costo; su presencia de consumo es en carne seca denominada charqui, para producirla se usa el proceso de secado tradicional.

Por lo cual con el objetivo de obtener la carne deshidratada de alpaca con las características similares o superiores al secado tradicional, se diseñó y construyó el sistema de control de temperatura y de humedad relativa electrónico, que es un secador de control electrónico, que aprovecha la energía del sol y el efecto invernadero en el interior del secador mediante el control de la temperatura y la humedad relativa haciendo uso de ventiladores.

Previamente se experimentó con varios tamaños y números de ventiladores en la entrada y salida del sistema, hasta lograr el control adecuado de temperatura y humedad relativa en el interior del sistema, luego se experimentó con la masa de carne de alpaca en una cantidad de 5 kg, y regulando la temperatura a 41°C y la humedad relativa de 23.5%, se realizó ocho experiencias de secado en el sistema, desde las 10 am. hasta las 16 pm para la toma de datos, obteniéndose 20 datos de temperatura y de humedad relativa en cada experimento, obteniéndose 157 datos respectivamente en los 8 días y 27 datos para la masa seca de carne, escogiéndose aleatoriamente los datos para todas las variables; haciendo uso de los software EXCEL y SPSS, se obtuvo una temperatura promedio de control de 40.65°C, el promedio de la humedad relativa controlada de 23.544%, secado de carne de la masa de carne de alpaca de 72.44%, materia seca de la masa de carne de alpaca en 26.54 % de la masa inicial y un tiempo de secado de 6h.

ABSTRACT

The research entitled TEMPERATURE AND HUMIDITY CONTROL SYSTEM FOR MEAT DRYING IN THE CITY OF HUANCAVELICA, being originated because the population of Huancavelica has less preference for the consumption of fresh alpaca meat, compared to the meat of Chicken, beef and sheep, despite its low cost; Its presence of consumption is in dry meat denominated charqui, to produce it is used the traditional drying process.

Therefore, in order to obtain alpaca dehydrated meat with characteristics similar or superior to traditional drying, the electronic temperature and relative humidity control system was designed and built, which is an electronic control dryer, which takes advantage of the Energy from the sun and the greenhouse inside the dryer by controlling the temperature and relative humidity by making use of fans.

Previously it was experimented with several sizes and numbers of fans in the entrance and exit of the system, until obtaining the appropriate control of temperature and relative humidity inside the system, then it was experimented with the mass of alpaca meat in an amount of 5 kg, And regulating the temperature to 41 ° C and the relative humidity of 23.5%, was performed eight drying experiences in the system, from 10 am. Until 16 pm for data collection, obtaining 20 temperature and relative humidity data in each experiment, obtaining 157 data respectively in the 8 days and 27 data for the dry mass of meat, randomly choosing the data for all variables; Using the EXCEL and SPSS software, an average control temperature of 40.65 ° C, the average of the relative humidity of 23.544% was obtained, dehydration

of the alpaca meat mass of 72.44%, dry matter of the mass of Alpaca meat in 26.54% of the initial mass and a drying time of 6h

The Researchers

INTRODUCCIÓN

El avance tecnológico en estos últimos tiempos es acelerado y se da especial importancia a la utilización de las tecnologías limpias , para el aprovechamiento de estas energías en especial del Sol, cuya utilización se está proliferando en todo el mundo porque se cuenta con una política de no contaminar el medio ambiente (Protocolo de Kioto sobre el cambio climático, 1997), en el Perú se están aprovechando la energía del sol, con la utilización de secadores solares en especial el de tipo plano, para secar plantas aromáticas en Huarochirí, para secar ají panca en toda la costa del norte del Perú, mango y otras frutas en la selva del Perú.

La utilización de sistemas de secado solar controlado electrónicamente las variables temperatura y humedad relativa del aire en su interior, permite el secado en menos tiempo que la tradicional y con el aprovechamiento de la energía del sol se reduce económicamente el proceso de secado de carne de todo tipo, a la utilización de otras energías convencionales.

La investigación que se desarrolló, nos permitió investigar los microcontroladores más avanzados y se escogió el Arduino, basado en el microcontrolador ATMEL en especial el Nanoarduino, del mismo modo nos permitió investigar sobre los sensores de temperatura y humedad relativa avanzados que trabajan directamente con los microcontroladores, y se escogió DHT_22 por su eficiencia y buena resolución.

Los puntos de control de temperatura fueron de 41.°C y para la humedad relativa de 23.5%, se realizó ocho experiencias de secado en el sistema, desde las 10 am. hasta las 16 pm para la toma de datos, obteniéndose 20 dados de temperatura y de humedad relativa por cada experiencia, de los cuales se obtuvo 157 datos y escogió 112 datos en forma aleatoria, así mismo se obtuvieron 27 datos para la masa seca de carne de alpaca y 27 datos para la secado de carne de la masa de carne de alpaca, escogiéndose para ambas variable aleatoriamente 25 datos; haciendo uso de los software EXCEL y SPSS, se obtuvo una temperatura promedio de control de 40.65°C, el promedio de la humedad relativa controlada de 23.54 %, materia seca de la masa de carne de alpaca en 26% de la masa inicial y un tiempo de secado de 6h.

La prueba de hipótesis de las variables de temperatura y de humedad relativa, nos determinó que el sistema de control de temperatura y humedad relativa fue regulado correctamente para el control de las mismas.

Para la prueba de hipótesis de la variable materia seca de la masa de carne de alpaca, el sistema de control de temperatura y humedad relativa, mejora el secado de la carne de alpaca (28.65%) de la masa inicial, al secado de la carne de alpaca de forma tradicional (26.54 %) de la masa inicial; en cuanto al tiempo de secado de la masa de carne, el sistema de control de temperatura y humedad relativa lo realiza en 6h y el método tradicional en 24 horas.

Los Investigadores

RESULTADOS

4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados de los datos tomados se presentan en el anexo, "El trabajo de investigación titulado "SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA Y DE HUMEDAD PARA EL SECADO DE CARNE EN LA CIUDAD DE HUANCAVELICA"; presenta en este capítulo, los resultados del procesamiento de los datos tomados en la ciudad de Huancavelica.

4.1.1 Sistema de secado de carne de alpaca y toma de medidas

En esta sección se presenta el sistema deshidratador de carne figura. 4.1, los circuitos electrónicos utilizados para el control de la temperatura y de la humedad relativa figura 4.2, como se detalla:

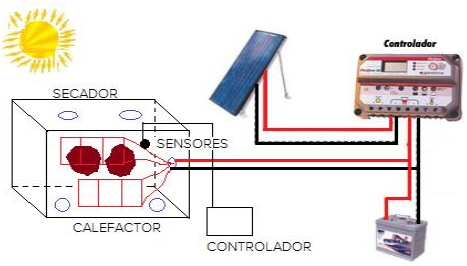


Figura. 4.1, Transferencia de energía y control de T y HR. Fuente elaboración propia

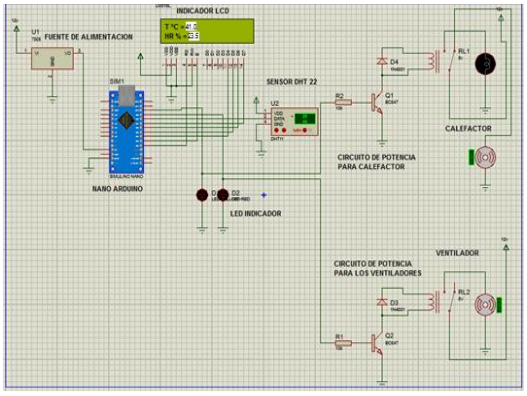


Figura. 4.2, Circuito de control de Temperatura y Humedad relativa. Fuente elaboración propia

En la figura 4.2. Se observa que es necesario una fuente de alimentación de 5V DC para la alimentación del nanoarduino y el LCD, el mismo que se deriva con un 7805 de la batería de 12V. el LCD utilizado es de 16x2 que tiene dos líneas de 16 caracteres por línea.

El nano arduino basado en el microcontrolador ATMEL, nos permite controlar la temperatura y humedad relativa, con su programación en C, y sus sentencias configuradas que permiten el control PID.

El sensor de temperatura y humedad relativa el DTH22 es uno de los sensores más económicos de este tipo y preciso, calibrado en fabrica que mide la humedad relativa de 20% a 95% con margen de error del 1%, para la temperatura de 0 °C a 100°C, con error del 0.01%, que se alientan con una fuente de alimentación de 5VDC; y los ventiladores usados son de los ventiladores de las fuentes de alimentación de PCs.

La función de transferencia del sistema secador de charqui es:

$$G_{(s)} = \frac{T_{(S)}}{q_{in(S)}} = \frac{K}{\tau S+1} e^{-t_d S}$$

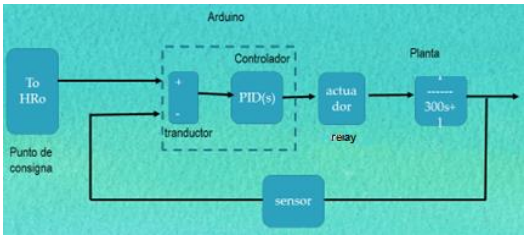


Figura. 4.3 Diagrama de bloques de sistema de control de temperatura. Fuente elaboración propia

El controlador está diseñado con arduino y con programa en C, para el control de la temperatura y humedad relativa es el DTH22, al aumento de la temperatura del secador hasta 60°C sin control al medio día, el controlador PID controla la temperatura a un punto de control programado en 43 °C y 22 % de HR, el controlador está cargado con el programa de control PDI, el mismo que se presenta en las siguientes sentencias en lenguaje C:

```
#include <LiquidCrystal.h> (usar libreria del cristal liquid)
LiquidCrystal lcd(12,11,5,4,3,2);////(rs,e,D4,D5,D6,D7) ( conf de los pines
#include <PID_v1.h> (util la libreria
double sp,setpoint,input,in,out,output, temperatura;
int sal,val;
int Estufa=8;
int ventilador=9;
PID Secador(&in,&out,&sp,0.1195,0.06,0.06,DIRECT);
void setup() (function para la programacion d los pines)
{
 // put your setup code here, to run once:
 lcd.begin(16,2);
 pinMode(Estufa,OUTPUT);
 pinMode(ventilador,OUTPUT);
 delay(100),
 setpoint=analogRead(0);
 sp=0;
 Serial.begin(9600);
 Serial.println(sp);
 Secadgor.SetSampleTime(20);
 Secador.SetMode(AUTOMATIC);
```

```
 Secador.SetOutputLimits(-255,255);
}
void loop()
{
 // put your main code here, to run repeatedly:
 input=analogRead(0);
 val=setpoint-input;
 in=val;
 Secador.Compute();
 temperatura =out;
 if( temperatura < 41.0)
  {
   digitalWrite(ventilador, LOW);
   digitalWrite(Estufa, HIGH);
  }
 if((temperatura >= 42.0 )&&( temperatura <=
43.0))
  {
   digitalWrite(ventilador, HIGH);
   digitalWrite(Estufa, LOW);
  }
 Serial.print(setpoint);
 Serial.print(" ");
 Serial.print(in);
 Serial.println(temperatura);
 delay(200);
 lcd.setCursor(0,0);
 lcd.print("Temperatura");
 delay(200);
 lcd.setCursor(0,1);
 lcd.print(temperatura);
 delay(200);
}
```

4.1.2 Análisis de las variables medidas

Para este análisis se tendrá que analizar en una primera parte los datos observados para el secado de la carne de alpaca en forma tradicional; en segundo lugar se analizan los datos obtenidos con el sistema de secado diseñado con control de la temperatura y humedad relativa y luego se hicieron la comparación de las medias de cada variable e inferir la prueba de hipótesis con el apoyo de la estadística inferencial.

Los datos tomados en el secado de carne en el modo tradicional, son 27 en el proceso de secado, se selecciona 25 datos en forma aleatoria, lo que se muestra a continuación:

En forma tradicional la carne de alpaca se seca a una temperatura promedio de 23.28°C y una humedad relativa promedio de 46.08% en un tiempo de 24 horas a pleno sol del día esto es en tres días.

Los datos de peso de las observaciones se muestran a continuación.

Tabla 4.1 Muestra de pesos

.

Observación	Peso Inicio (gr)	Peso Final (gr)	Secado de carne (%)	Materia seca (%)
W1	360	100	72.22	27.78
W2	180	50	72.22	27.78
W3	200	60	70.00	30.00
W4	200	60	70.00	30.00
W5	100	20	80.00	20.00
W6	80	20	75.00	25.00
W7	200	80	60.00	40.00

Fuente: elaboración propia.

El promedio de la masa seca de carne de alpaca obtenida después de secar en la forma tradicional es de 28.65%, esto en tres días a pleno sol desde las 9:00 am hasta las 6:00 pm.

Tabla 4.2 Estadística descriptiva de

Media	262.38
Error típico	28.74
Mediana	260.00
Moda	260.00
Desviación estándar	76.03
Varianza de la muestra	5780.42
Curtosis	1.89
Coeficiente de asimetría	0.63
Rango	250.00
Mínimo	150.00
Máximo	400.00
Suma	1836.67
Cuenta	7.00
Nivel de confianza (95.0%)	70.32

Fuente elaboración propia

La media de la cantidad de la humedad en base seca es de 262.38 %, esto quiere decir que la cantidad de masa de charqui disminuida de la inicial con respecto a la masa seca final, medido en %.

En este punto se muestran los datos tomados de la temperatura (T °C), humedad relativa (HR) y Peso, obtenidos del secador solar con control de temperatura y humedad relativa; se tomó los 112 datos de cada variable en forma aleatoria de un total de 157 datos con el EXCEL:

Tabla 4.3 Datos aleatorios de temperatura y humedad relativa

N°	T (°C)	HR (%)	N°	T (°C)	HR (%)	N°	T (°C)	HR (%)
1	39	24	39	43	22	77	40	24
2	39	23	40	42	23	78	41	23
3	41	24	41	43	25	79	43	23
4	41	25	42	42	25	80	42	23
5	39	23	43	41	27	81	38	23
6	39	22	44	38	26	82	38	25
7	42	22	45	37	23	83	37	23
8	42	23	46	35	24	84	35	23
9	43	25	47	39	25	85	40	23
10	43	22	48	39	23	86	40	23
11	43	23	49	41	22	87	41	23
12	43	27	50	39	22	88	40	22
13	42	26	51	39	23	89	42	22
14	43	23	52	42	25	90	42	23
15	38	23	53	42	22	91	43	25
16	38	24	54	43	23	92	43	22
17	35	25	55	43	23	93	43	23
18	40	23	56	43	23	94	43	23
19	41	22	57	42	23	95	42	23
20	41	22	58	43	24	96	40	23
21	39	22	59	39	24	97	39	24
22	42	23	60	39	24	98	39	24
23	42	25	61	39	23	99	39	24
24	43	22	62	43	25	100	39	23
25	43	23	63	43	22	101	40	23
26	43	23	64	42	22	102	40	23
27	42	25	65	43	26	103	42	23
28	43	23	66	42	22	104	42	23
29	42	23	67	42	25	105	43	22
30	38	23	68	41	22	106	43	22
31	37	24	69	38	23	107	42	23
32	41	24	70	38	25	108	43	25
33	42	25	71	35	25	109	42	23
34	42	23	72	39	27	110	41	23
35	40	22	73	39	26	111	40	23
36	42	22	74	35	24	112	40	24
37	42	22	75	35	29			
38	43	23	76	40	28			

Fuente elaboración propia

A continuación se realiza el análisis de la estadística descriptiva de las variables temperatura y humedad relativa, recogida por el sensor DTH 22, datos analógicos que es convertido por el conversor análogo digital del nano arduino, estos datos tomados son programados en el microcontrolador para el control PID de la temperatura y para mostrarlo

en el LCD 16x2, los datos leídos en el LCD se muestran a continuación:

Tabla 4.4 Estadística descriptiva de Temperatura	
Media	40.65178571
Error típico	0.208687532
Mediana	41
Moda	42
Desviación estándar	2.208541247
Varianza de la muestra	4.87765444
Curtosis	0.153770784
Coeficiente de asimetría	-0.891251226
Rango	8
Mínimo	35
Máximo	43
Suma	4553
Cuenta	112
Nivel de confianza (95.0%)	0.413528276

Fuente elaboración propia

Se puede observar que la media de temperatura es 41.65 °C, la mediana es de 41 °C y la moda es 42°C, el punto de control programado es de 41.0 °C, por lo que la mediana y la moda se acercan al punto de control.

Tabla 4.5 Estadística descriptiva de HR	
Media	23.54464286
Error típico	0.132353458
Mediana	23
Moda	23
Desviación estándar	1.400697335
Varianza de la muestra	1.961953024
Curtosis	2.018293224
Coeficiente de asimetría	1.318704089
Rango	7
Mínimo	22
Máximo	29
Suma	2637
Cuenta	112
Nivel de confianza(95.0%)	0.262267212

Fuente elaboración propia

Se puede observar que la media de la humedad relativa es 23.54 %, la mediana es de 23 %y la moda es 22 %, el punto de control programado es de 23.5 %, por lo que la mediana y la moda se acercan al punto de control. Del mismo modo analizamos los datos de la humedad en base seca, estos datos fueron obtenidos al pesar la masa inicial y la masa seca final, los datos se muestran en las siguientes tablas de frecuencia 4.6 y 4.7:

Tabla 4.6 Humedad en base seca (%)

		F	%	% válido	% acumulado
Válidos	192.86	1	4.0	4.0	4.0
	220.00	1	4.0	4.0	8.0
	221.43	1	4.0	4.0	12.0
	224.32	1	4.0	4.0	16.0
	236.00	1	4.0	4.0	20.0
	238.46	1	4.0	4.0	24.0
	242.11	1	4.0	4.0	28.0
	244.83	1	4.0	4.0	32.0
	245.00	1	4.0	4.0	36.0
	248.39	1	4.0	4.0	40.0
	256.86	1	4.0	4.0	44.0
	260.00	1	4.0	4.0	48.0
	262.50	1	4.0	4.0	52.0
	263.64	1	4.0	4.0	56.0
	267.65	1	4.0	4.0	60.0
	275.00	2	8.0	8.0	68.0
	277.78	1	4.0	4.0	72.0
	283.33	1	4.0	4.0	76.0
	288.89	1	4.0	4.0	80.0
	300.00	1	4.0	4.0	84.0
	316.67	1	4.0	4.0	88.0
	329.73	1	4.0	4.0	92.0
	340.00	1	4.0	4.0	96.0
	364.29	1	4.0	4.0	100.0
	Total	25	100.0	100.0	

Fuente: elaboración propia

		Humedad en base seca (%)
N	Válidos	25
	Perdidos	0
Media		266.9896
Mediana		262.5000
Moda		275.00
Desv. típ.		40.19752
Varianza		1615.840
Asimetría		.664
Error típ. de asimetría		.464
Curtosis		.406
Error típ. de curtosis		.902
Rango		171.43
Mínimo		192.86
Máximo		364.29
Percentiles	25	240.2850
	50	262.5000
	75	286.1100

Fuente: elaboración propia

De la tabla 4.7, se puede observar que la humedad en base seca promedio que se logra obtener de la masa seca de la carne de alpaca, en el sistema de secado controlando la temperatura y humedad relativa es de 266.98 % veces de la masa seca.

En la figura 4.4 se observa el histograma de los datos de la humedad en base seca, y se observa que la mayor frecuencia de la humedad en base seca de la masa seca final en porcentaje, que se obtiene en el sistema del secador solar controlado de temperatura y humedad, es del 225% al 250%; también se observa que la curva de distribución de los datos del secado de carne es cuasi a la distribución normal.

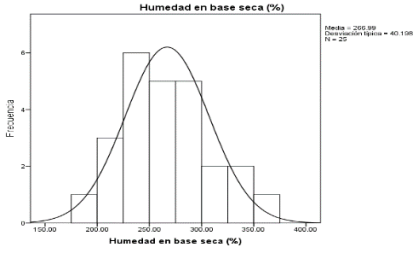


Figura. 4.4: Histograma de la humedad en base seca de la carne de alpaca en el secador solar controlado.

Los tiempos de secado que se consideró con el secador solar con control de la temperatura y humedad relativa, por cada experiencia fue de seis (6) horas, esto empezando de las 10:00 A.M hasta la 2:00 P.M.

La siguiente tabla muestra los datos aleatorios de la masa seca de carne de alpaca obtenida del sistema de control de temperatura y humedad relativa.

Observación	Materia seca (%)
1	22.86
2	27.20
3	24.00
4	27.59
5	28.70
6	24.00
7	27.78
8	31.25
9	25.00
10	27.86
11	23.27
12	23.27
13	28.02
14	24.00
15	27.59
16	27.78
17	31.11
18	26.67
19	34.15
20	26.67
21	26.09
22	27.78
23	26.09
24	21.54
25	23.27

Fuente: elaboración propia

A continuación, se muestra los datos estadísticos descriptivos de la materia seca obtenida con el sistema de control.

Tabla. 4.8 Estadística descriptiva de la materia seca de carne de alpaca

Media	26.54
Error típico	0.59
Mediana	26.67
Moda	24.00
Desviación	2.96
Varianza de la	8.73
Curtosis	0.51
Coeficiente	0.58
Rango	12.61
Mínimo	21.54
Máximo	34.15

Suma	663.51
Cuenta	25.00
Nivel de	1.22

Fuente elaboración propia

4.2 PROCESO DE PRUEBA DE HIPÓTESIS

A continuación presentaremos la prueba de hipótesis de la hipótesis general e hipótesis específicas, para ello se utilizó los conceptos básicos de la Estadística Descriptiva y las herramientas de los Software EXCEL y SPSS, como detallamos a continuación el proceso.

4.2.1 Prueba de hipótesis de la temperatura

En seguida presentamos la hipótesis planteada: la temperatura de control en el interior del secador solar es de 41°C.

¿El sistema de control de temperatura y humedad relativa, para secar carne de alpaca podrá ser regulado a 41°C?

Ho: El sistema de control de temperatura y humedad relativa, controla la temperatura de secado de carne de alpaca a 41.0°C.

H1: El sistema de control de temperatura y humedad relativa, no controla la temperatura de secado de carne de alpaca a 41.0°C.

Hipótesis estadística:

Ho: $\mu_o = \mu_1$

H_1: $\mu_o \neq \mu_1$

Siendo Ho y H1 la hipótesis nula y la alterna respectivamente.

Tabla 4.9. Nivel de confianza significancia.

vel de confianza 1-ɑ	Nivel de significancia ɑ	servación
0,95	0,05	gnificativa

Fuente: elaboración propia.

Con la prueba de "t" de medias poblacionales de los datos "μ" y tomando un nivel de significancia ɑ= 0,05, se determina el "t" de prueba "t_o", de la hoja de cálculo EXEL utilizando el comando to=INV.T.2C(0.025,111)= 2.2722; calculando el valor de "t" de los datos tomados para la comparación, usando la siguiente ecuación:

$$t = \frac{u_1 - u_o}{S/\sqrt{n}} = \frac{40.65-41}{2.208/\sqrt{111}} = -1.66$$

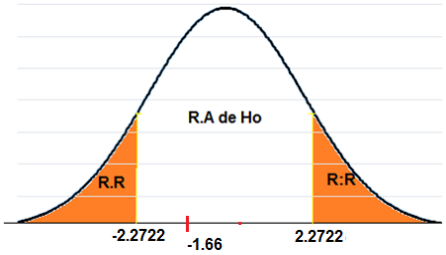


Figura. 4.6 La ***"to"*** de la variable temperatura y su ubicación en la distribución normal

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.10. Decisión de la Hipótesis nula "Ho".

mparación	Decisión	Conclusión
to = t_1	Región de Aceptación de Ho	Se acepta la hipótesis Nula (Ho)
to ≠ t_1	Región de rechazo de Ho	Se acepta la hipótesis Alterna (H1)

Fuente: elaboración propia.

Como t=-1.66 se ubica en la región de aceptación de la hipótesis nula figura 4.6, se acepta la hipótesis nula, podemos aseverar con una confianza del 95%, podemos afirmar que el sistema de control de temperatura y humedad relativa, ha sido adecuadamente regulada para el control de la temperatura a 41°C.

4.2.2 Prueba de hipótesis de la humedad relativa

En seguida presentamos la hipótesis planteada: la humedad relativa de control en el interior del secador solar es el 23.5%.

¿El sistema de control de temperatura y humedad relativa para secar carne de alpaca ha sido regulado para obtener una humedad relativa del 23.5%, en el interior del secador?

Ho: El sistema de control de temperatura y humedad relativa, controla la humedad

relativa en el interior del secador en el secado de carne de alpaca al 23.5%.

H1: El sistema de control de temperatura y humedad relativa, no controla la humedad relativa en el interior del secador en el secado de carne de alpaca al 23.5%.

Hipótesis estadística:

Ho: $\mu_o = \mu_1$

H_1: $\mu_o \neq \mu_1$

Siendo Ho y H1 la hipótesis nula y la alterna respectivamente.

Tabla 4.11. Nivel de confianza y significancia.

Nivel de confianza 1-α	Nivel de significancia α	Observación
0,95	0,05	Significativa

Fuente: elaboración propia.

Con la prueba de "t" de medias poblacionales de los datos "μ" y tomando un nivel de significancia α= 0,05, se determina el "t" de prueba "t_o", de la hoja de cálculo EXEL utilizando el comando to=INV.T.2C(0.025,111)= 2.2722; calculando el valor de "t" de los datos tomados para la comparación, usando la siguiente ecuación:

$$t = \frac{u_1 - u_o}{S/\sqrt{n}} = \frac{23.544 - 23.5}{1.40/\sqrt{111}} = 0.3358 \qquad 4.3$$

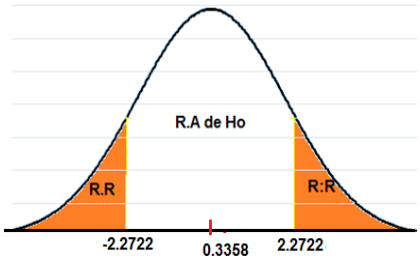


Fig. 4.7 La ***"to"*** de la variable humedad relativa y su ubicación en la distribución normal.

Fuente: elaboración propia

Tabla 4.12.
Decisión de la Hipótesis nula "Ho".

Comparación	Decisión	Conclusión
to = t_1	Región de Aceptación de Ho	Se acepta la hipótesis Nula (Ho)
to ≠ t_1	Región de rechazo de Ho	Se acepta la hipótesis Alterna (H1)

Fuente: elaboración propia.

Como t=0.3358 se ubica en la región de aceptación de la hipótesis nula figura 4.7, se acepta la hipótesis nula, podemos aseverar con una confianza del 95%, que el sistema de control de temperatura y humedad relativa, ha sido adecuadamente regulada para el control de la humedad relativa a 23.5%.

4.2.3 Prueba de hipótesis de la materia seca de la masa de carne de alpaca

En seguida presentamos la hipótesis planteada: El sistema electrónico de secado hermético, proporciona la materia seca de la carne de alpaca en 28.65%.

¿El sistema de control de temperatura y humedad relativa para secar carne de alpaca, proporciona la materia seca de la carne de alpaca en 28.65%?

Ho: El sistema de control de temperatura y humedad relativa, proporciona materia seca de la carne de alpaca en 28.65%

H1: El sistema de control de temperatura y humedad relativa, proporciona materia seca de la carne de alpaca menor al 28.65%

Hipótesis estadística:

Ho: $\mu_o \geq 28.65\%$

H_1: $\mu_1 < 28.65\%$

Siendo Ho y H1 la hipótesis nula y la alterna respectivamente.

Tabla 4.13. Nivel de confianza y significancia.

Nivel de confianza 1-α	Nivel de significancia α	Observación
0,95	0,05	Significativa

Fuente: elaboración propia.

Con la prueba de "t" de medias poblacionales de los datos "μ" y tomando un nivel de significancia α= 0,05, se determina el "t" de prueba "t_o", de la hoja de cálculo EXEL utilizando el comando to=INV.T.(0.05,24)=-1.71088; calculando el valor de "t" de los datos

tomados para la comparación, usando la siguiente ecuación:

$$t = \frac{u_1 - u_o}{S/\sqrt{n}} = \frac{26.54 - 28.65}{2.96/\sqrt{24}} = -3.4921$$

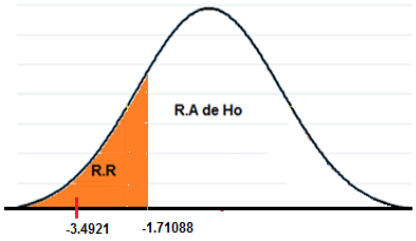


Fig. 4.8 La ***"to"*** de la variable masa seca de la carne de alpaca y su ubicación en la distribución normal. Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.14. Decisión de la Hipótesis nula "Ho".

Comparación	Decisión	Conclusión
to ≥ t_1	Región de Aceptación de Ho	Se acepta la hipótesis Nula (Ho)
to < t_1	Región de rechazo de Ho	Se acepta la hipótesis Alterna (H1)

Fuente: elaboración propia.

Como t=-3.4921 se ubica en la región de rechazo de la hipótesis nula figura 4.9, se acepta la hipótesis alterna, podemos aseverar con una confianza del 95%, que el secador solar hermético proporciona una masa seca de carne de alpaca menor al 28.65 % .

El sistema electrónico de secado cuasihermético, seca la carne de alpaca en 6 horas que en menor al secado tradicional de 24 horas en pleno sol del día.

4.3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De los resultados obtenidos en la prueba de hipótesis para la temperatura, se puede discutir:

- La temperatura media en un día soleado en la ciudad de Huancavelica es de 23.272°C, este valor de temperatura se eleva a 41 °C en el interior del sistema de secado, el calor acumulado en el latón dentro del sistema es por la radiación solar, que luego irradia este calor hacia el aire concentrado dentro del secador, para luego por convección transferir el calor hacia la masa de la carne de alpaca y por medio de ella secar la carne; el control de temperatura a 41 °C permite que el secado sea homogéneo en toda la masa.
- La humedad relativa en la ciudad de Huancavelica es de 46.08%, si la humedad relativa se disminuye considerablemente, el secado de la masa de carne de alpaca secara en menos tiempo; en el interior del secador controlado, se logró disminuir a una humedad relativa del 23.5%, esta humedad permitió reducir el tiempo de sacado de la masa de carne de alpaca a 6 horas, comparando con el tiempo de secado tradicional que es de 24 horas.
- La cantidad de masa seca de la carne de alpaca obtenida en la forma tradicional es de 28.65% del peso inicial, utilizando el secador con el sistema de control de temperatura y humedad relativa, se logró obtener una masa de carne de alpaca seca de 26.54%.
- El tiempo utilizado para secar la carne de alpaca y obtener el charqui con el método tradicional es de 24 horas en tres días soleados; en el caso del secador con control, las horas utilizadas para el secado de la carne de alpaca y obtener el charqui es de seis horas.

CONCLUSIONES

Al culminar el trabajo de investigación titulado "SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA Y DE HUMEDAD PARA EL SECADO DE CARNE EN LA CIUDAD DE HUANCAVELICA", se presenta las siguientes conclusiones:

- El secador solar implementado denominado "sistema de control de temperatura y humedad relativa", controla la temperatura a 41 °C en su interior en el proceso de secado o secado de carne de la carne de alpaca en la ciudad de Huancavelica.
- El secador solar implementado denominado "sistema de control de temperatura y humedad relativa", controla en 23.5% en su

interior en el proceso de secado o deshidratación de la carne de alpaca en la ciudad de Huancavelica.

- El secador solar implementado denominado "sistema de control de temperatura y humedad relativa", proporciona materia seca de la carne de alpaca menor al 28.65% de la masa inicial, en su interior, en el proceso de secado o deshidratación de la carne de alpaca en la ciudad de Huancavelica.
- Se puede aprovechar la energía solar, en especial su poder calorífico para el secado de otros tipos de carne como: pollo, gallina, trucha, res y de ovino, con sistemas de secado solar controlando la temperatura y humedad relativa en su interior, en la ciudad de Huancavelica.

RECOMENDACIONES

- A los profesionales de Ingeniería, se les recomienda aprovechar la radiación solar de la región de Huancavelica, que en promedio es de 5.5KWatt H/m2, con el diseño de secadores solares controlados electrónicamente, para el secado de carne, granos, tubérculos, frutas y hierbas aromáticas.
- Aprovechar los datos tomados en este proyecto, como base para diseño de nuevos sistemas secadores solar controlados, para diseño de producción de charqui en forma semi industrial.
- Para los interesados en el diseño de secadores solar, tener presente las características del colector a utilizar, como el de las contantes de absorción sea próximo a uno (1) y el de reflexión próxima a uno (1), o se aproxime a un cuerpo negro.
- Tener presente que las pérdidas por radiación de reflexión, del calor absorbido por el colector, sea despreciable, esto escogiendo una buena cobertura donde incide la radiación solar, utilizando vidrio de 6mm de espesor.
- Lo que queremos recomendar y destacar en éste proyecto y para otros, es que el control adecuado de la temperatura y de la humedad relativa en el interior del secador sea bien regulado y su valor sea en el caso de la temperatura mayor al doble de la temperatura ambiente y de la humedad relativa menor que la mitad de la humedad relativa del ambiente, esto para un secado uniforme del producto a secar.
- Se recomienda la utilización de controladores de última generación en el sistema de control PID, permite su fácil programación y control de los ventiladores para la entrada del aire fresco y salida del aire caliente; del mismo modo para el control PID de la temperatura.
- Se recomienda la experimentación del sistema de control electrónico varias veces, hasta lograr la regulación de la temperatura y humedad relativa en el interior del sistema, experimentando con varios tamaños de ventiladores hasta lograr los adecuados para el sistema de control.
- A la UNH promover el desarrollo de investigaciones multidisciplinarias brindándoles el soporte económico, transporte, tiempo, etc., a los grupos de investigación, ya que actualmente no se puede trabajar en forma aislada frente a la realidad. De esta manera existirá soluciones concretas y reales de problemáticas que aquejan a nuestro departamento y país.
- Por medio de la UNH, impulsar el desarrollo de proyectos para el aprovechamiento de la energía solar: para calefacción de las aulas, calentamiento de agua para duchas, para generar energía eléctrica no convencional etc.; a fin de desarrollar nuevos prototipos para la zona rural de nuestra región.

BIBLIOGRAFÍA

Peralta Meza Raúl; Quiñones Quispe Carlos. (08 de abril de 2008). Curso Básico de Pic16F877. Obtenido de Curso Básico de Pic16F877: http://www.aloha2.com.ar/Tincho/Descargas/Electronica/PIC16F877.pdf

Ávila Gómez Adrián Enrique, Mendoza Fandiño Jorge Mario y Beltrán Sarmiento Julio Fernando. (2010). Evaluación energética de un colector solar de placa plana de doble cubierta. Córdova: Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Montería.

Cabrera Cifuentes Gerardo; Marín César . (2009). Modelo estable de un absorbedor solar con lecho de rocas para secado por calentamiento de aire. El Hombre y la Máquina No 32, 13.

Vidal Santo Adrián , Velázquez Camilo Oscar, Iñaki De La Cruz Roberto, Ortega Montiel Gerardo. (2012). Diseño y construcción de un secador solar portátil. Congreso internacional de investigación, 6.

Vidal Santo Adrián; Velázquez Camilo Oscar; Iñaki De La Cruz Roberto. (2012). Diseño y construcción de un secador solar portátil. Academia Journals, 6.

Agro, W. (05 de 02 de 2013). SECADO SOLAR. Obtenido de SECADO SOLAR: http://www.agrowaste.eu/wp-content/uploads/2013/02/SECADO-SOLAR.pdf

Ávila Gómez, Adrián Enrique; Mendoza Fandiño Jorge Mario; Beltrán Sarmiento Julio Fernando. (2010). Evaluación energética de un colector solar de placa plana de doble cubierta. Redalyc, 21.

carlos, M. Y. (2012). Colectores Solares de aire para el secado de maiz. Madrid: UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID, ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR.

Clodoaldo Sivipaucar, Herve Curo, Huancahuari Eder, Llantoy Víctor y Valderrama Andrés. (2008). CÁLCULO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SECADOR SOLAR POR CONVECCIÓN NATURAL PARA EL SECADO DE PLANTAS MEDICINALES NO TRADICIONALES . Centro de Desarrollo e Investigación en Termofluidos CEDIT , 30.

Cordero Fernández, A. G. (2008). Estadística Experimental. Lima- Perú: Grapex.

Durán Gonzalo josé, Condorí Miguel Angel, Echazú Ricardo, Díaz Russo Gabriel. (2010). SECADOR SOLAR HÍBRIDO PARA LA PRODUCCIÓN CONTINUA A ESCALA INDUSTRIAL DE PIMIENTO PARA PIMENTÓN. IV Conferencia Latino Americana de Energía Solar (IV ISES_CLA) y XVII Simposio Peruano de Energía Solar (XVII- SPES), 12.

Fernández Chavesta, Juan. & Fernández Chavesta, José. (2007). Estadística Aplicada I (Vol. 1). Lima-Perú: San Marcos.

Fonseca Cristina; Huarachi Eddy; Chura William; Cotrado George. (2008). Guía de las buenas prácticas de procesamiento para la producción artesanal de la tunta. Puno Perú: Ministerio de Agricultura Perú.

Germán Leonardo Roa Marín, Diego Bladimir Ortega Torres. (2011). Diseño y Construcción de un Secador Solar por Convección de Aire Caliente Automatizado de Pequeña Escala, para elSecado de café para la Universidad Nacional de Loja. Loja: Área de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables, UN de Loja.

LÉVANO GAMBOA, L. J. (2012). COMPARACION DE DOS FORMULAS DE CEREALTIPO INFLADOELABORADO A PARTIR DE UNA MEZCLA DE HARINA DE TARWI. Lima: Universidad Cesar Vallejo.

Martín Almada; Stella Cáceres María; Machaín Singer Marta; Claude Pulfer Jean. (2005). Guia de uso de secaderos solares para frutas, legumbres,hortalizas, plantas medicinales y carnes. Asunción Paraguay: Fundación Celestina Pérez de Almada.

Martín Yuste, C. (2013). COLECTORES SOLARES DE AIRE PARA EL SECADO DE MAÍZ. MADRID: UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR.

Nel Quezada, L. (2012). Estadística con SPSS20. Lima-Perú: Macro.

Ortega Bonilla, R. A. (2012). CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE MANTAS ELABORADAS CON CARNE DE CABRA SERRANA Y OVEJA CHURRA GALEGA BRAGANZANA. Braganga: Instituto Politecnico, escuela Superior de Agraria.

Plaza Espinoza Xavier; Yange Zambrano William. (2012). Diseño e implementación de una secadora hibrida para el control y monitoreo del proceso de secado del cacao. Cuenca - Ecuador: Universidad Politecnica Salesiana.

Salvá Ruiz, B. K. (2009). CARACTERIZACIÓN DE LA CARNE Y CHARQUI DE ALPACA (Vicugna pacos). Leon-España: Universidad de León.

Sivipaucar Clodoaldo; Curo Herve; Huancahuari Eder; Llantoy Víctor; Valderrama Andrés. (2008). CÁLCULO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SECADOR SOLAR POR CONVECCIÓN NATURAL PARA EL SECADO DE PLANTAS MEDICINALES NO TRADICIONALES. Centro de Desarrollo e Investigación en Termofluidos CEDIT, 30.

Stef de Haan; Taipe Palomino Ana;Ramos Cóndor Armando; Ying de Salazar Rosa Ng; Portillo Zoraida. (2006). Catálogo de variedades de papa nativa de Huancavelica-Perú. Lima: Metrocolor.

Stef de Haan;Taipe Palomino Ana; Ramos Cóndor Armando;Ying de Salazar Rosa Ng; Portillo Zoraida; Quinyero Bendezú Genaro Rodrigo. (2002). Catálogo de variedades de papa nativa de Huancavelica-Perú. Lima: Metrocolor.

Sub gerencia Agraria , H. (2008). PLAN ESTRATÉGICO REGIONAL DEL SECTOR AGRARIO DE HUANCAVELICA 2009 – 2015. Huancavelica: GOBIERNO REGIONAL DE HUANCAVELICA.

Valdéz Marín, P. (4 de Setiembre de 2008). Manual de deshidratación I. Obtenido de Manual de deshidratación I: http://manualdeshidratacion.blogspot.pe/

Vásquez Campos , D. D. (2011). PROCESAMIENTO DE LA PAPA. Agroindustrias Definiciones y Realidades, 6.

Vidal castrejon, M. (2013). Diseño y construcción de un deshidratador hibrido con energías alternativas . Culhuacan: Escuela Superior de Ingenieria Mecanica y Electrica unidad Culhuacan .