

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

ESCUELA DE POSGRADO

**SECCIÓN DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**



**“DISEÑO AUTOMATIZADO DE UN INVERNADERO
PARA LA CRIANZA DE CARACOLES USANDO
ENERGÍA EÓLICA PARA LA LOCALIDAD DE PAIJAN-
TRUJILLO”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN
CIENCIAS DE LA ELECTRÓNICA CON MENCIÓN EN CONTROL Y
AUTOMATIZACIÓN**

**RAÚL SIXTO HINOJOSA SANCHEZ
DAVID LLULLUY NUÑEZ**

**Callao, 2015
PERÚ**

HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACIÓN

MIEMBROS DEL JURADO

PRESIDENTE : Dr. JUAN HERBER GRADOS GAMAMRRA

SECRETARIO : Dr. CIRO ITALO TERAN DIANDERAS

MIEMBRO : Dr. ARMANDO PEDRO CRUZ RAMIREZ

MIEMBRO : Dr. RICARDO RAUL RODRIGUEZ BUSTINZA

ASESOR : Msc. JACOB ASTOCONDOR VILLAR



DATOS DE APROBACIÓN

FECHA DE APROBACIÓN : 22 DE ENERO DE 2016

RESOLUCIÓN DIRECTORIAL : Nª 037-2015-DSPG-FIEE

DEDICATORIA

Dedicamos este estudio de investigación a nuestros queridos padres y familia por quienes nos esforzamos para seguir superándonos profesionalmente.

AGRADECIMIENTO

Deseamos expresar nuestro agradecimiento muy especial a nuestro asesor el Msc Jacob Astocondor Villar y al Dr. Pedro Huamani Navarrete, quienes nos han orientado y asesorado en todo momento en la confección de este trabajo de investigación.

ÍNDICE

I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	9
1.1 Identificación del problema	9
1.2 Formulación de problemas.....	10
1.3 Objetivos de la investigación.....	10
1.4 Justificación.....	11
II. MARCO TEÓRICO.....	14
2.1 Antecedentes del estudio.....	14
2.2 Bases teóricas.....	20
2.3 Fisiología del Caracol	26
2.4 La Helicultura en el Perú y en otros países.....	39
2.5 Transformación de energía eólica en energía eléctrica	42
2.6 Sensores y actuadores empleados para el modelamiento	57
2.7 Integración de sistema para el funcionamiento del invernadero automatizado	60
III. VARIABLES E HIPOTESIS.....	63
3.1 Definición de las variables	63
3.2 Operacionalización de variables	63
3.3 Hipótesis general e hipótesis específicas	64
IV. METODOLOGÍA	66
4.1 Tipo de investigación.....	66
4.2 Diseño de la investigación.....	66
4.3 Modelamiento matemático del invernadero	73
4.4 Población y muestra.....	101

4.5	Técnicas e instrumentación de recolección de datos	102
4.6	Procedimientos de recolección de datos	102
4.7	Procesamiento estadístico y análisis de datos.....	102
4.8	Evaluación de costos	103
V. RESULTADOS		104
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS		106
6.1	Contrastaciones de hipótesis con los resultados	106
6.2	Contrastaciones de resultados con otros estudios similares.....	107
VII. CONCLUSIONES.....		108
VIII. RECOMENDACIONES.....		109
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		110
ANEXOS.....		113
	Matriz de consistencia.....	114
	Decreto Supremo 007-2004-PRODUCE	116
	Resolución Ministerial 0273-2015-MINAGRI	117
	Cuadro de Temperaturas Max-Min y Humedad Relativa de PAIJAN	118
	Simulación en Matlab	119
	Software de simulación con Micro Controlador ATMEL AVR	121
	Modelo simulado con Microcontrolador ATMEL AVR	122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 2.1 Partes internas de un caracol	22
Figura N° 2.2 Tipo de alimento del caracol.....	32
Figura N° 2.3 Sistema de cría a campo abierto	37
Figura N° 2.4 Sistema de cría mixto	38
Figura N° 2.5 Flujo de aire barrido por el rotor	45
Figura N° 2.6 Estructura de un generador eólico	49
Figura N° 2.7 Flujo de potencias en un sistema de captación y aprovechamiento de energía eólica.	52
Figura N° 2.8 Instalación eólica de pequeña potencia	56
Figura N° 2.9 Sensor de temperatura y humedad relativa DHT 22 ..	58
Figura N° 2.10 Modelo del actuador para el tratamiento de la humedad relativa	60
Figura N° 2.11 Integración del sistema para el funcionamiento del invernadero automatizado	61
Figura N° 4.1 Bateria de 12VDC marca Tokyoulight	72
Figura N° 4.2 Alternador de imanes permanentes de 3Kw.....	73
Figura N° 4.3 Variación de temperatura con relación a la hora del día.	78
Figura N° 4.4 Interpolación cúbica de la temperatura vs. hora	79
Figura N° 4.5 Primer método de sintonización por Zeiger Nichols para controlador PID	80
Figura N° 4.6 Interpolación cúbica de la temperatura vs. hora ...	81

Figura N° 4.7 Respuesta al escaló de amplitud igual a 18 V	84
Figura N° 4.8 Ubicación de polos y ceros	85
Figura N° 4.9 Diagrama en bloques del controlador	86
Figura N° 4.10 Diagrama de Root Locus de temperatura	87
Figura N° 4.11 Selección del periodo crítico para la temperatura	89
Figura N° 4.12 Respuesta al escalón con amplitud igual a 18V	91
Figura N° 4.13 Estabilidad del sistema	93
Figura N° 4.14 Versión digital del proceso	94
Figura N° 4.15 Diagrama de Root Locus de HR	95
Figura N° 4.16 Diagrama en bloques del controlador	95
Figura N° 4.17 Selección del período crítico para la humedad	97
Figura N° 4.18 Estabilidad del sistema	100
Figura N° 4.19 Versión digital del proceso	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1.1 Estadística de consumo de caracol solo en Francia ..	12
Tabla N° 2.1 Parámetros óptimos de crecimiento	28
Tabla N° 2.2 Nutrientes por cada 100 gr. de carne de caracol	29
Tabla N° 2.3 Comparación alimenticia entre la carne de caracol y otras carnes	30
Tabla N° 2.4 Cuadro comparativo de crianza de caracol según el tipo.	39
Tabla N° 2.5 Valores del exponente de Hellman en función de la rigosidad del terreno	48
Tabla N° 2.6 Clasificación de los Aero generadores en función de su potencia útil	54
Tabla N° 2.7 Características de trabajo del sensor DHT 22	58
Tabla N° 2.8 Características del equipo de humidificación	60
Tabla N° 3.1 Relación de variables independientes y dependientes	64
Tabla N° 4.1 Potencia de los equipos a utilizar en el invernadero automatizado.	67
Tabla N° 4.2 Eficiencia de un Aero generador de baja potencia .	68
Tabla N° 4.3 Regla de sintonización de Zeigler-Nichols	88
Tabla N° 4.4 Constantes para el tipo de controlador	96

Tabla N° 4.5 Costos aproximados de la implementación de un
invernadero 103

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal una aplicación de la teoría de control automático aplicado a una actividad de la helicultura, que es una actividad relativamente nueva en nuestro medio, dada la alta demanda internacional en especial de los países de Europa, como veremos en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Habiendo estudiado las características biológicas de los caracoles tipo *Helix Aspersa*, se ha desarrollado un modelo matemático, que permite observar la estabilidad del sistema controlando las principales variables que interactúan en un invernadero automatizado que servirá para una crianza a gran escala con un mínimo de mortalidad, haciendo de este modelo de crianza, rentable para el helicultor.

Así mismo se ha contemplado el empleo de energía no renovable, (eólica) con el fin de producir la energía que se va a necesitar en el manejo de los equipos que van a dotar de las condiciones óptimas para su crecimiento.

ABSTRACT

The present research has as main objective application of the theory of automatic control applied to an activity of the Snail farming, which is a relatively new activity in our country, given the high international demand especially European countries, as discussed in the development of this research.

Having studied the biological characteristics of the type *Helix Aspersa* snails , it has developed a mathematical model that allows us to observe the stability of the system by controlling the major variables interact in an automated greenhouse that will serve for a large-scale breeding with minimal mortality, making this model of parenting , profitable for the helicicultor .

Also contemplated is the use of non-renewable energy (wind) in order to produce the energy that will be needed in the management of the teams that will provide optimal conditions for growth.

I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACION

1.1 Identificación del problema

En el Perú, actualmente existen muchas áreas de cultivo que no están en producción y mucho menos la aplicación de la tecnología en el sector agrario es escasa o casi nula. A medida que se incrementa la automatización, los diversos procesos que se pueden controlar y sus variables se han hecho más eficientes, con diversos sistemas de control que permitan supervisar las variables que intervienen en el mismo.

La presente tesis pretende demostrar la viabilidad tecnológica enfocada en la crianza de caracoles para exportación, dando lugar a un mejor aprovechamiento de las tierras sin cultivar y creando fuentes de trabajo para los habitantes de diferentes localidades del Perú, empleando fuentes de energía no convencional tales como la Eólica, Solar, Marítima, las cuales después de ser dimensionadas en cada localidad se implementaría, dando oportunidad a integrar a una población que vive en situación de pobreza, ya que este producto según los estudios realizados no conlleva a invertir un gran capital en forma inmediata.

La energía que se emplearía serviría para poder alimentar todo un proceso automatizado de control de temperatura, control de humedad, y ventilación así como diversos procesos en los

moluscos tales como el conteo y peso de los individuos en proceso de crecimiento.

1.2 Formulación de problemas

Problema General

¿Es posible el diseño de un sistema automatizado de un invernadero para la crianza de caracoles usando energía eólica?

Problemas específicos

- a) ¿Es posible diseñar un generador eólico para el funcionamiento de un invernadero automatizado
- b) ¿Qué tipo de invernadero se utilizará para automatizarla a fin de demostrar que la crianza de caracoles bajo condiciones controladas es mucho más óptimo.
- c) ¿Qué tipo de controlador más óptimo se podrá emplear a fin de controlar diversos tipos de variables como la Luz, temperatura, y humedad relativa, para hacer que el invernadero sea lo más productivo posible con la mínima cantidad de energía, haciéndolo más rentable.

1.3 Objetivos de la investigación

Objetivo General

Diseñar un sistema automatizado de un invernadero para la crianza de caracoles usando energía eólica para la ciudad de Paijan-La Libertad.

Objetivo Específicos

- a) Diseñar un generador eólico para el funcionamiento del invernadero automatizado.
- b) Seleccionar el tipo de invernadero que se utilizará para automatizarla a fin de demostrar que la crianza de caracoles bajo condiciones controladas es mucho más óptimo.
- c) Realizar un modelamiento matemático de un sistema que se encargue del Control Automático de variables como luz, temperatura y humedad relativa para controlar el proceso biológico de producción de los caracoles de tipo Helix Aspersa.

1.4 Justificación

Legal

En nuestro país se tiene la Ley Forestal y de Fauna Silvestre (Ley N° 27308) que da ciertas normas para el manejo de los recursos forestales y de fauna silvestre; en ese sentido en su artículo 234 explicita que la caza de algunas especies (entre ellas los Helix Aspersa) se autorizan anualmente. Para este 2015 el período de caza se autorizó por un año a partir de junio del presente mediante la Resolución Ministerial N° 0273-2015-MINAGRI (Ver anexo); por lo cual la actividad de la helicultura para el lugar de estudio está autorizada.

Económica y Social

La demanda de consumo de la carne del caracol es muy grande a nivel mundial, especialmente en Europa (España, Francia e Italia); de ellas Francia es la que tiene uno de los más altos niveles de consumo, tal como se muestra en la tabla N 1.1. En nuestro país la helicultura es todavía un área en desarrollo, por ello lo que ofertamos es pequeño comparado con la demanda a nivel mundial, lo cual es una gran oportunidad para muchos de nuestros pueblos en las zonas rurales de salir de las dificultades

Tabla 1.1 Estadísticas de consumo del caracol solo en FRANCIA

1. ESTADÍSTICAS 2011

Francia Estadísticas de Importación			
03076000: Caracoles , excepto los de mar, vivos, frescos, refrigerados, congelados, secos, salados o en salmuera			
Principales Países de Origen	Cantidad (toneladas)	Monto (Miles US\$)	% Participación en el Mercado en valor
Grecia	218	2 063 422	25,3
Turquía	185	1 455 008	17,8
Lituania	81	881 494	10,8
Rumania	78	800274	9,8
República Checa	83	754 331	9,2
Chile (Posición: 15)	1	7 876	0,10
Subtotal	646	5 962 405	73
Total	1008	8 172 908	100

Fuente: **Global Trade Atlas** (www.gtis.com)

económicas en que se encuentran y así el desarrollo social de los mismos se pueda acelerar. Ello es viable ya que nuestro país cuenta con condiciones ambientales propicias para un desarrollo adecuado de la helicultura.

Técnica

Los conocimientos a nivel tecnológico que vamos adquiriendo como ingenieros electrónicos deben siempre estar orientados a solucionar problemas concretos y aportar en mejorar la calidad de vida de las personas. Se conoce que las variables temperatura, humedad y luz influyen en el desarrollo de los caracoles y por ende de la helicicultura; por ello al hacer uso de los conocimientos de la Electrónica en el Control Automático de estas variables harán que se mejore el proceso de crianza de los caracoles y por ende se hará más moderna y rentable esta actividad.

II. MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes del estudio

2.1.1 En el Perú

Se ha realizado estudio técnico económico para la instalación de un criadero de caracoles comestibles terrestres quien demuestra que su estudio realizado sobre la factibilidad de la crianza de caracoles concluye que dadas las condiciones esenciales para el desarrollo del presente proyecto, la ejecución del proyecto es viable tecnológica y económicamente. La explotación de la crianza de caracoles comestibles terrestres en Perú es una actividad que está comenzando a desarrollarse; sin embargo, debido al impulso que está teniendo la actividad, las perspectivas de producción son interesantes. El caracol comestible terrestre de la especie *Helix Aspersa* es una fuente de proteínas de origen animal con un bajo costo de producción y puede competir en calidad con carne de aves, porcinos y vacas.

El consumo peruano de caracol comestible terrestre es mínimo con aproximadamente media tonelada anual; sin embargo, en el desarrollo del estudio se aprecia que los flujos de comercio internacional de caracol comestible terrestre han crecido, la Comunidad Europea es el principal destino de las importaciones con un 86% del total mundial, España se configura como un comprador importante con un 47% del total de

importaciones en los últimos seis años y Madrid se escoge como el destino de la producción debido a la importancia de su mercado. Teniendo en cuenta que es insignificante el mercado interno y la gran demanda de mercados mundiales, el objetivo principal de la cría de caracol comestible terrestre, en primera instancia, será la exportación. La venta de la producción se asegura a través de un convenio de compra-venta con las casas comercializadoras madrileñas. (Sonoda 2006)

2.1.2 En el Mundo

En Chile

Mediante un estudio de mercado en Chile se logró determinar la incidencia de los tres sub mercados más relevantes en el negocio de exportaciones de caracoles, siendo el proveedor, competidor y consumidor.

El sub mercado proveedor manifiesta un poder de negociación fuerte al momento de adquirirse el plantel inicial de calidad, el cual determina el éxito en los niveles de producción; pero es la alimentación la que genera los mayores costos aunque su adquisición resulte más sencilla.

El análisis del sub mercado competidor muestra a Marruecos como líder mundial en exportaciones tanto en volumen como precios aunque el producto sea de mediana calidad debido al sistema de recolección, pero le permite estar emplazado sin

competencias. No sucede lo mismo para países como Francia, Grecia e Italia, que han logrado desarrollar una destacada participación los últimos años pero con costos más altos; así como la lucha de los países latinoamericano enfrentados a barreras como la tecnología, subsidios, ubicación geográfica y canales de comercialización especializados. En general, los países exportadores que intervienen en el negocio del mercado Chileno, fluctúan tanto en presencia como posición. España como mercado consumidor es el mayor comprador de Europa, quien necesita satisfacer su fuerte demanda interna mediante la importación, así se califica como un mercado insatisfecho; esto lo ha llevado a ser el mercado potencial de las exportaciones latinoamericanas en general y especialmente Chile, que envía cerca del 95% de la producción, debido a los contratos de compra basados en la confianza de volúmenes en la entrega, sumado a la calidad del producto. La oferta chilena se caracteriza por entregas constantes según los volúmenes la diferencia es generada por sistemas de criaderos semi intensivos e intensivos, pero es notorio el efecto de estacionalidad.

La implementación del criadero con producción controlada ofrece la posibilidad de instalarlo en Puerto Montt donde las condiciones climáticas no son tan favorables para un desarrollo rápido de los caracoles. Este sistema le permite asegurar

volúmenes adecuados de entrega a los ocho meses de cría, debido al tamaño del diseño y un nivel de producción enfocado en cosechas mensuales durante los seis meses de mayor rentabilidad y en contra estación.

La alta inversión inicial es compensada con una recuperación del capital en el corto plazo, pero sería conveniente realizar una evaluación a un horizonte de tiempo mayor y reconsiderar tanto la inversión como los costos para encontrar una escala de producción mas adecuada que rebaje los costos de producción, o se genere mejores niveles de producción, idealmente aprovechando la capacidad instalada de la planta de proceso. (Suber 2008)

En Colombia

La helicultura es una actividad que ha venido despertando mucho interés y expectativas a nivel nacional al igual que asombro por parte de consumidores de productos estéticos debido a los resultados observados en la aplicación de baba de caracol sobre cicatrices o diferentes afecciones en la piel. Sin embargo, países como Francia e Italia han expuesto que su verdadero valor es nutricional por su alto contenido de proteína y bajo en grasa que al consumirlo beneficia a personas con problemas de colesterol, triglicéridos, obesidad, entre otros. Esta actividad se ha desarrollado durante aproximadamente 10 años gracias a los estudios realizados por

PROEXPORT bajo la asesoría de la Comunidad Económica Europea los cuales demostraron la viabilidad de implementar la cría de caracol de tierra con fines comerciales en algunas regiones del país. Sin embargo fueron pocos los interesados y los cuales actualmente promueven la actividad con fines de exportación.

Colombia cuenta con productores y agremiaciones a gran escala, sin embargo la suma de sus producciones no es suficiente para cumplir una demanda internacional insatisfecha y en crecimiento. Por ende, es necesario contar con alianzas en cuanto a eficiencia y efectividad de los procesos de producción, actualización e incorporación de nuevas tecnologías, calidad del producto y en el fortalecimiento y ampliación de canales de comercialización.

La evaluación de los tres helicultivos La Oculta, El Jordán y El Estanquillo, demuestra que es necesario experimentar e investigar técnicas que permitan mejorar el proceso productivo desde cada una de sus fases (reproducción, incubación, levante y engorde). Ninguno de los tres helicultivos tiene una administración definida ni un proceso de clasificación, selección, limpieza y empaque para su venta. Tampoco cuentan con un plan de manejo ambiental y sanitario según lo exigido en la ley 1011 DEL 2006. Por otro lado, la comercialización se basa principalmente en la venta de caracol

por unidad como pie de cría a otros helicultivos.

Se evidencia ausencia por parte de los productores en lo que respecta a los posibles impactos que puede generar esta actividad, como son la fuga de animales, contaminación del suelo, vertimientos, entre otros, al no planificar los zoo criaderos bajo los parámetros de control, seguridad y sanidad que exige la ley debido a la falta de investigación por parte de ellos y falta del asesoramiento adecuado en materia ambiental y legislativa.

Es relevante reconocer la importancia que tiene el papel del administrador del medio ambiente en la formulación e implementación de un proyecto de helicultura, desde la capacidad que tiene de planificar y administrar ambiental, económica y socialmente a nivel predio de manera integral y sostenible; cumpliendo con la legislación que rige esta actividad e innovando constantemente los procesos productivos que se dan a nivel predio.

El plan de negocios se muestra como una propuesta de creación de unas empresas de este tipo, formulado estratégicamente de acuerdo a las condiciones de mercado, técnicas, operacionales, administrativas y presupuestales, de tal manera que cumpla con las condiciones de financiamiento de cualquier entidad pública o privada al que sea presentado.

(Tisnes 2007)

2.2 Bases Teóricas

La helicultura es considerada como una actividad zotécnica que lleva al cultivo de caracoles de tierra bajo condiciones controladas por el hombre, con ciclo biológico completo, y tiene como un fin de su consumo gastronómico.

La helicultura es un vocablo de origen latino, que deviene de “helix”, nombre dado a un género de caracoles por tener su caparazón en forma helicoidal; y de “cultura”, tomado del verbo latino “cultivare” (cultivar). En conceptos modernos, “helicultura” significa la cría a ciclo biológico completo de caracoles comestibles.” (Martinez 2003)

Los caracoles aparecen presentes a lo largo de toda la historia de la humanidad, no solo formando parte de su alimentación, sino también como elementos importantes dentro de las religiones, las artes, la medicina y las tradiciones de diferentes culturas de todas las épocas.

Hoy en día constituyen una alternativa alimenticia verdaderamente importante frente a los consumos tradicionales de carnes de animales.

Con alto valor proteico y bajo contenido en grasas, la carne de caracol está ampliando su mercado a nivel mundial.

2.2.1 El producto y su ciclo

Dentro del reino animal al caracol Hélix Aspersa –caracol

común, de jardín se le clasifica inicialmente como un molusco. Los moluscos (palabra procedente del vocablo latino “moluscos” que significa “blando”) son animales que presentan una serie de características comunes entre ellos, como son la presencia de un cuerpo carente de esqueleto interno con una textura blanda, sin segmentar. Es común además entre los moluscos que su cuerpo este protegido por medio de una concha.

“Como molusco podemos agruparlo dentro de la clase de los gasterópodos (palabra procedente de los términos griegos “gaster” que significa “vientre” y “podos” que significa “pié”).

Estos se caracterizan principalmente por presentar un cuerpo asimétrico, con la cabeza bien diferenciada del resto del cuerpo en la mayoría de los casos. Son pulmonados y estilomatóforos, dotados de centros nerviosos especiales en cuatro tentáculos retráctiles que salen del extremo de la cabeza.” (Sarquella 2005)

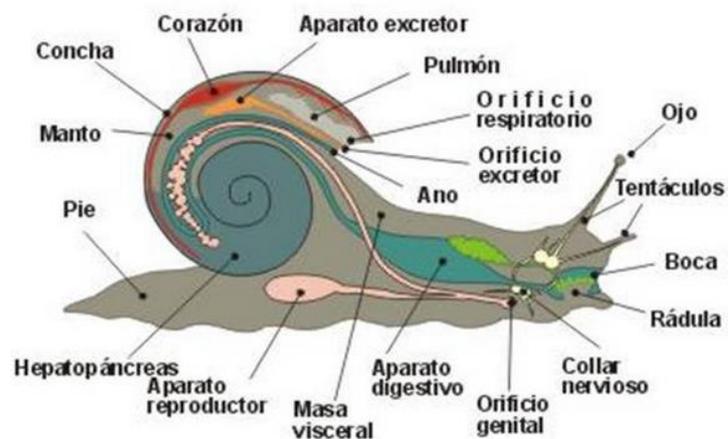
El pie es el sustento del animal, que se mueve mediante los músculos de su abdomen, ayudado por una baba viscosa que le permite facilitar el desplazamiento.

La masa visceral está retraída en el caparazón y consta de: un pseudo-pulmón, un corazón rudimentario, un aparato digestivo también muy elemental, un aparato excretor y el reproductivo, que es más grande y complejo, dado que los caracoles son hermafroditas incompletos.

En cuanto al caparazón, es univalvo, globuloso y enredado helicoidalmente. Presenta cuatro o cinco espiras y unas líneas transversales que determinan la edad del caracol. Su función es importantísima para su vida, porque constituye su mejor defensa contra condiciones adversas y enemigos. Su vida es relativamente breve –entre 4 y 5 años– y gran parte de ella transcurre en letargo y semi-reposo estival; la vida activa la emplea casi exclusivamente para alimentarse y reproducirse.

Los caracoles son hermafroditas insuficientes, es decir que poseen órganos genitales femeninos y masculinos al mismo tiempo pero no pueden autofecundarse. Lo que quiere decir que para que se produzca la fertilización se necesitan dos individuos que copulen para incrementar su semen y fecundar los óvulos.

Figura N°. 2.1 Partes internas de un caracol



Fuente: www.sanandres.esc.edu.ar

Clasificación científica:

- Reino: Animalia
- Filo: Mollusca
- Clase: Gastropoda
- Orden: Pulmonata
- Familia: Helicidae
- Género: Helix
- Especie: H. aspersa

El caracol de tierra es un molusco gasterópodo que encontramos en estado silvestre en jardines, campos con vegetación, viñedos, debajo de las piedras, plantas y también en paredes medianeras de casas. Sin embargo debido al bajísimo grado de explotación para consumo interno de su carne en nuestro país, no estamos al tanto de su anatomía ni ciclo de vida, pasando a ser un “conocido sin conocer”.

Con respecto a su reproducción, es “hermafrodita insuficiente”, es decir que, aunque posee ambos sexos (producen tanto espermatozoides como óvulos), no pueden autofecundarse y deben aparearse entre dos adultos. Están equipados de un pene y del órgano receptivo correspondiente. De cada pareja fecundada se obtiene un doble desove. El acoplamiento y el desove, ocurre generalmente dos y cuatro veces por año. La cantidad de huevos y sus tamaños dependen de la especie y a

las condiciones ambientales, del género y de la especie. En este caso, los del género “Hélix”, ponen de 50 a 80 huevos por postura y su diámetro es de aproximadamente 3 mm, aunque los del género “Achatina”, ponen hasta 700 huevos y su diámetro es mayor llegando a los 10 mm.

Básicamente en condiciones ambientales normales, puede calcularse que cada caracol (la especie “Hélix aspersa”) genera aproximadamente por año 1 kilo de caracoles (100 caracoles), que el peso promedio de un caracol adulto llega hasta los 15 gramos, y que el tamaño del caparazón varían desde 1,5 mm hasta los 50 mm de diámetro. Por otra parte los del género “Achatina”, (como la especie del gigante africano “Achatina fulica”), llegan hasta los 300mm de diámetro.

Los caracoles de jardín (del género “Hélix”) llegan a la edad senil a los 4 o 5 años. La mayor parte de las muertes son debidas a depredadores o parásitos, ya que tienen muchos enemigos naturales, incluyendo otras especies de caracoles, escarabajos, serpientes, sapos, tortugas, orugas depredadora y aves como gallináceas, faisánidas, acuáticas, anátidas, túrdidos, etc. Durante su ciclo reproductivo, en la etapa de huevecillos, estos son presa de varios depredadores como el caso de los ciempiés o escolopendras (quilópodos). Además, la contaminación del agua y la lluvia ácida destruyen sus caparazones y los envenenan, causando la extinción de muchas especies.

Su velocidad de desplazamiento promedio va de 4 a 10 metros por hora, arrastrándose gracias a un aparato motor situado debajo del vientre (locomoción ventral), siendo este mismo medio de desplazamiento tan lento, un agravante a la hora de la mortandad.

Su actividad en medio natural se desarrolla en tres períodos:

“**Actividad**”, durante la primavera, verano y otoño, durante los cuales se desarrolla y reproduce. Posee hábitos nocturnos (come, ovipone y se reproduce de noche).

“**Estivación**”, cuando las condiciones ambientales son adversas, (lluvia, viento, calor, frío) durante el período activo.

“**Hibernación**”, durante casi todo el invierno. (Normalmente desde octubre hasta finales de abril). Para mantenerse húmedos durante la hibernación, sellan la apertura de su concha con una capa seca de mucosidad llamada epifragma.

Desde el punto de vista de su alimentación, el caracol es exclusivamente herbívoro. En condiciones naturales se alimenta de hojas verdes tiernas aunque también puede consumir otros alimentos como frutas y hortalizas. Una buena ingesta de nutrientes le permite permanecer hasta 8 meses sin consumir alimento durante los meses de frío, viviendo exclusivamente de sus reservas.

Las especies que más se adaptan y disponen para la cría y su comercialización hacia el exterior son justamente el “Hélix

aspersa”, y el “*Otala lactea*”. Las del género “*Achatina*” se comercializan mundialmente en menor volumen.

2.2.2 Criaderos en recintos cerrados (Intensiva)

Se basa en la construcción de recintos con aislación térmica y sistemas climatizadores que mantienen los parámetros de humedad, temperatura, y luminosidad dentro de los requeridos por los helícidos para su reproducción, cría y engorde. De este modo se optimiza la fase de reproducción, se incrementa la velocidad de crecimiento obteniéndose tamaños comerciales en poco tiempo, se elimina casi por completo el peligro de parásitos y depredadores y se extiende la producción a todo el año.

2.3 Fisiología del caracol

Parámetros fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos hacen referencia a aspectos como la temperatura, humedad, foto periodo y ventilación necesarios para el adecuado desarrollo de los caracoles.

Temperatura

La temperatura es un factor muy decisivo, de ésta depende en gran medida el desarrollo de los caracoles, el valor ideal para su desarrollo estará dentro de un rango de 18 °C a 24°C. Cuando la temperatura supera los 30 °C, se presentan trastornos en su actividad al punto de entrar en un

entorpecimiento, en este periodo el caracol disminuye la fijación de niveles de calcio y entra en la etapa de estivación, por el contrario cuando la temperatura es inferior a los 10 °C el caracol entra en estado de hibernación, lo que resulta letal para cualquier producción en términos económicos.

Para verificar la temperatura se emplean los conocidos termómetros de mercurio, aunque estos no son muy precisos, existen termómetros digitales cuya precisión es mayor pero su costo es un poco más elevado.

Humedad

La humedad es tal vez el factor más importante en la biología del caracol, el rango ideal está entre el 80 y 90%, los valores superiores al 90% ocasionan la muerte prolongada, los valores menores al 80% reducen la actividad del caracol con tendencia a la operculación.

Para la medida de la humedad se emplea el higrómetro el cual mide la humedad relativa en porcentaje.

Foto periodo

El caracol es noctámbulo y lucifobo, prefiere ocultarse de la luz, la excesiva exposición a la irradiación solar causa deshidratación y es dañina para el caracol, por lo tanto, es recomendable que se disponga de siete horas de oscuridad y de siete horas de claridad, esto se logra ubicando polisombra en malla de anejo de color negro o cualquier otro material que

se encuentre al alcance y cumpla esta función.

Ventilación

La ubicación del cultivo no debe permitir una exposición continua al viento, porque demasiada ventilación resulta perjudicial, la entrada de viento reseca el ambiente y causa una sequedad en el caracol quitándole gradualmente el mucus y humedad característica de su cuerpo, es conveniente, por lo tanto, que se disponga de una ventilación mesurada, no existe una medida como tal pero a simple observación y captación sensorial se nota cuando el viento es muy brusco.

Tabla Nº 2.1 Parámetros óptimos de crecimiento

	Fase Diurna	Fase Nocturna
Duración	16 Horas	08 Horas
Temperatura	18 °C	15°C
Humedad Relativa (°C)	75 y 85 %	90 y 98 %

Fuente: (Helicicultura---Cria-de-caracoles 2015)

2.3.1 Propiedades alimenticias

“La carne de los hélices es muy pobre en grasas (de 0,5 a 0,8% contra 11,5% en la carne de ternera y 12% en la de pollo), es relativamente pobre en calorías (de 60 a 80 por cada 100 gramos). Sin embargo es rica en proteínas de un alto valor

biológico (de 12 a 16%).” (Marasco 1996)

2.3.2 Propiedades del caracol

El caracol es un producto gastronómico por excelencia debido a que su carne es utilizada en la preparación de comida internacional, aunque es cada vez más popular en restaurantes de otro tipo de especialidades.

Más allá de ser apreciado por sus propiedades gastronómicas, los caracoles poseen también peculiaridades nutritivas. Por esto están experimentando una creciente demanda debido a la tendencia mundial de consumir alimentos bajos en grasa y de alto valor proteico.

Tabla N°. 2.2 Nutrientes por cada 100 gr de carne cruda de caracol

Componentes	Cantidades
Calorías	76 kcal
Glúcidos	2%
Proteínas	15%
Vitamina C	15 mg
Yodo	0,006 mg
Azufre	140 mg
Agua	82%
Lípidos	0,80%

Fuente: COOPHEMS, 2000

Haciendo una comparación entre la cantidad de agua, proteínas, grasas y calorías, de las carnes comestibles más comunes se encuentra lo siguiente:

Tabla N°. 2.3 Comparación alimenticia entre la carne de caracol y otras carnes.

Alimento	Agua	Proteína	Grasas	Calorías
Carne Vacuna	62.8	18.8	15.4	214
Pollo	68.7	19.1	11	175
Huevo	73.9	13	11.1	156
Pescado	81.5	15.9	2.6	82
Caracol	84.9	13.4	1.7	67

Fuente: (Borja, 2002).

La carne de caracol proporciona una gran cantidad de proteínas y por el contrario una cantidad de calorías pequeñas, cosa que es favorable a la hora de incluir esta carne en una dieta balanceada.

Cabe destacar que en las proteínas que contiene la carne de caracol, están presentes la casi totalidad de los aminoácidos necesarios para el hombre y en las proporciones requeridas para la síntesis proteica.

Finalmente, la carga bacteriana es relativamente baja, 85.000 gérmenes de media por gramo de carne cruda, esto es inferior a las otras carnes, donde se tiene que en un gramo de embutido los gérmenes se cuantifican en el orden de millones.

En la industria el caracol es utilizado en cosmética ya que los aminoácidos, sales minerales, los ácidos grasos polisaturados, el calcio, vitamina C y otras sustancias contenidas en las proteínas de su carne y de su helicina (baba) contribuyen a la construcción de los tejidos internos y externos. (Ospina 2007)

2.3.3 Alimentación de los caracoles de tierra

El caracol tiene una forma muy particular de comer. Al no tener mandíbula, no mastica los alimentos sino que los ralla literalmente sobre la rádula (que etimológicamente significa rallador). La rádula es un órgano masticador característico de los moluscos. Se presenta en forma de lengua dotada de gran cantidad de dientecillos.

En efecto, los caracoles son esencialmente vegetarianos. Se alimentan de hojas tiernas cuando la humedad es considerable. Siempre requiere de altas cantidades de calcio, por lo cual los suelos más aptos son los calcáreos que tengan PH entre 6.5 a 7.5.

En términos generales se puede decir que el alimento que consumen es más o menos el 3% de su peso vivo. Para producir 1 Kg. de caracol se requiere alrededor de 1.8 Kg de alimento.

Prefieren los cultivos de hortalizas y flores que tengan hojas tiernas de las cuales se puedan alimentar y refugiar de los depredadores o de los excesos de luz. Convive perfectamente

con la lombriz de tierra, además que éstas proporcionan una sustancia que neutraliza los hongos del género Fusarium, enemigos importantes de estos caracoles.

Los vegetales que se sembrarán en el parque del proyecto piloto serán:

- Lechuga
- Acelga
- Espinaca

Figura N°. 2.2 Tipo de alimento del caracol



Fuente: www.criadero de caracoles.com

2.3.4. Medicina y salud

Es importante destacar que la carne de caracol es una excelente alternativa de consumo debido a las propiedades

nutricionales de su carne. Los caracoles son herbívoros, por lo que transforman proteínas vegetales en proteínas animales de gran calidad biológica y gastronómica.

Dado que se trata de un alimento con altas dosis de calcio, contribuye a combatir el raquitismo, destacándose su importancia en la etapa de la lactancia. Su baja tasa de lípidos permite que sea consumido sin problemas por personas con afecciones hepáticas, arteriosclerosis y obesidad.

Desde la antigüedad el caracol fue considerado como un recurso medicinal de distintas aplicaciones; se lo utilizaba para curar asma, gota y hemorragia nasal, entre otras afecciones.

En la farmacopea moderna, se utiliza la helicina, mezcla del mucílago del caracol con azúcar, que es empleada como pasta pectoral en las afecciones pulmonares. En Bélgica, se está desarrollando actualmente un preparado a partir del mucilago del caracol con el objetivo de reconstruir la mucosa gástrica dañada en los seres humanos. Las proteínas de los caracoles actúan en la reconstrucción integral de los tejidos gástricos, ayudando a la cura de la úlcera.

2.3.5 ¿Por qué criar caracoles en invernaderos automatizados?

La población natural de caracoles ha ido disminuyendo progresivamente a causa del uso de pesticidas y agroquímicos,

fenómeno que, sumado a una recolección indiscriminada y masiva, los ha diezmado sin permitir la recuperación en cantidades suficientes para mantener el equilibrio ecológico.

Francia es uno de los principales consumidores a nivel mundial de estos moluscos, tiene una demanda anual de 65.000 toneladas, de las cuales debe importar hasta un 20%. A este importante requerimiento deben sumarse los de Italia, España, Alemania, Suiza y otros países de la Comunidad Europea, así como Japón y estados Unidos, cuyas producciones tampoco alcanzan para satisfacer las necesidades, en continuo aumento.

Es entonces una gran oportunidad para países del hemisferio sur, por la llamada producción contra estación. Es decir, cuando en las naciones del norte es invierno y los caracoles están inactivos, en las del sur están en pleno período de reproducción y engorde, lo cual es beneficioso en todo aspecto, ya que pueden ofrecerse volúmenes inexistentes en aquellas latitudes, aumentando el precio por kilogramo.

Se calcula que el consumo mundial de caracoles comestibles terrestres sobrepasa las 300.000 toneladas anuales. Los especialistas aseguran que en los próximos veinte años el consumo mundial anual se multiplicará por cinco, es decir, llegará a 1.500.000 toneladas. Basten estas cifras para plantear las auténticas posibilidades de desarrollo con un resultado

rentable.

Lo más importante a tener en cuenta cuando se encara la venta internacional es contar con calidad, cantidad y muy especialmente continuidad, es decir, estar en condiciones permanentes de satisfacer los pedidos que se reciban.

a. Sistemas de cría

De los sistemas desarrollados que se han probado hasta la fecha, son tres los que básicamente se pueden utilizar, dependiendo de las condiciones de cada lugar, tanto sea por su clima, espacio físico y posibilidades económicas. Estos son: criadero abierto o cría extensiva, sistema productivo en recintos cerrados o cría intensiva y sistema mixto.

b. Sistema abierto o extensivo

El sistema abierto se adapta bien a las condiciones climáticas del país, es de bajo costo y no presenta dificultades de manejo. Este tipo de criadero está relacionado casi en un 80% con la actividad agrícola siendo de fácil adaptación dadas las características sociales y geográficas de nuestro país.

Entre sus ventajas no necesita mucho mantenimiento -limpieza, sanidad y alimentación-, la alimentación, el habitáculo y la protección están constituidos especialmente por los vegetales cultivados directamente en el lugar, contribuyendo a mejorar la

calidad de las carnes. La desventaja, por el tipo de alimentación, es que es más lento el engorde y hay que esperar cerca de dos años para obtener la primera producción después de introducir los primeros reproductores en el recinto.

“Este sistema de producción se realiza a campo abierto, siendo conveniente la elección de lugares con buen drenaje y con refugios naturales para el caracol, así como disponibilidad de alimento. Este tipo de cría es el que requiere menor inversión y mano de obra, pero es de menor rendimiento por hectárea y las estimaciones de productividad son más inciertas.” (García, Estudios Agroalimentarios 2003)

El sistema de cría abierto consta de un terreno limitado por un cerco de red especial y de un sistema de irrigación por aspersión en toda la superficie, con hileras de cultivo que cumplen el rol de hábitat y alimento (repollo, acelga, girasol, etc.) refugio para protección solar y camino para abastecer de forraje u otro alimento concentrado. Se debe cercar el terreno para evitar que los caracoles se escapen. Este método consiste en la introducción, en recintos preparados y estudiados al efecto, de caracoles reproductores destinados a acoplarse y multiplicarse.

Figura N°. 2.3 Sistema de cría a campo abierto



Fuente: www.criadero de caracoles.com

c. Sistema mixto

Este sistema se caracteriza por ser el proceso reproductivo, el desove y la primera fase de cría realizada en el sistema cerrado y el de engorde en el sistema abierto.

Fundamentalmente el sistema se basa en la modificación artificial de la época de reproducción siempre que ésta se de bajo condiciones ambientales controladas durante el invierno (humedad entre 80 y 100% y temperatura entre 18 a 24°C), es decir, se trata de adelantar unos meses la producción de los adultos, de esta forma se logra disponer de las crías a finales del invierno o principios de primavera, momento en el que se procede a realizar el engorde en parques al aire libre o invernaderos bajo condiciones climáticas naturales, reduciendo

así el costo de sistemas de climatización y el costo en horas de trabajo necesarias para el mantenimiento de los caracoles.

Las ventajas de este sistema de cría son que durante las primeras fases de desarrollo, los caracoles no están expuestos a los depredadores y a los cambios de humedad y de temperatura, como sucede en la cría extensiva o a campo abierto. Es más económica que la cría intensiva, ya que las dimensiones del recinto así como la infraestructura necesaria son menores.

Figura N°. 2.4 Sistema de cría mixta



Fuente: www.ruralcat.net

Tabla N°. 2.4 Cuadro comparativo de la crianza de caracoles según el tipo de crianza

	INTENSIVA	EXTENSIVA	MIXTA
Ventajas	Alta Eficiencia	Poco uso de mano de obra	Menos uso de mano de obra y costos de funcionamiento respecto al intensivo
	Poca exposición a predadores	Menores costos de funcionamiento	Menor inversión que en la cría intensiva
	Ingresos repartidos a lo largo del año	Bajos ingresos anuales	Ingresos variados
Desventajas	Mayor mano de obra calificada	Falta de acoplamiento	Mayor exposición a predadores
	Mayor atención	Baja productividad por unidad de superficie	Menor cantidad de ingresos
	Mayor capacitación	Mortalidad durante la primera etapa de vida	Mortalidad moderada
	Mayor suministro de energía de acondicionamiento	La cosecha es estacional	Producción estacional

Fuente: Elaboración propia

2.4 La helicultura en el Perú y el otros países

2.4.1 En el Perú

En la actualidad no existen estudios profundos sobre la situación de la helicultura en el Perú. Se conocen de intentos individuales, pero que la mayoría aún no ha llegado al período de

reproducción y la mayor parte del volumen de caracoles que poseen es de recolección.

Con respecto a la legislación vigente, el Sistema Peruano de Información Jurídica establece: “La exportación de los especímenes de la fauna silvestre procedentes del Calendario de Caza aprobado por Resolución Ministerial N° 0199-2005-AG será autorizada siempre que se encuentren debidamente declarados y verificados en sus almacenes o centros de acopio; el calendario de caza para el año 2006 para *H. aspersa* es continuo”. (Agricultura 2005).

En el anexo, se muestra el Decreto Supremo 007-2004-PRODUCE de la norma sanitaria del Ministerio de Salud que permite la explotación y comercialización de los caracoles en nuestro país

2.4.2 En Argentina, (Inversiones 2003)

La helicultura está recibiendo en los últimos años mayor atención debido a la demanda internacional y a una situación macroeconómica favorable para la exportación, lo que crea una oportunidad para el desarrollo de este agro negocio. Un aspecto a destacar es casi la totalidad del volumen exportado en el 2003 (30tn) (García, Estudios Agroalimentarios 2003) que corresponden a animales de recolección.

2.4.3 En España

Desde el 1 de enero de 2008, el sector helicícola, al igual que el resto de sectores agrícolas y ganaderos, se encuentra recogido dentro del régimen de la OCM única, regulada por el Reglamento (CE) N° 1234/2007 del Consejo de 22 de octubre de 2007, por el que se crea una organización común de mercados agrícolas y se establecen disposiciones específicas para determinados productos agrícolas. En este caso, al igual que en la mayor parte de producciones menores, no existen instrumentos específicos de apoyo, por lo que el citado reglamento se limita a establecer un mecanismo de protección en frontera y algunas disposiciones de carácter general. Además este país cuenta con el Real Decreto 479/2004, por el que se establece y regula el Registro general de explotaciones ganaderas. (Ministerio de Agricultura 2014)

2.4.4 En Colombia

La Ley N° 1011 de enero del 2006, autoriza y reglamenta la actividad de la helicultura y se dictaron otras disposiciones. La Ley, tiene por objeto autorizar y reglamentar la actividad de la helicultura, preservando el medio ambiente y garantizando la salubridad pública. Para estos efectos se tendrán en cuenta las actividades relacionadas con el establecimiento de zoo criaderos

de caracol de tierra de la especie Hélix Aspersa. En los considerandos se expresa que en Colombia la helicultura es una actividad muy reciente, pero que está tomando bastante auge debido a que ese país cuenta con las condiciones ambientales y climatológicas apropiadas para este cultivo y, lo más importante, es que cuenta con especies que son apreciadas en el mercado nacional e internacional. La Ley establece que todo zoo criadero de caracol de tierra de la especie Hélix Aspersa que funcione en el país debe establecer y mantener un “Sistema de Administración Ambiental” apropiado para la escala e impacto ambiental que genere el proceso zoo cría sobre los recursos naturales. (Colombia 2006).

2.5 Transformación de energía eólica en energía eléctrica

Obtener energía eléctrica es indispensable para el progreso de un país, de una región o de una localidad; en ese sentido, en la actualidad existen diferentes métodos para su generación, tenemos las hidroeléctricas, térmicas, nucleares, solares y eólicas. La elección del tipo de generación depende de muchos factores ambientales, económicos y técnicos.

En el contexto actual de mucha contaminación ambiental, están teniendo mayor presencia las formas de generación no emisoras de gases de efecto invernadero, pero siempre un factor importante es el tema de viabilidad económica. Como plantea Villarubia (2012) “en el

caso de la electricidad “verde”, las dos fuentes de energía más importantes son la hidráulica y la eólica. La primera conocida y utilizada desde hace más de un siglo, y la segunda, mucho más moderna, aunque ya ha alcanzado un nivel de madurez tecnológico y económico que la hace viable técnica y económicamente, con unos costos de producción atractivos en el mercado energético, así como para usos más concretos como el hogar o alguna pequeña empresa que se impulse. El nivel de participación de otras energías renovables en la generación de la electricidad “verde” a gran escala es muy probable que tenga un papel minoritario a corto y mediano plazo”.

2.5.1 Energía eólica

Es la energía asociada al viento, es la energía cinética de las masas de aire. Esta se origina en virtud del desplazamiento de grandes cantidades de aire desde zonas de alta presión hacia zonas de presiones más bajas; dicha velocidad y por ende energía cinética depende del gradiente de presiones.

En muchas localidades donde se tienen condiciones ambientales que permiten tener energía eólica relativamente altos, se puede generar energía eléctrica mediante aerogeneradores.

La densidad del aire seco depende de la temperatura y de la presión, tal como se plantea en la ecuación 2.1.

$$\rho = p/RT \quad (2.1)$$

En donde, ρ : densidad (kg/m^3); p =presión absoluta (Pa); T : temperatura (K); R : constante del gas ($287,04\text{J/kgK}$)

Debemos también tener en cuenta que la densidad del aire no es constante, esta depende de la altura a la que se encuentra, veamos:

$$\rho = 1,225 \left(\frac{288}{T+273} \right) e^{\frac{-z}{8435}} \quad (2.2)$$

En donde T es la temperatura del aire en grados Celsius y z es el nivel del mar a la que se encuentra el lugar donde se mide la densidad.

Una masa de aire (m) con velocidad (v_1) posee una energía eólica (E_c) dada por:

$$E_c = \frac{mv_1^2}{2} \quad (2.3)$$

El caudal másico de aire (m) de densidad (ρ) que fluye con velocidad (v) a través de una superficie de área (A) perpendicular a la dirección del flujo, es:

$$m = \rho Av_1 \quad (2.4)$$

La potencia disponible (P_d) del caudal de aire que atraviesa dicha sección es:

$$P_d = \frac{mv_1^2}{2} = \frac{\rho Av_1^3}{2} \quad (2.5)$$

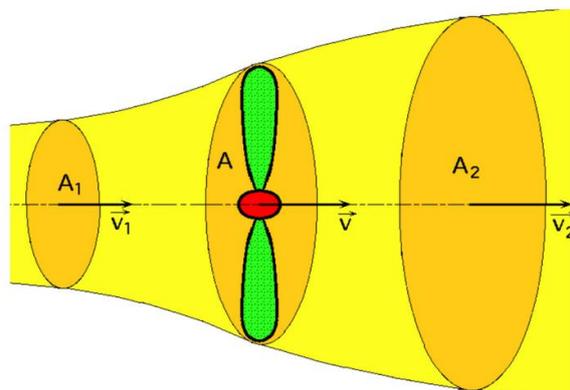
La potencia disponible se define como la máxima potencia que se podría obtener del viento si se podría extraer del mismo toda su energía cinética. La densidad de potencia disponible o potencia disponible por unidad de área (P_d/A) está dado por:

$$\frac{P_d}{A} = \frac{\rho v_1^3}{2} \quad (2.6)$$

En la práctica sólo se aprovecha alrededor de un 45% a 50%, ello se puede ver con mayor detalle con el teorema de Betz en el que se establece un límite máximo para la potencia que puede extraerse del flujo de un viento de velocidad v . Veamos:

Sea un flujo de aire que atraviesa el área A barrida por un rotor, tal como se muestra en la Figura N° 2.5.

FIGURA N°. 2.5 FLUJO DE AIRE CIRCULANDO A TRAVÉS DEL ÁREA A BARRIDA POR EL ROTOR



Fuente: <https://jasf1961.wordpress.com/tag/velocidad-relativa-del-viento/>

La fuerza F , que el fluido realiza sobre el rotor, se determina a partir de la variación de la cantidad de movimiento del fluido:

$$F = m(v_1 - v_2) = \rho A v (v_1 - v_2) \quad (2.7)$$

Aplicando el teorema de Bernoulli entre las secciones 1 y 2 y aproximando $A_1=A_2=A$, se obtiene:

$$F = (P_2 - P_1)A = \frac{1}{2} A \rho (v_1^2 - v_2^2) \quad (2.8)$$

A partir de las ecuaciones anteriores se obtiene:

$$v = 0,5(v_1 + v_2) \quad (2.9)$$

La potencia (P) que el flujo de aire cede al rotor de la máquina es el producto de la fuerza por la velocidad; por tanto de las ecuaciones anteriores se tendrá:

$$P = \frac{1}{4} \rho A (v_1 + v_2) (v_1^2 - v_2^2) \quad (2.10)$$

Para obtener el valor máximo de la potencia se tiene en cuenta

$\frac{dP}{dv} = 0$, combinando ello con las ecuaciones 2.8 y 2.9 se obtiene

que la máxima potencia se alcanza para: $v_2 = \frac{v_1}{3}$ y con lo cual

se obtiene:

$$P_{max} = \frac{16}{54} \rho A v_1^3 = \frac{16}{27} \left(\frac{1}{2} \rho A v_1^3 \right) = \frac{16}{27} P_d = 0,593 P_d \quad (2.11)$$

Esta última expresión constituye el teorema de Betz según la cual *“la energía máxima que teóricamente puede ser*

aprovechada del viento es solo el 59,3% de la energía disponible”[1]

2.5.2 Variación de la velocidad del viento con la altura

La potencia eólica disponible (Pd) es función del cubo de la velocidad del viento. Si la velocidad aumenta un 10%, la potencia aumenta un 33%. Por ello, interesa situar el rotor del aerogenerador a la mayor altura posible respecto del suelo para aprovechar el aumento de la velocidad con la altura. La altura se establece a través de un compromiso entre el aumento de energía y el mayor coste de la torre. Para esto se tiene la ley exponencial de Hellmann que plantea:

$$v' = v\left(\frac{z'}{z}\right)^\alpha \quad (2.12)$$

Donde: v' y v son las velocidades del viento a las alturas z' y z respectivamente y α viene a ser un parámetro denominado el exponente de Hellman, cuyos valores dependen del tipo de terreno según lo explicitado en la Tabla N° 2.5.[4]

TABLA N°. 2.5 VALORES DEL EXPONENTE DE HELLMAN EN
FUNCIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL TERRENO

Rugosidad del terreno	A
Lugares llanos con hielo o hierba	0,08-0,12
Lugares llanos (mar, costa)	0,14
Terrenos poco accidentados	0,13-0,16
Zonas rústicas	0,2
Terrenos accidentados o bosques	0,2-0,26
Terrenos muy accidentados y ciudades	0,25-0,4

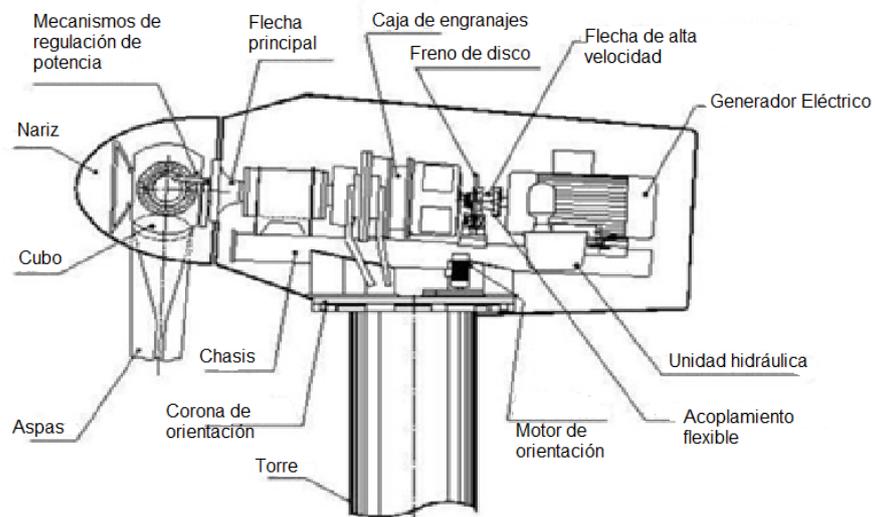
Fuente: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358026/358026/exe-learning_CFM/leccin_12_ley_exponencial_de_velocidad.html

2.5.3 Aerogenerador

Un aerogenerador es un sistema que permite la transformación de la energía eólica en energía eléctrica. En la Figura N° 2.6 se muestra las partes del aerogenerador y luego se explica de manera concreta la función de cada una de ellas. [2]

Rotor: Es el que transforma la energía cinética del viento en la energía mecánica que se utiliza para impulsar el generador eléctrico. Se compone de aspas o palas (blades), el cubo (hub) en donde se ensamblan las aspas, y la nariz, que es la punta frontal en forma de cono, y que se utiliza para evitar turbulencias en el centro del rotor.

FIGURA N°. 2.6 ESTRUCTURA DE UN GENERADOR EÓLICO



Fuente: <https://jmirez.wordpress.com/category/biodigestor/page/2/>

b. Sistema de transmisión mecánica

Está compuesto del eje principal o eje de baja velocidad, la caja de engranajes, y el eje de alta velocidad. El eje principal es el que transmite el torque aerodinámico del rotor al sistema del generador. La caja de engranajes (gear box) es la que convierte la velocidad del rotor que es baja, a una velocidad alta para que un generador convencional pueda producir electricidad. El eje de alta velocidad es el que le entrega la potencia mecánica al generador directamente.

c. Generador eléctrico

Es el encargado de convertir la energía mecánica en energía eléctrica. En los SCEE se han utilizado tanto generadores asíncronos como síncronos.

d. Sistema de orientación

El sistema de orientación está compuesto generalmente por un servomecanismo que gira la góndola en la dirección del viento sensada por una veleta.

e. Sistema de control

Está compuesto por sensores, actuadores y un controlador principal que tiene diferentes funciones: regulación de potencia, control de la velocidad, control de voltaje, arranque y paro de la máquina, orientación de la turbina, control de otras variables como son la temperatura y vibración.

f. Sistema de seguridad

El sistema de seguridad generalmente tiene como función llevar al aerogenerador a una condición segura y estable, para las personas y para el mismo equipo. Se compone de los sistemas de frenado, sistemas de detección de altas temperaturas, presiones y vibraciones.

g. Góndola (canelle)

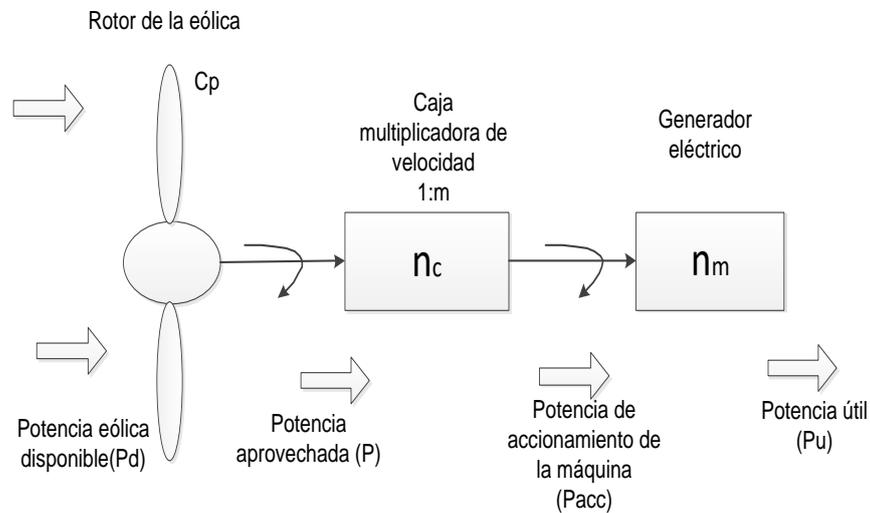
Es la cápsula o encerramiento que protege al generador, a los sistemas de transmisión y orientación y a otros componentes. Se acopla a la torre y al rotor.

h. Torre

Es el soporte de la góndola y del rotor, es de diseño robusto para soportar toda la dinámica de la turbina eólica.

En el generador eólico la energía que se recibe del viento (potencia deseada) no es aprovechada en su totalidad para dar movimiento al rotor (potencia aprovechada), a su vez toda esta energía mecánica no es la que ingresa al generador eléctrico (potencia de accionamiento de la máquina), este último todavía tiene pérdidas para finalmente obtener la energía eléctrica (potencia útil). En el Figura 2.7 se muestra el flujo de potencias de un aerogenerador.

FIGURA N°. 2.7 FLUJO DE POTENCIAS EN UN SISTEMA DE CAPTACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA EÓLICA



Fuente: VILLARUBIA MIGUEL. Ingeniería de la Energía Eólica. México. Alfa y Omega Grupo Editor S.A. Primera Edición 2013.

En el flujo de potencias, se distinguen las siguientes potencias y rendimientos:

- Potencia disponible (P_d): es la potencia del viento, debido a su energía cinética.
- Potencia aprovechada: es la potencia en el eje del rotor, es la potencia útil en el eje del rotor eólico que acciona la caja multiplicadora (gear box). Se determina a través de la relación: $P = C_p P_d$ donde C_p es el coeficiente de potencia o rendimiento de conversión.
- Potencia de accionamiento (P_{acc}): es la potencia en el eje de salida de la caja multiplicadora de velocidad, que se utiliza

para el accionamiento de la máquina operadora (alternador).
Se calcula según: $P_{acc} = n_c P$, siendo n_c el rendimiento de la caja multiplicadora o rendimiento de transmisión.

- Potencia útil final (P_u): es la potencia útil que suministra el generador eléctrico. Se calcula a través de: $P_u = n_m P_{acc}$, siendo n_m el rendimiento del generador eléctrico.

La relación entre las distintas potencias viene dada por:

$$P_u = n_m P_{acc} = n_m n_c P = n_m n_c C_p P_d \quad (2.13)$$

El rendimiento global n_g para todo el conjunto se define como la relación entre la potencia útil final y la potencia eólica disponible en el viento. Este rendimiento global también se conoce como coeficiente

$$n_g = \frac{P_u}{P_d} = n_m n_c C_p \quad (2.14)$$

El rendimiento global de conversión de energía eólica en eléctrica depende de la velocidad del viento. En algunos aerogeneradores su valor máximo alcanza valores en el entorno del 42% al 46%. Teniendo en cuenta que durante el año hay muchas horas en las que el aerogenerador trabaja en condiciones que no corresponden a la de máximo rendimiento, el valor de su eficiencia se sitúa en el entorno del 30%. [1]

Teniendo en cuenta la potencia útil de un aerogenerador, estas tienen múltiples denominaciones, las cuales podemos verla en la Tabla N°. 2.6

TABLA N°. 2.6 CLASIFICACIÓN DE LOS AEROGENERADORES EN FUNCIÓN DE SU POTENCIA ÚTIL

Denominación		Potencia (KW)	Utilización	
Baja	Muy Baja	Microaerogeneradores	< 1	Embarcaciones, sistemas de comunicación, refugios de montaña, iluminación, etc.
		Miniaerogeneradores	1-10	Granjas, viviendas aisladas (sistemas Eólico-Fotovoltaico), bombeo, etc.
			10-100	Comunidades de vecinos, PYMES (sistemas mixtos EODiesel), drenaje, tratamientos de aguas, etc.
Media			100-1000	Parques eólicos (terreno complejo)
Alta			1000-10000	Parques eólicos (terreno llano, mar adentro)
Muy Alta			> 10000	En fase de investigación y desarrollo, requieren nuevos diseños y materiales no convencionales. No antes del año 2010

Fuente: Tesis: Diseño y Construcción De Un Generador Eléctrico para un Aerogenerador de Baja Potencia-
http://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-07-04_11-58-27106131.pdf

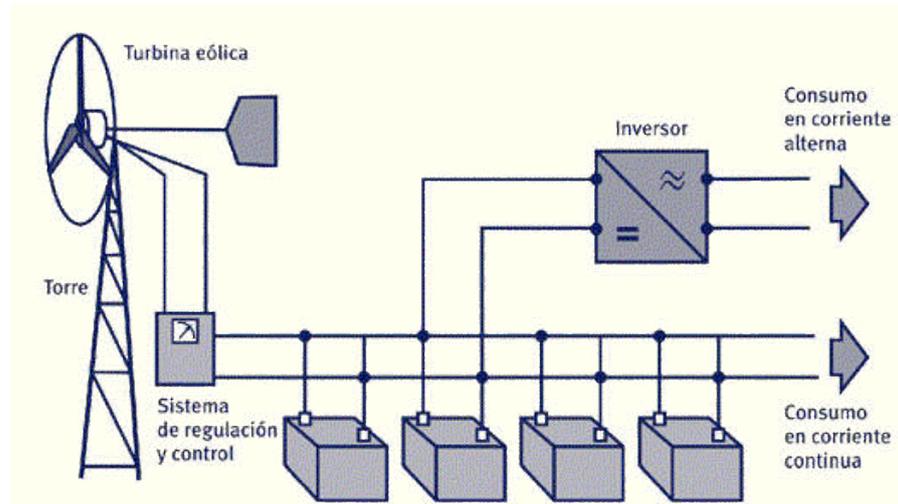
Las instalaciones eólicas de producción de electricidad de pequeña potencia suelen emplearse en zonas alejadas de la red general de distribución eléctrica. El tamaño y tipo de instalación depende únicamente de las necesidades del usuario de la instalación. Las instalaciones más frecuentes son de muy pequeña potencia y emplean tecnologías muy fiables en las que es necesario un mantenimiento básico. Normalmente ese sistema eólico se emplea para suministro eléctrico de viviendas

aisladas, embarcaciones, etc., y suele requerir velocidades muy bajas de viento.

Para cargas diarias tan pequeñas, como un kilowatt-hora diario, la producción de electricidad con un aerogenerador es más económica que las plantas diésel, o la extensión de la red eléctrica, o las instalaciones fotovoltaicas, cuando las velocidades del viento son mayores de 4 m/s a la altura del eje del rotor. Estas velocidades del viento están presentes en muchos sitios. Para cargas mayores, las ventajas de las instalaciones eólicas con pequeños aerogeneradores son mayores.

Una instalación eólica de pequeña potencia para cargar baterías consta de uno o varios aerogeneradores que alimentan un cuadro de carga, y de un conjunto de baterías dimensionadas según los días de calma y la demanda, tal como se muestra en la Figura N°2.8.[6]

FIGURA N°. 2.8 INSTALACIÓN EÓLICA DE PEQUEÑA POTENCIA



Fuente:<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia52/HTML/articulo03.htm>

Estos sistemas pueden ser atendidos directamente por sus usuarios, ya que precisan muy poco mantenimiento. Un sistema debe en general poseer las partes siguientes:

1. La turbina eólica o aerogenerador, que está compuesto por todos los elementos que se encuentran en la parte superior de la torre.
2. Rectificador de corriente alterna en corriente directa. Esto es necesario en caso de que el generador eléctrico suministre corriente alterna y el rectificador no esté incorporado en la turbina eólica.
3. El cuadro de control o sistema de control que constituye un punto de conexión central entre la turbina, las baterías y las

cargas.

4. Un interruptor con un fusible eléctrico de seguridad que desconecta la turbina y el control de la carga de baterías. Este puede estar incorporado en el sistema de control.
5. El banco de baterías que debe proporcionar la energía suficiente para satisfacer la demanda en un cierto número de días de calma.
6. El inversor que convierte la corriente directa en alterna.
7. La torre soportante.

2.6 Sensores y Actuadores empleados para el modelamiento

Para el modelamiento de temperatura se ha escogido entre otros el Sensor DHT22, que es un sensor múltiple tanto de temperatura como de humedad relativa, cuyas características se muestran en la figura y tabla adjunta. Y como actuador el modelo AIRWET de la empresa TEYME. Los cuales detallaremos

2.6.1 El sensor DHT22

Es un circuito integrado de humedad calibrado en fábrica con salida digital mediante un bus serie síncrono y protocolo específico. El dispositivo también dispone de un sensor de Temperatura integrado para compensar la medida de humedad dependiendo de la temperatura, en casos extremos. Cuenta también en su interior con un calefactor para evitar condensación en el interior de la cápsula

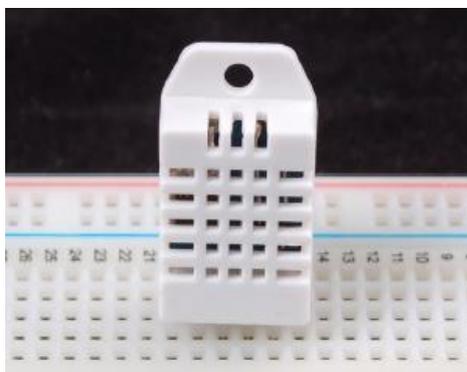
de medida para condiciones de niebla o similar donde existe condensación.

Tabla N°. 2.7. Características de trabajo del sensor DHT 22

Parámetros	Sensor DHT22
Alimentación	3VDC a 5VDC
Señal de salida	Digital 8 bits
Rango de medida de Temperatura	De – 40 C a 80 C
Precisión de Temperatura	+/- 0.5 C
Resolución de Temperatura	0.1 C
Rango de Medida de Humedad	De 0 a 100% HR
Resolución de Humedad	0.1 % HR
Tiempo de Sensado	2 segundos.
Tamaño	14 x 18 x 5.5 mm

Fuente: Data Sheet Aosong Electronics Co. Ltd.

Figura N°. 2.9 Sensor de Temperatura y Humedad DTH22



Fuente: Data Sheet Aosong Electronics Co. Ltd

2.6.2 Para el actuador

Se ha escogido la marca TEYME, con su producto AIRWET, quienes proporcionan el modelo 2007/2008, que es un sistema de humidificación, tratamiento y ventilación ampliamente utilizados en granjas avícolas, porcinas, bovinas, ovinas, invernaderos, viveros, fábricas, polideportivos, vertederos, colegios, hospitales, etc.

Aplicaciones: Humidificación y Ventilación Muy eficaz y conveniente en invernaderos, viveros, gardens, granjas avícolas, porcinas, bovinas, ovinas, cunículas, cámaras frigoríficas, bodegas, locales industriales, polideportivos, recintos feriales, fábricas de muebles, imprentas, secaderos, marmolistas, explotaciones mineras, industria cementera, colegios, hospitales, etc.

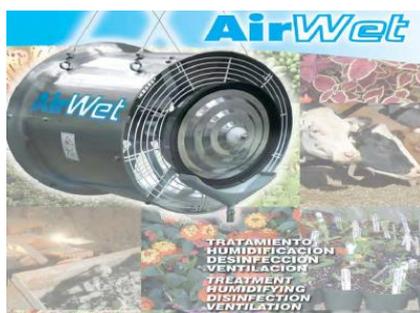
Tratamientos Fitosanitarios: Tipo Estándar, de bajo volumen, integrados, ecológicos y abonado en invernaderos, viveros, gardens, setas, etc. Con toda clase de productos convencionales, incluyendo los polvos hidrosolubles. Desinfección y Desodorización: Especialmente indicado en granjas avícolas, porcinas, bovinas, ovinas, cunículas, fábricas, polideportivos, vertederos, invernaderos, colegios, hospitales, etc.

Tabla N°. 2.8 Características del equipo de Humidificación

AirWet 2007 – 2008
<ul style="list-style-type: none">• Nebulización por sistema centrífugo a altas temperaturas.• Ventilador axial de caudal variable• Micronización a 20 micras• Consumo regulable de 10 a 44 L/h• Hélice de paso regulable de perfil elíptico• Voltaje de operación: 230 VAC – 60 Hz• Motores empleados:<ul style="list-style-type: none">• 0.33 hp 3,000 rpm monofásico• 0.5 hp 1350 rpm monofásico• Sin mantenimiento alguno• Cobertura de humidificación 275/400 mts²• Presión necesaria 2 a 6 atm.

Fuente: Catalogo TEYME, AirWet Modelo 2007/2008

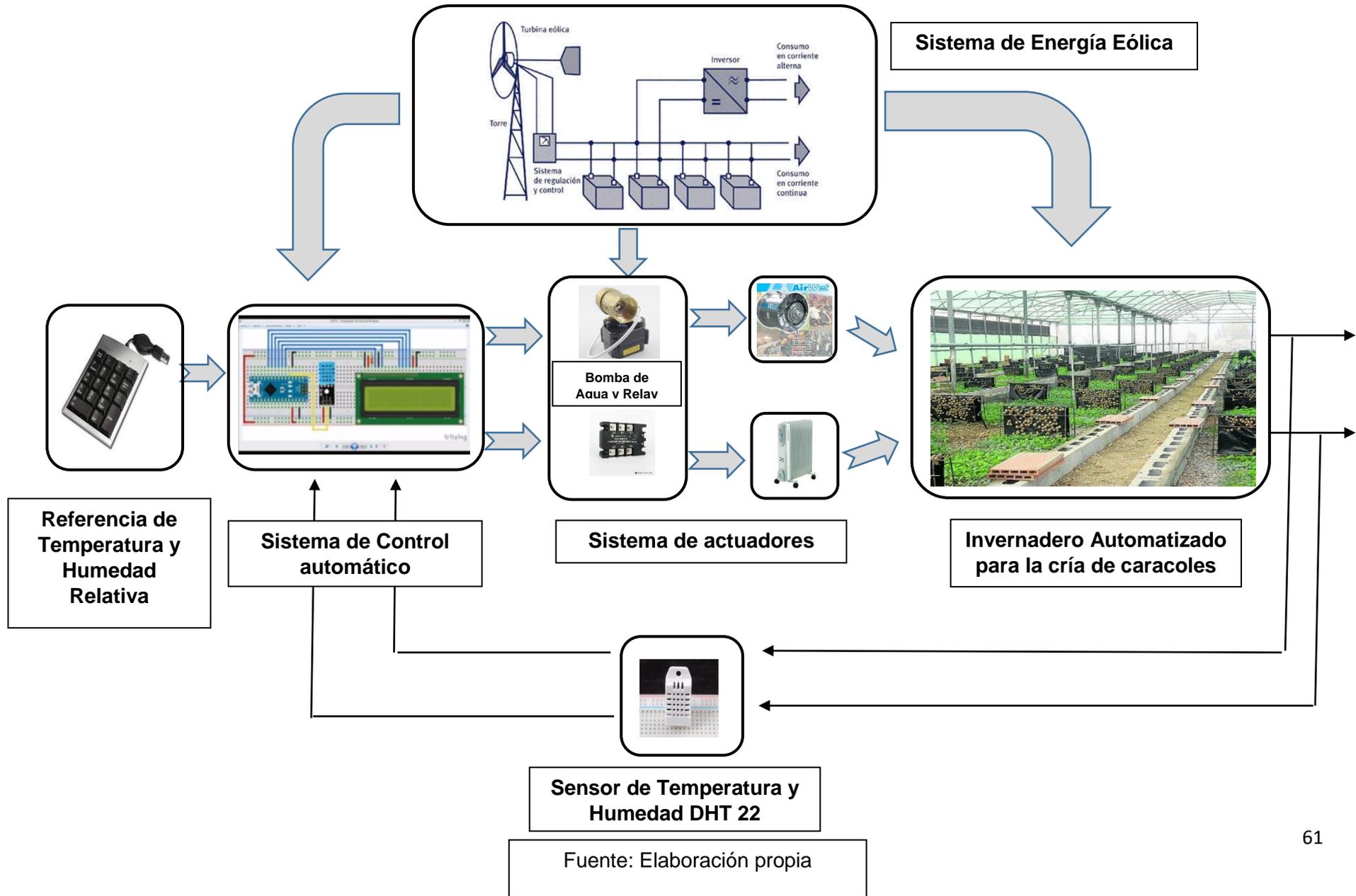
Figura N°. 2.10 Modelo del actuador para el tratamiento de humedad en invernaderos



Fuente: Catalogo TEYME, AirWet Modelo 2007/2008

2.7. Integración del sistema para el funcionamiento del invernadero automatizado

Figura 2.11 Integración del sistema para el funcionamiento del invernadero automatizado



En la figura anterior se muestra el sistema integrado para el funcionamiento óptimo del invernadero automatizado. Mostrándose todos las etapas que se emplean en el modelamiento y diseño. Tenemos:

- Aerogenerador eólico
- Teclado
- Tarjeta de control con Microcontrolador
- Actuadores (Válvulas y Relay)
- Aspersor y Calefactor
- Sensores de Humedad y Temperatura

III. VARIABLES E HIPOTESIS

3.1 Definición de las variables

Para el presente trabajo de investigación, las variables se determinaran de acuerdo a las características los tipos de energías no tradicionales, a las condiciones ambientales, y al tipo de caracol a criar.

Variable Independiente

- Consumo de caracoles en el mundo.

Variables Dependientes

- Producción de Energía Eólica
- Control Ambiental (Temperatura, humedad, luminosidad)
- Tipo de caracoles para la crianza

3.2 Operacionalización de variables

Tabla N°. 3.1 Relación de variables independientes y dependientes

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES
VARIABLE INDEPENDIENTE	<ul style="list-style-type: none"> Consumo de caracoles en el mundo 	<ul style="list-style-type: none"> Demanda insatisfecha de países de Europa.
VARIABLE DEPENDIENTE	<ul style="list-style-type: none"> Producción de Energía Eólica 	<ul style="list-style-type: none"> Velocidad del viento Densidad del Aire Potencia del generador eólico
	<ul style="list-style-type: none"> Control Ambiental 	<ul style="list-style-type: none"> Rango de Luminosidad. Rango de Temperatura. Rango de Humedad Relativa.
	<ul style="list-style-type: none"> Tipos de caracoles para la crianza 	<ul style="list-style-type: none"> Helix Aspersa Helix Locorum Helix Pomatia

Fuente: Elaboración propia

3.3 Hipótesis general e hipótesis específica

Hipótesis General:

Es posible el desarrollo de la Helicicultura (cría de caracoles comestibles terrestres) en las diferentes zonas rurales en provincias utilizando energía no convencional a fin de

automatizar un invernadero situado en zonas alejadas de la ciudad.

Hipótesis Específica

- a) Es posible utilizar la tecnología para el aprovechamiento de la energía eólica y así dotar de energía eléctrica mediante un aerogenerador para el funcionamiento del invernadero.
- b) Es posible seleccionar un tipo de invernadero que se utilizará para automatizarla a fin de demostrar que la crianza de caracoles bajo condiciones controladas es mucho más óptimo.
- c) Es posible implementar el modelamiento matemático haciendo uso de Controladores PID, a fin de mantener las variables de temperatura y humedad relativa, dentro de márgenes aceptables para un rendimiento óptimo de un micro clima que haga posible el crecimiento sostenido de los caracoles..

IV. METODOLOGÍA

4.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación que se va a realizar es aplicada.

4.2. Diseño de la investigación

Las especificaciones de requerimientos de niveles de energía y regulación de parámetros serán determinadas por los siguientes pasos:

4.2.1 Diseño del sistema de la mini central eólica de baja potencia

Se conoce que para automatizar el invernadero se requiere de energía eléctrica que haga funcionar los equipos como el aspersor, el calefactor, los focos y el circuito de control. En la Tabla N° 4.1 se muestra la cantidad de potencia que utilizan los equipos mencionados.

TABLA N° 4.1

POTENCIA DE LOS EQUIPOS A UTILIZAR EN EL INVERNADERO
AUTOMATIZADO

Cantidad	Equipo	Potencia
01	Aspersor	1320 W
01	Calefactor	1000 W
01	Extractor de aire	120 W
06	Foco de 40 W	240 W
01	Circuito de Control	50 W
	TOTAL DE POTENCIA A CONSUMIR	2,730 W

Fuente: Elaboración propia

Pero debemos tener en cuenta un sistema que garantice la energía necesaria; por ello se plantea un generador eólico de 3 kW de potencia eléctrica.

Para diseñar las dimensiones de las aspas y de la altura de la torre debemos tener en cuenta en la práctica qué porcentaje de la potencia disponible eólica se aprovecha en potencia eléctrica. Diversos estudios plantean que la potencia eléctrica útil está en el orden del 30 al 40% de la potencia eólica disponible P_d (para baja potencia), la cual sube para potencias más altas; ello se corrobora en la Tabla N° 4.2 de un generador eólico donde P_d

sale de la ecuación 2.5 y los valores de la potencia útil son de un aerogenerador eólico de diferentes potencias de la empresa Shandong Yaneng New Energy Equipment Co., Ltd. [5]

TABLA N° 4.2
EFICIENCIA DE UN AEROGENERADOR DE BAJA POTENCIA

GENERADOR		
P_d	P_u	Eficiencia (n)
2 625,97 W	1 000 W	38,1%
4 983,53	2 000 W	40%
13 898,63 W	5 000 W	35,97%
38 903,31	10 000 W	25,7%
79394,51	20 000 W	25,2%
114 328,1	30 000 W	26,2%

Fuente: Elaboración propia

Cálculo de la densidad del aire en Paiján

Se conoce de la ecuación 2.2

$$\rho = 1,225 \left(\frac{288}{T+273} \right) e^{\frac{-z}{8435}}$$

Donde z es el nivel del mar a la que se encuentra la ciudad. Para nuestro caso la ciudad de Paiján está a 94 msnm y a una temperatura promedio de 21,28 °C; por tanto tenemos:

$$\rho = 1,225 \left(\frac{288}{21,28+273} \right) e^{\frac{-94}{8435}} = 1,19 \frac{kg}{m^3}$$

Cálculo de la altura de la torre y la velocidad del viento

Se conoce que la velocidad del aire está en función de la altura, tal como se plantea en la ecuación 2.12

$$v' = v \left(\frac{z'}{z} \right)^\alpha$$

Donde z y z' son alturas respecto del piso y α es el exponente de Hellman que depende de la rugosidad del terreno.

Teniendo en cuenta las características geográficas de Paiján de estar ubicado en una zona costera, y teniendo en cuenta la Tabla N° 2.5 es que se le caracterizó como un lugar llano; por tanto le asignamos $\alpha=0,14$.

A mayor altura, mayor velocidad del viento; pero ello se contrastó con el costo de la torre. Conociendo que en Paiján tenemos una velocidad promedio de 5,5 m/s a una altura de 10m y que la mayoría de aerogeneradores trabajan a una potencia nominal cuyo valor está calculado para una velocidad nominal de 10m/s a 12 m/s; se hizo el cálculo teniendo en cuenta la ecuación anterior.

Luego de realizado el cálculo se obtuvo una altura de más de 700m, lo cual no era viable.

Se conocía que la potencia disponible no sólo depende de la velocidad del viento sino también del área de barrido. Del resultado anterior de la altura de la torre nos dimos cuenta que era más fácil modular el área que la velocidad del viento; por ello se eligió una altura prudente de altura de la torre, la cual es de 20 m; con lo cual se obtiene:

$$v' = 5.5\left(\frac{20}{10}\right)^{0.14} = 6,1 \text{ m/s}$$

Cálculo del diámetro de las aspas

Teniendo en cuenta que todo el tiempo los diferentes dispositivos que forman parte del sistema de automatización del invernadero no estarán en funcionamiento, es que planteamos una potencia disponible P_d de tal manera que el 40% de ella sea lo suficiente para alimentar al invernadero. Por tanto:

$$40\% P_d = 2730$$

De aquí obtenemos:

$$P_d = 6825 \text{ W}$$

Se conoce la relación que existe entre la potencia disponible, el área de barrido y por ende el diámetro de las aspas, la cual está explicitado en la ecuación 2.5

$$P_d = \frac{\rho A (v')^3}{2} = \frac{\rho \pi D^2 (v')^3}{8}$$

Reemplazando los valores hallados y asumidos de las diferentes variables tenemos:

$$6825 = \frac{(1,19)(3,14)D^2(6,1)^3}{8}$$

De la cual se obtiene:

$$D = 8 \text{ m}$$

Teniendo en cuenta que en los aerogeneradores comerciales el diámetro está en el orden de los 5m y 6m (no olvidar que están diseñados para una velocidad de 10 m/s o 12 m/s); el valor obtenido es viable implementar ya que no habría problema si se ubica en una torre de 20m de altura con una base robusta.

Transformación de energía mecánica en eléctrica

Sabemos que la potencia mecánica obtenida debido al giro de las aspas del aerogenerador debe ser transformada en potencia útil eléctrica, lo cual se logra mediante un generador eléctrico.

Sabemos que existen dos tipos de generadores que son las de corriente continua denominadas dínamos y las de corriente alterna denominadas alternadores. En nuestro caso elegiremos un alternador de potencia 3 KW ya que alimentaremos equipos que funcionan con corriente alterna.

Como en nuestro caso el consumo de energía eléctrica es debido a equipos de corriente alterna necesitaremos de un rectificador, de un banco de baterías y de un inversor que garantice un trabajo óptimo a una potencia de 3 kW.

Las baterías elegidas son 2 de 12V de capacidad 101-150 Amperios por hora de la marca Tokyoulight, modelo N135MF/145F51, la cual se muestra en la Figura 4.1

FIGURA N° 4.1

BATERÍA DE 12V DE LA MARCA TOKYOULIGHT



Fuente: <http://spanish.alibaba.com/product-gs/truck-battery-24v-heavy-duty-truck-batteries-n135mf-12v135ah-used-car-batteries-for-sale-1475997745.html>

El alternador elegido debe garantizar la potencia necesaria para el invernadero, por ello se eligió el alternador con imanes permanentes que ofrece la empresa Link Media Agency que tiene una potencia de 3 kW y se muestra en la Figura N° 4.2

FIGURA N° 4.2

ALTERNADOR DE IMANES PERMANENTES DE 3 Kw



Fuente: <http://www.Imagency.biz/contents/es/p4.html>

A este generador debemos conectar el rectificador e inversor respectivo para garantizar una salida de 220 V AC. Las especificaciones detalladas del montaje de la torre, las aspas, la veleta y de la góndola escapan del alcance de la tesis.

4.3 Modelamiento matemático del invernadero.

4.3.1 Modelamiento del sensor de temperatura

Según las características del sensor de temperatura utilizado en este trabajo de tesis DHT22, el rango de

temperatura manejado corresponde de: -40 °C hasta 80 °C.
y con un periodo de muestreo de 2 segundos.

Mientras que la señal de salida es digital con una precisión de 08 bits, lo cual origina un total de 256 valores u opciones de salida. Además, considerando que el sensor responde rápidamente, se asume que la constante de tiempo es próxima a cero.

Entonces, la función de transferencia de dicho sensor responde a la siguiente expresión:

$$H_T(s) = \frac{SALIDA}{ENTRADA} \quad (4.1)$$

Donde reemplazando datos tenemos:

$$H_T(s) = (255 - 0) / (80 - (-40)) = 2.1250$$

$$K \text{ constante del sensor} = 2.1250$$

4.3.2 Modelamiento del sensor de humedad

Según las características del sensor de humedad utilizado en este trabajo de tesis DHT22, el rango de Humedad Relativa manejado corresponde a:

0 % hasta 100 % con un periodo de muestreo de 2 segundos.

Mientras que la señal de salida es digital con una precisión de 08 bits, lo cual origina un total de 256 valores u opciones de salida.

Entonces, la función de transferencia de dicho sensor responde a la siguiente expresión:

$$H_{HR}(s) = \frac{SALIDA}{ENTRADA} \quad (4.2)$$

Donde reemplazando datos tenemos:

$$H_{HR}(s) = (255 - 0) / (100 - 0) = 2.55$$

4.3.3 Modelamiento del actuador

El actuador lo constituye un aspersor de la marca TEYME, Modelo AirWet 2007/2008, por lo cual, se procede a aproximar su función de transferencia, en base a la relación del consumo regular de agua que va de 10 a 44 lt/h, y la relación de la presión necesaria que va de 2 a 6 atm.

Realizando la conversión correspondiente de “atm” a “psi”, se tiene: 29.3919 a 88.1757 PSI. Asimismo, para convertir corriente mA a PSI, se utiliza un convertidor I/P con función de transferencia de la siguiente forma:

$$G_{I/P}(s) = (3 - 15) / (4 - 20) = 0.75 \quad (4.3)$$

Luego:

$$G_{act}(s) = G_{I/P}(s) * (88.1757 - 29.3919) / (44 - 10) = 1.2967$$

4.3.4 Modelamiento de la planta

Teniendo presente que la temperatura (T) ideal para el invernadero se localiza entre los rangos de 17°C a 25°C,

consideramos como el promedio de ambas el valor de T resultante para el Set Point.

$$\text{Es decir: } T = (16 + 20) / 2 = 18 \text{ } ^\circ\text{C.} \quad (4.4)$$

De igual manera, en el caso de la humedad relativa (HR) ideal para el invernadero se localiza entre los rangos de 80% y 90%, por lo tanto consideramos como el promedio de ambas el valor de HR resultante para el Set Point.

$$\text{Es decir: } HR = (80 + 90)/2 = 85 \% \quad (4.5)$$

Asimismo, considerando que el rango de Temperatura para la ciudad de Trujillo, donde se localizará el invernadero, oscila en el rango de 17°C a 25°C, para el mes de Octubre, en promedio, según datos proporcionados por el Senhami. Por lo cual, deducimos que la temperatura exterior al invernadero se encontrará en promedio por encima del valor de temperatura ideal y correspondiente a 18°C. Y, con respecto a la humedad relativa, lo hace en el rango de 80% a 90%, lo cual en promedio se localizaría próxima a la HR deseada, salvo en situaciones donde podrá subir o descender ligeramente en función a la hora del día.

De esta manera, el invernadero debe calentarse, si la temperatura exterior desciende por debajo de la

temperatura Set Point. Y, deberá enfriarse, si la temperatura exterior incrementa por arriba de la temperatura Set Point.

De la misma forma, el invernadero deberá adecuar la HR en el interior, respecto al incremento o decremento de la HR en el exterior. Para ello, se cuenta con un aspersor quien regulará tal variable dispersando a presión una cantidad de agua.

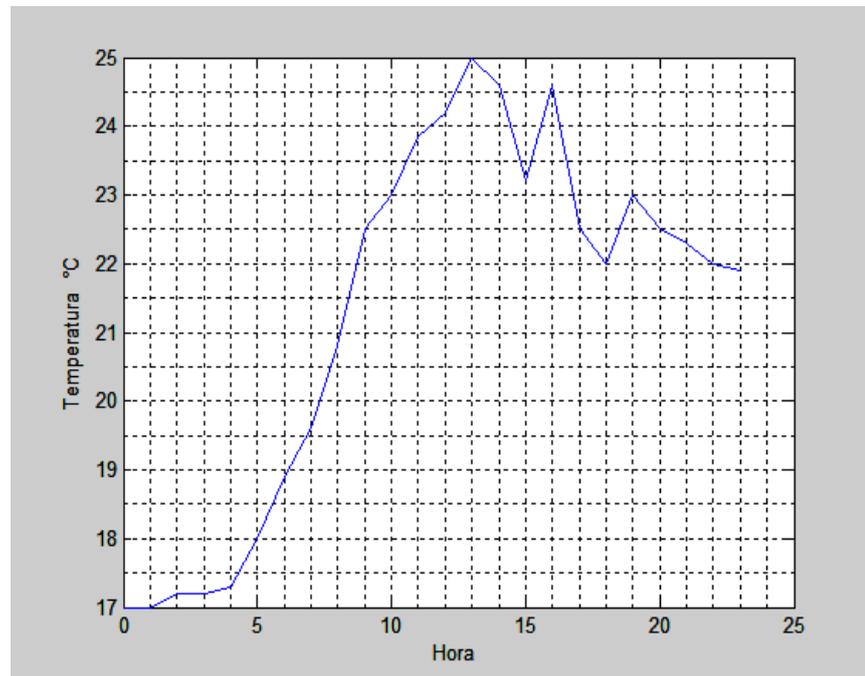
Después de realizar una serie de mediciones de la temperatura en el interior del invernadero por varios días (simulados), se llega al siguiente conjunto de datos promedio (archivo tem.mat).

Para la simulación emplearemos el software de simulación Matlab, el cual presenta muchas ventajas para el cálculo de las variables que se van a explicar.

Por lo cual, se procede a cargarlo al Matlab y graficarlo

```
%Cargar datos  
  
load temp  
  
plot(hora, temp), grid minor  
  
ylabel('Temperatura °C')  
  
xlabel(' Hora ')
```

Figura N°. 4.3 Variación de la temperatura con relación a la hora del día



Fuente: Elaboración propia, tomado del Matlab

Como los datos conseguidos fueron obtenidos cada hora, se procedió a realizar una interpolación cúbica utilizando SPLINE.

```
%Interpolación
```

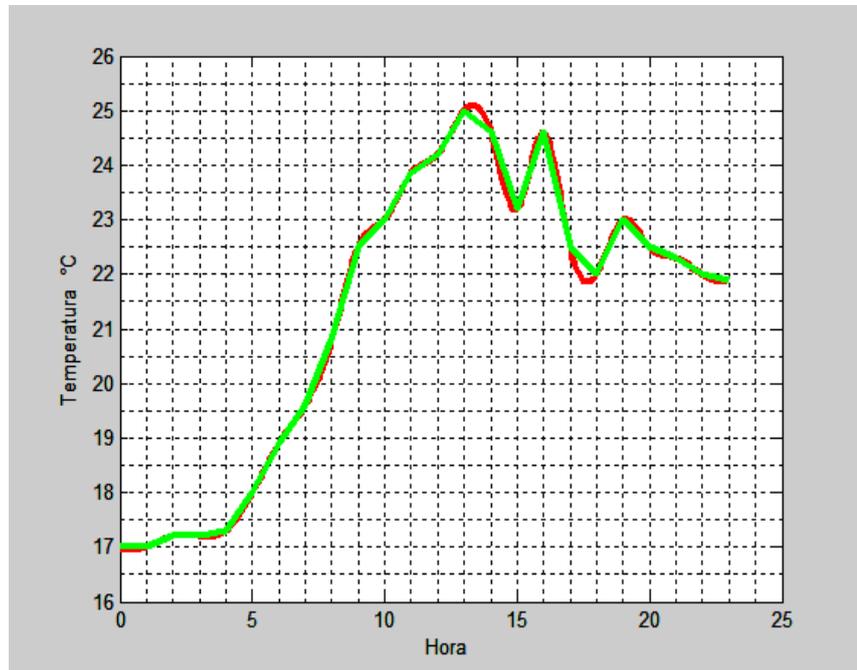
```
x = 0:0.1:23;
```

```
y = spline( hora, temp , x );
```

```
plot( x , y , 'r' , hora, temp,'g' , 'linewidth',3)
```

```
grid minor
```

Figura N°. 4.4 Interpolación cubica de la Temperatura vs. hora.

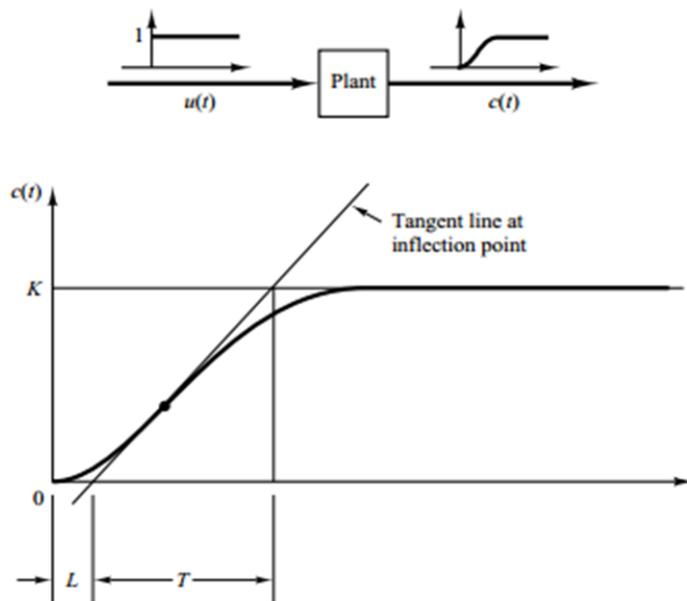


Fuente: Elaboración propia, tomado del Matlab

Por lo tanto, del gráfico observamos que tal respuesta experimental no presenta oscilaciones acentuadas, y además posee una curva con un ligero punto de inflexión y un retardo al inicio. Entonces, se opta por modelar matemáticamente dicha planta utilizando el primer método de sintonización por Ziegler Nichols¹, que a continuación se muestra.

¹ Estas reglas de ajuste propuestas por Ziegler y Nichols fueron publicadas en 1942 y desde entonces es uno de los métodos de sintonización más ampliamente difundido y utilizado.

Figura N. 4.5 Primer método de sintonización por Ziegler Nichols, para Controladores PID



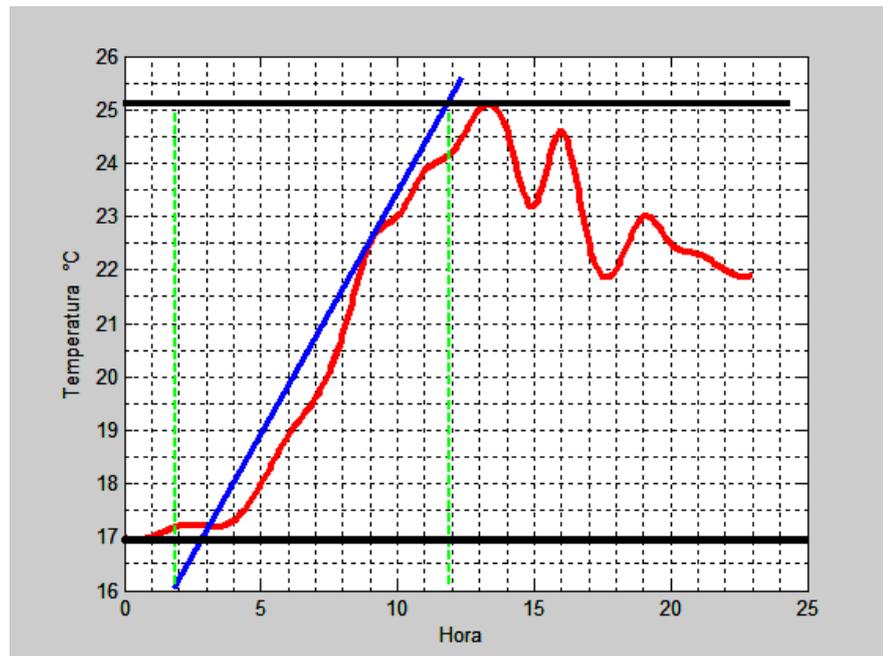
Fuente: Texto de Control de Ingeniería Moderna por K. Ogata 20ava Edición.

De esta interpretación, se logra realizar una aproximación de función de transferencia de primer orden, con retardo L , ganancia K y constante de tiempo τ .

$$Gp(s) = \frac{K e^{-Ls}}{\tau s + 1} \quad (4.6)$$

Para nuestro caso, trazamos la recta en el gráfico interpolado por SPLINE.

Figura No. 4.6 Interpolación de temperatura vs. hora



Fuente: Elaboración propia, tomado del Matlab

De donde, observamos:

$L = 3;$

$K = 1;$ %obtenido de ensayo y error, fue la ganancia que más

se ajustó al modelamiento de la planta.

$T_{hao} = 11.9 - 3;$

Por lo cual, el modelo matemático de la Planta quedaría de la siguiente manera:

$$Gp(s) = \frac{1e^{-3s}}{8.9s+1} \quad (4.7)$$

Sin embargo, la expresión matemática denotada por el tiempo de retardo o tiempo muerto (exponencial), no permite realizar un tipo de modelamiento lineal. Es así, que se opta por la aproximación de Padé² de Segundo Orden para el tiempo muerto, y así convertir la función de transferencia con presencia del exponencial, en una de la forma polinomial.

La siguiente ecuación, es la aproximación de Padé de Segundo Orden para tiempo muerto. Por ser el más utilizado en la bibliografía.

$$e^{-Ls} = \frac{1 - \frac{L}{2}s + \frac{L^2}{12}s^2}{1 + \frac{L}{2}s + \frac{L^2}{12}s^2} \quad (4.8)$$

Quedando la función de transferencia de la planta, de la siguiente forma:

$$Gp(s) = \frac{25.1}{10s+1} \left(\frac{1 - \frac{3}{2}s + \left(\frac{3*3}{12}\right)s^2}{1 + \frac{3}{2}s + \left(\frac{3*3}{12}\right)s^2} \right) \quad (4.9)$$

$$Gp(s) = \frac{25.1}{8.9s+1} \left(\frac{1 - 1.5s + 0.75s^2}{1 + 1.5s + 0.75s^2} \right) \quad (4.10)$$

² La **aproximación de Padé** es la "mejor" aproximación de una función por una función racional de un orden dado. En virtud de esta técnica, la serie de potencias de la aproximación concuerda con la serie de potencias de la función que se aproxima.

%Trazamos una recta aproximada en el punto de inflexión
y obtenemos los parámetros

$$L = 3;$$

$$K = 1;$$

$$Thao = 11.9-3;$$

%Función de transferencia por P ADÉ:

$$nu = [L*L/12 \ -L/2 \ 1];$$

$$de = [L*L/12 \ L/2 \ 1];$$

%Función de transferencia de planta con retardo

$$Np = K * nu;$$

$$Dp = conv([8.9 \ 1], [de]);$$

$$Gp = tf(Np , Dp);$$

De esta forma, se procede a evaluar la respuesta a un escalón de la planta modelada en lazo abierto, junto al actuador. Todo ello para una temperatura de set point igual a 18 °C.

%Respuesta al escalón de amplitud igual a 18. Set Point.

t = linspace(0 , 200 , 1000); %vector de tiempo de 0 a 20
seg, con interv aprox de 200/1000;

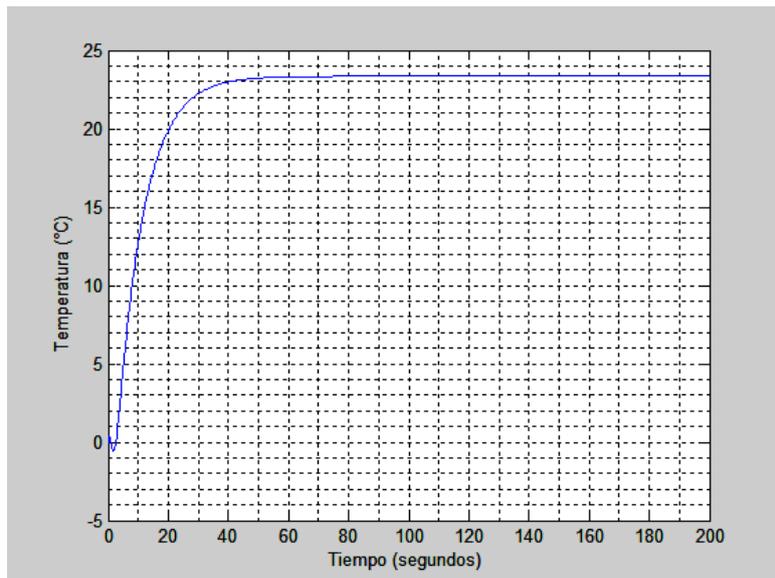
$$u = 18 * ones(size(t));$$

$$Ga = 1.2967;$$

$$y = lsim(Ga * Np , Dp , u , t);$$

```
plot( t , y )
xlabel('Tiempo (segundos) ')
ylabel(' Temperatura (°C)')
grid minor
```

Figura No. 4.7 Respuesta al escalon de amplitud igual a 18



Fuente: Elaboración propia, tomado del Matlab

Del gráfico de respuesta al escalón de amplitud 18 °C, observamos que el invernadero presenta una respuesta estable en cuanto a la temperatura, sin embargo la respuesta es sobre amortiguada presentando una lentitud y aproximadamente un tiempo de 100 segundos para alcanzar la estabilidad. Asimismo, presenta un exceso de amplitud con un alto grado de error de estado estacionario:

$$Ess = 23.2 - 18 = 5.2$$

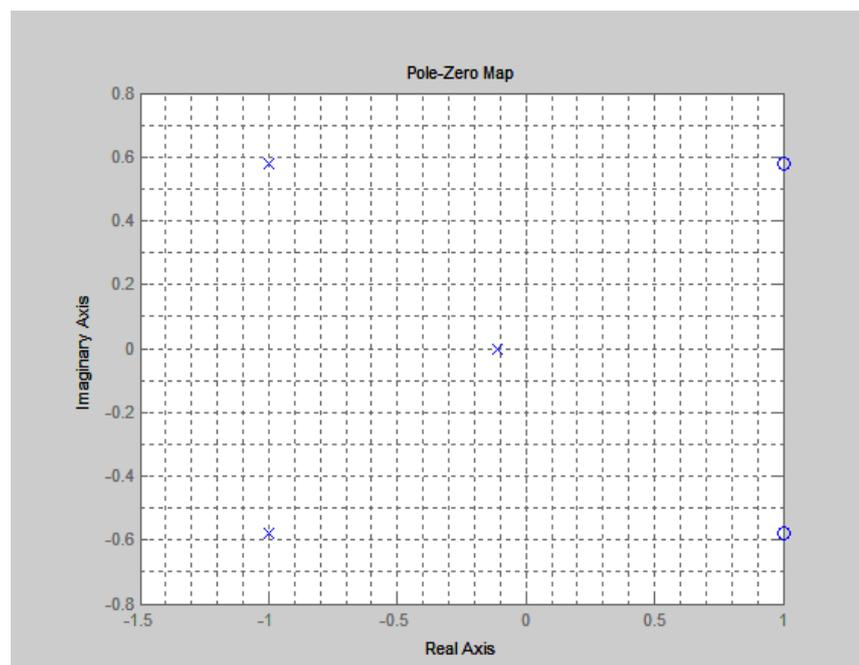
Por otro lado, el gráfico de polos y ceros, se manifiesta presentando tres polos en el semiplano izquierdo del plano S. Lo cual confirma la estabilidad.

`pzmap(Gp)`

De esta forma, se debe proceder a diseñar un controlador PID

que permita disminuir el tiempo de estabilidad y el sistema de fase no mínima, porque los ceros se encuentran en el semiplano derecho, aún siendo estable.

Figura No. 4.8 Ubicación de los polos y ceros



Fuente: Elaboración propia, tomado del Matlab

Del gráfico observamos una total estabilidad en cuanto a la distribución de sus polos, sin embargo, al considerar la presencia de una ganancia y representando el lugar geométrico de las raíces, observamos que ante una ganancia mayor e igual a 1.94 se hace inestable.

Consideramos lo siguiente para el proceso de control de la

TEMPERATURA

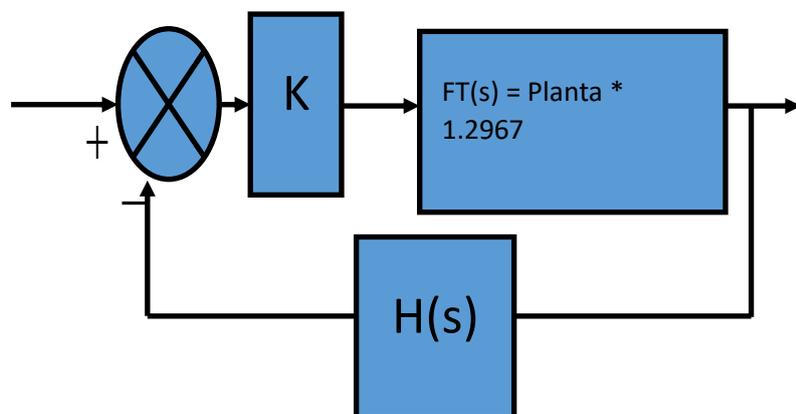
$$G = K * G_a * G_p;$$

$$H = 2.1250;$$

$$\text{rlocus}(G*H)$$

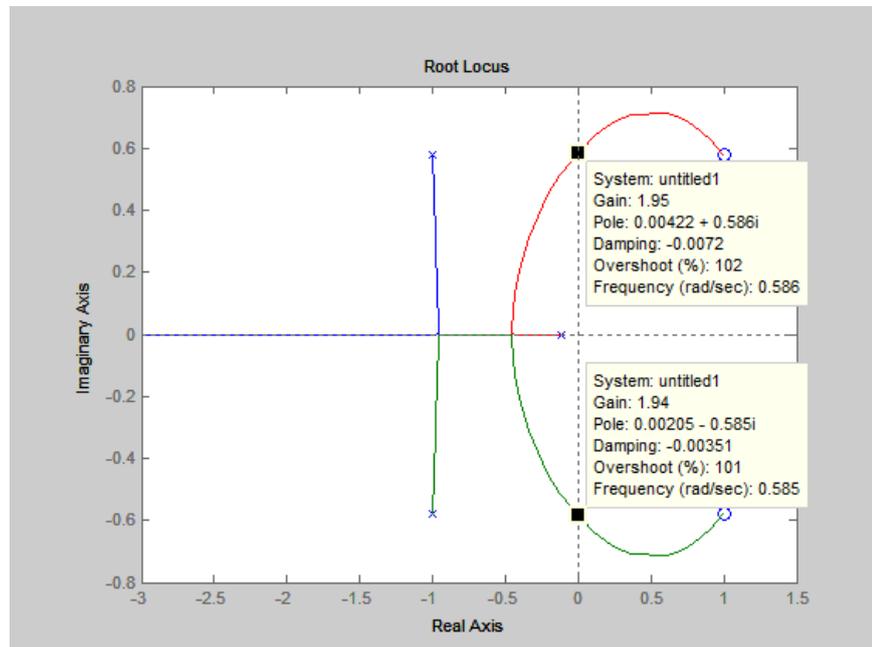
Es decir, considerando como controlador una sola ganancia con valores reales, según el diagrama de bloques mostrado:

Figura No. 4.9 Diagrama de bloques del controlador



Fuente: Elaboración propia

Figura No. 4.10 Diagrama de Root Locus de Temperatura



Fuente: Elaboración propia, tomado del Matlab

4.3.5 Diseño de un algoritmo de control PID digital óptimo

En el proceso siguiente, se procede a diseñar un controlador PID utilizando el segundo método de sintonización por Ziegler Nichols (método de ganancia límite).

Este método consiste en aumentar progresivamente la ganancia hasta lograr una inestabilidad. Entonces, ahí se para el incremento y se toma como ganancia crítica aquella que está a punto de originar la inestabilidad. Asimismo, se toma el periodo de la onda resultante cuando los polos se

encuentran sobre el eje imaginario. Con estos dos parámetros, ganancia crítica K_c (K_{cr}) y periodo crítico T_c (P_{cr}), se procede a hallar K_p , T_i y T_d de la tabla mostrada a continuación.

Tabla No. 4.3 .Regla de Sintonización de Zeigler - Nichols

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	$0.5K_{cr}$	∞	0
PI	$0.45K_{cr}$	$\frac{1}{1.2}P_{cr}$	0
PID	$0.6K_{cr}$	$0.5P_{cr}$	$0.125P_{cr}$

Fuente: Texto de Ingeniería de Control Moderna K. Ogata
20va. Edición.

Observando la respuesta para el caso de una señal oscilante. Es decir, considerando $K= 1.94$ para el diagrama de bloques mostrado líneas arriba.

%Respuesta al escalón unitario con la ganancia crítica

obtenida del lugar de las raíces

$$K = 1.94;$$

$$G = K * G_a * G_p;$$

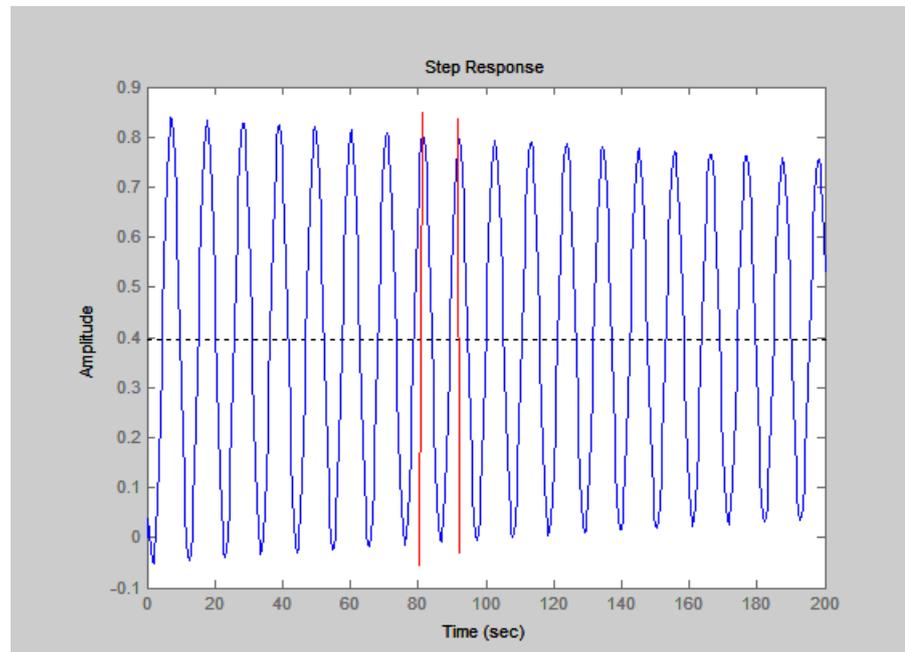
$$H = 2.1250;$$

$FT = G / (1 + G*H)$; % Función de transferencia de la planta,

sensor y controlador proporcional de ganancia 1.94 step(

FT , 200)

Figura N°. 4.11 Selección del periodo crítico para la temperatura



Fuente: Elaboración propia, tomado del Matlab

De donde podemos indicar que el periodo crítico equivale aproximadamente a:

```
[a,b] = ginput(2);
```

```
%PID
```

```
Tc = abs( a(2) - a(1) )
```

```
Kc = K;
```

Luego procederemos a sintoniza el controlador PID con la tabla anterior

```
Kp = 0.6 * Kc ;
```

```
Ti = Tc / 2 ;
```

```
Td = Tc / 8;
```

Quedando como controlador PID lo siguiente, y considerando un valor de $\alpha=0.001$ para hacer que el controlador sea realizable. Esto permite que sea posible realizar simulaciones en Matlab, sin presentar errores de fracciones impropias (más ceros que polos).

$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + \frac{T_d s}{\alpha s + 1} \right) \quad (4.11)$$

Obteniendo la función de transferencia del controlador

alfa = 0.001;

nu = [Kp*Td*Ti+Ti*alfa*Kp Kp*Ti+Kp*alfa Kp];

de = conv([Ti 0] , [alfa 1]);

Gc = tf(nu , de)

G = Gc * Ga * Gp;

FT = G / (1+G*H); %obtenemos la función de transferencia total a lazo cerrado, incluyendo el controlador, Gc, el actuador, Ga, el sensor de temperatura H y la planta, Gp.

Luego, se procede a utilizar en conjunto, para el control de temperatura, la planta, el controlador diseñado y el sensor.

Y se obtiene la respuesta al escalón con amplitud igual a 18.

% respuesta al escalón con amplitud igual a 18.

```
t = linspace( 0 , 100 , 1000 ); %vector de tiempo de 0 a 100
seg, con interv aprox de 100/1000;

u = 18 * ones( size(t) );

y = lsim( 2.1*FT , u ,t );

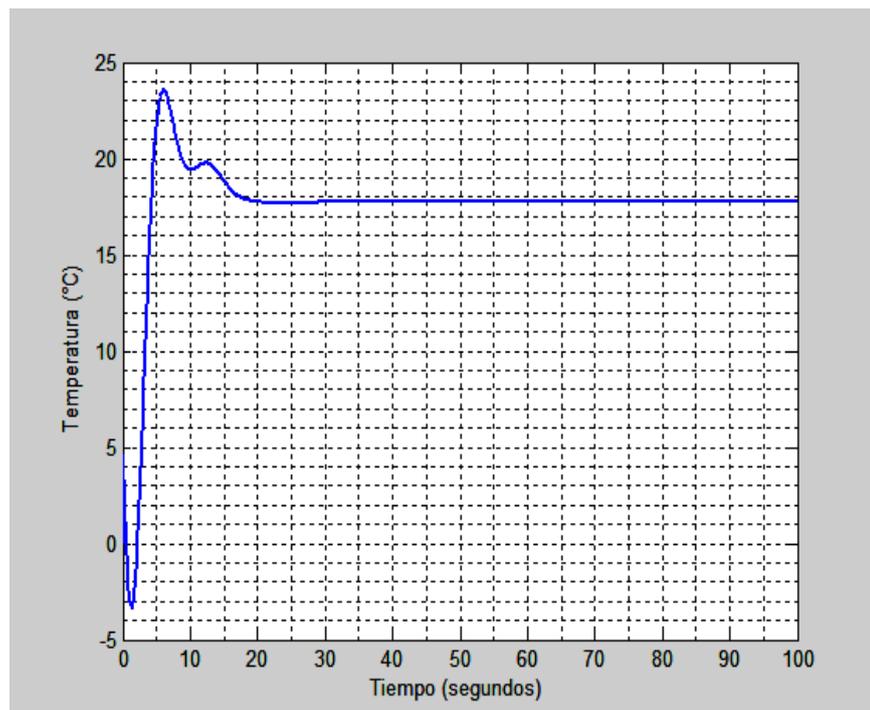
plot( t , y )

xlabel('Tiempo (segundos) ')

ylabel(' Temperatura (°C)')

grid minor
```

Figura N°. 4.12 Respuesta al escalón con amplitud igual a 18°C



Fuente: Elaboración propia, tomado del Matlab

Discretizando el controlador con $T_s=2$ segundos (hoja técnica del sensor).

```
%Discretizando el controlador PID
```

```
Ts = 2;
```

```
[ N , D ] = tfdata( Gc );
```

```
Nc = N{1};
```

```
Dc = D{1};
```

```
[ NcD , DcD ] = bilinear( Nc, Dc , 1/Ts);
```

```
%Discretizando la Planta
```

```
Ts = 2;
```

```
[ N , D ] = tfdata( Gp );
```

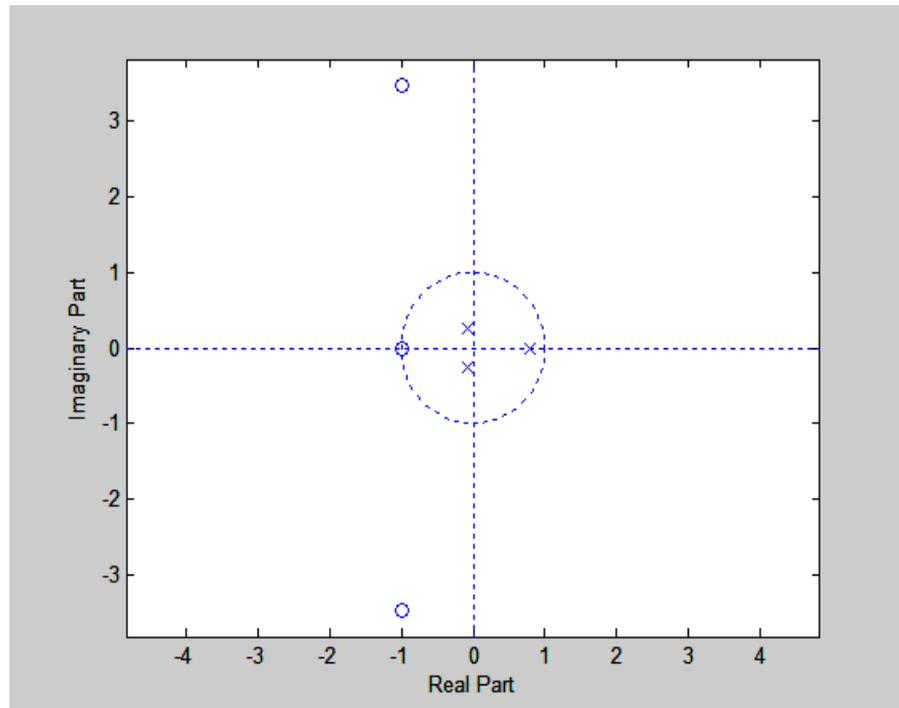
```
Np = N{1};
```

```
Dp = D{1};
```

```
[ NpD , DpD ] = bilinear( Np, Dp , 1/Ts);
```

```
zplane( NpD , DpD )
```

Figura N°.4.13 Estabilidad del sistema



Fuente: Elaboración propia, tomado del Matlab

De la figura anterior se observa en la figura, que la planta digital es totalmente estable. Luego, se considera en conjunto la planta y controlador digital, con las respectivas ganancias del actuador y del sensor para proceder a graficar la versión digital del proceso..

%Versión digital de todo el proceso

```
ND = Ga * conv( NcD , NpD );
```

```
DD = conv( DcD , DpD);
```

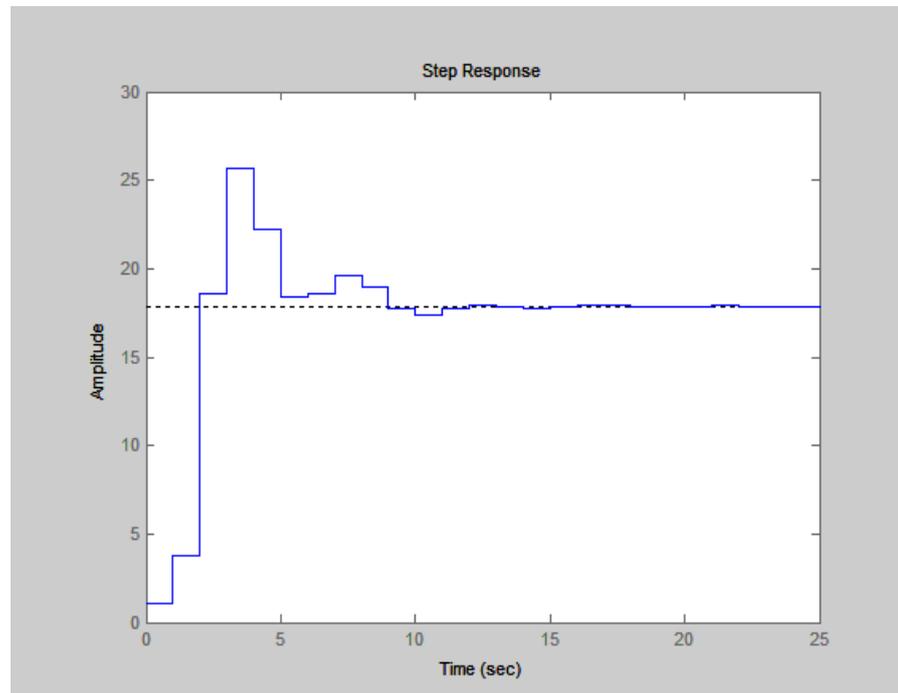
```
nFT = ND ;
```

```
dFT = DD + H*ND ;
```

```
zplane( nFT ,dFT)
```

```
dstep( 38*nFT ,dFT )
```

Figura N°.4.14 Versión digital de todo el proceso



Fuente: Elaboración propia, tomado del Matlab

4.3.6 Procedimiento de diseño de un algoritmo de control de la humedad relativa

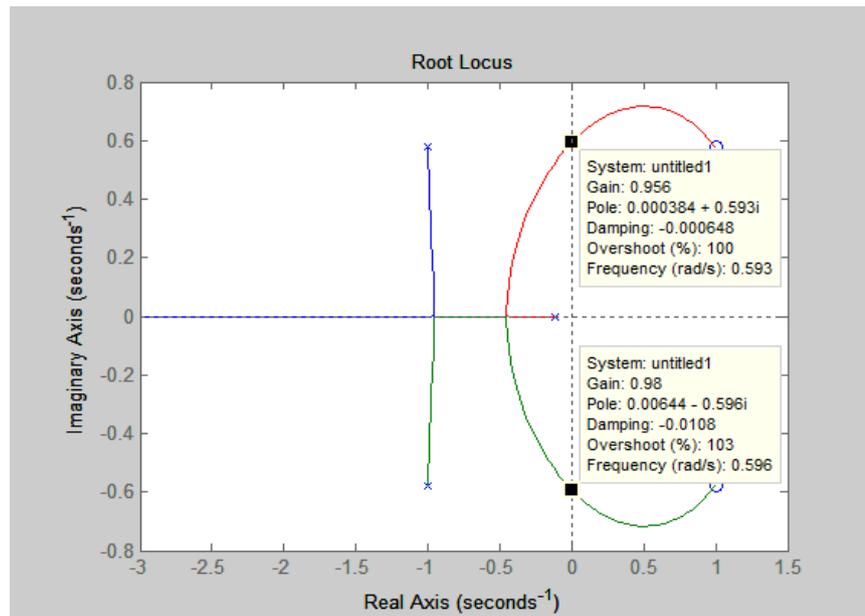
Consideramos lo siguiente para el proceso de control de la HUMEDAD RELATIVA

```
>> G = Ga * K * Gp;
```

```
>> H = 2.55;
```

```
>> rlocus( G*H )
```

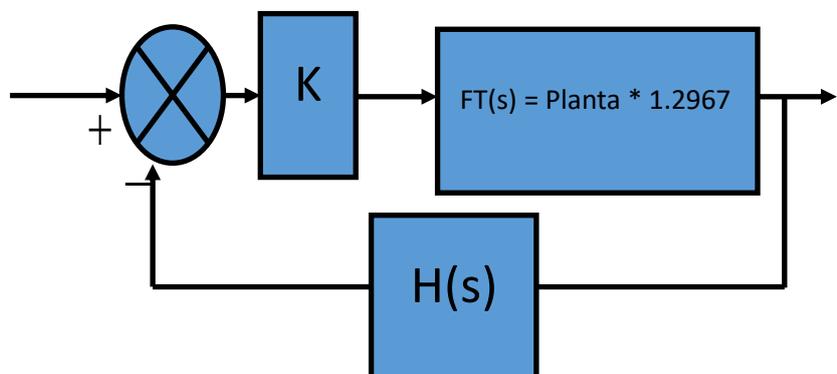
Figura N°. 4.15 Diagrama de Root Locus de Humedad Relativa



Fuente: Elaboración propia, tomado del Matlab

Es decir, considerando como controlador una sola ganancia con valores reales, según el diagrama de bloques mostrado:

Figura N°. 4.16 Diagrama de Bloques del controlador de Humedad Relativa



Fuente: Elaboración propia, tomado del Matlab

Por lo cual, se procede a diseñar un controlador PID utilizando el segundo método de sintonización por Ziegler Nichols.

Este método consiste en aumentar progresivamente la ganancia hasta lograr una inestabilidad. Entonces, ahí se para el incremento y se toma como ganancia crítica aquella que está a punto de originar la inestabilidad. Asimismo, se toma el periodo de la onda resultante cuando los polos se encuentran sobre el eje imaginario. Con estos dos parámetros, ganancia crítica K_c y periodo crítico T_c , se procede a hallar K_p , T_i y T_d de la tabla mostrada a continuación.

Tabla No. 4.4 Constantes para el tipo de Controlador

Tipo de controlador	K_p	τ_i	τ_d
P	$0.5K_{cr}$	∞	0
PI	$0.45K_{cr}$	$\frac{1}{2}P_{cr}$	0
PID	$0.5K_{cr}$	$0.5P_{cr}$	$0.125P_{cr}$

Fuente: Texto de Ingeniería de Control Moderna K. Ogata
20va. Edición.

Observando la respuesta para el caso de una señal oscilante. Es decir, considerando $K= 0.165$ para el diagrama de bloques mostrado líneas arriba.

$K = 1.62;$

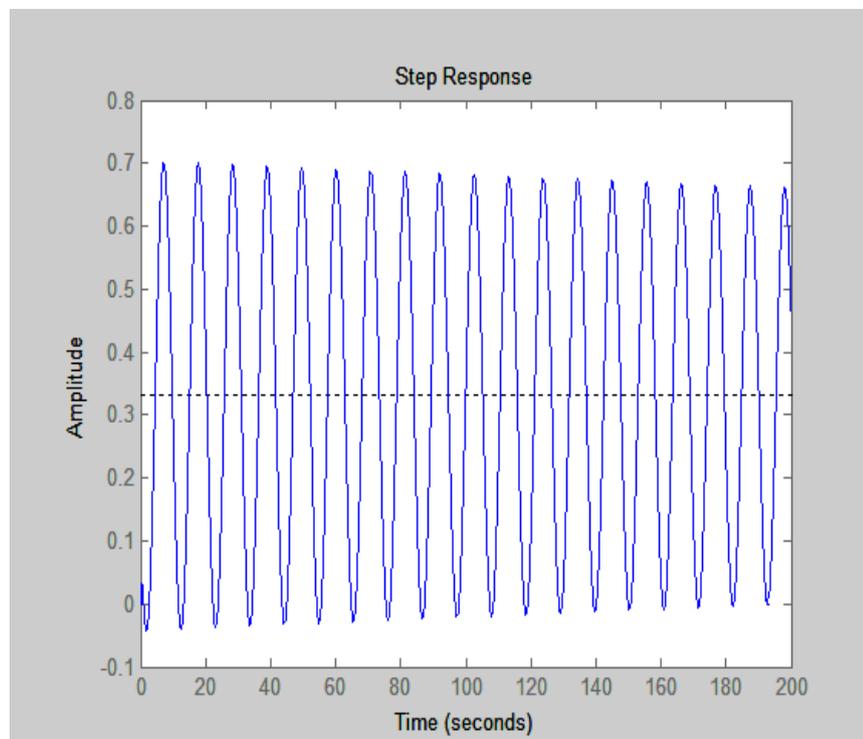
$$G = K * G_a * G_p;$$

$$H = 2.55;$$

$$FT = G / (1 + G*H);$$

step(FT , 200)

Figura N°. 4.17 Selección del periodo crítico para la
Humedad



Fuente: Elaboración propia, tomado del Matlab

De donde podemos indicar que el periodo crítico equivale aproximadamente a:

$$[a,b] = \text{ginput}(2);$$

$$T_c = \text{abs}(a(2) - a(1))$$

$$K_c = K;$$

Luego, procedemos a sintonizar el controlador PID con la tabla anterior:

$$K_p = 0.6 * K_c ;$$

$$T_i = T_c / 2 ;$$

$$T_d = T_c / 8;$$

Quedando como controlador PID lo siguiente, y considerando un valor de $\alpha=0.01$ para hacer que el controlador sea realizable.

$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + \frac{T_d s}{\alpha s + 1} \right) \quad (4.12)$$

Obteniendo la función de transferencia del controlador

$$\text{alfa} = 0.001;$$

$$\text{nu} = [K_p * T_d * T_i + T_i * \text{alfa} * K_p \quad K_p * T_i + K_p * \text{alfa} \quad K_p];$$

$$\text{de} = \text{conv}([T_i \quad 0], [\text{alfa} \quad 1]);$$

$$G_c = \text{tf}(\text{nu}, \text{de})$$

$$G = G_c * G_a * G_p;$$

$$FT = G / (1 + G * H);$$

Luego, se procede a utilizar en conjunto, para el control de temperatura, la planta, el controlador diseñado y el sensor.

Y se obtiene la respuesta al escalón con amplitud igual a 18.

```
% respuesta al escalón con amplitud igual a 18.  
t = linspace( 0 , 100 , 1000 ); %vector de tiempo de 0 a 100  
seg, con interv aprox de 100/1000;  
u = 18 * ones( size(t) );  
y = lsim( 2.1*FT , u ,t);  
plot( t , y )  
xlabel('Tiempo (segundos) ' )  
ylabel(' Temperatura (°C)')  
grid minor
```

Discretizando el controlador con $T_s=2$ segundos.

```
%Discretizando el controlador PID
```

```
Ts = 2;  
[ N , D ] = tfdata( Gc );  
Nc = N{1};  
Dc = D{1};  
[ NcD , DcD ] = bilinear( Nc, Dc , 1/Ts);
```

```
%Discretizando la Planta
```

```
Ts = 2;
```

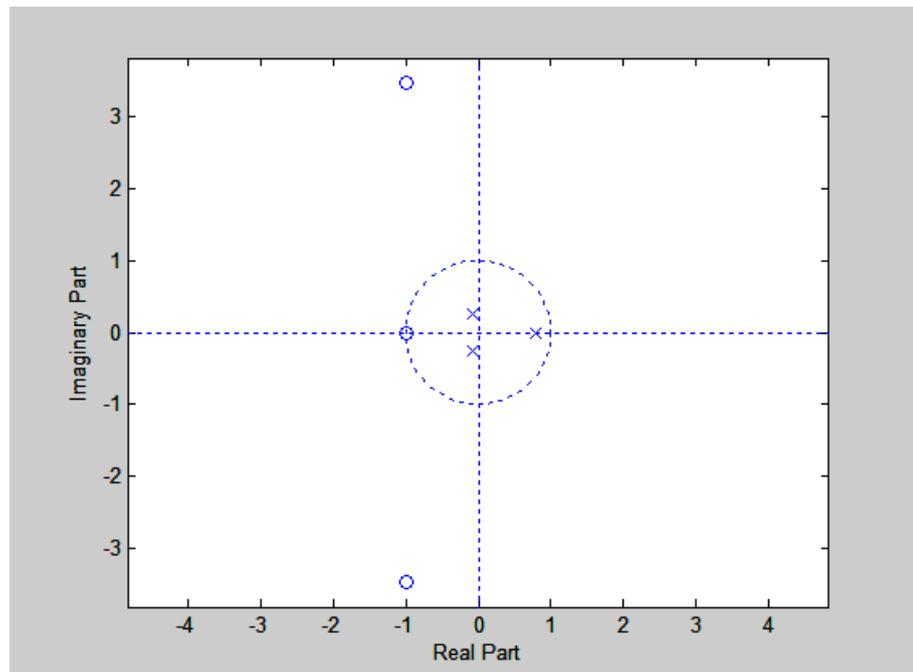
```

[ N , D ] = tfdata( Gp );
Np = N{1};
Dp = D{1};
[ NpD , DpD ] = bilinear( Np, Dp , 1/Ts);
zplane( NpD , DpD )

```

Se observa en la figura, que la planta digital es totalmente estable.

Figura N°. 4.18 Estabilidad del Sistema



Fuente: Elaboración propia, tomado del Matlab

Luego, se considera en conjunto la planta y controlador digital, con las respectivas ganancias del actuador y del sensor.

%VERSIÓN DIGITAL DE TODO EL PROCESO

```
ND = Ga * conv( NcD , NpD );
```

```
DD = conv( DcD , DpD);
```

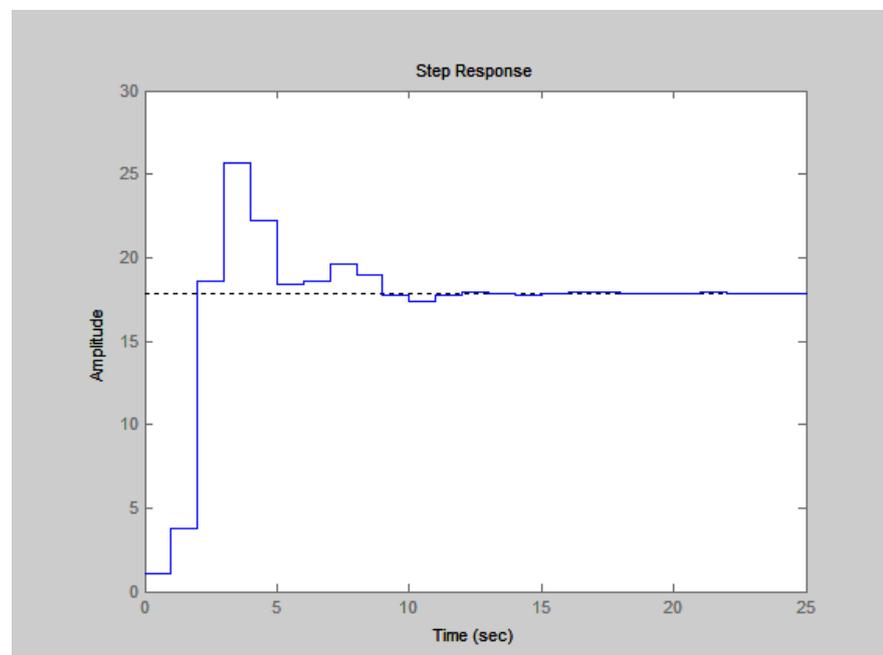
```
nFT = ND ;
```

```
dFT = DD + H*ND ;
```

```
zplane( nFT ,dFT)
```

```
dstep( 38*nFT ,dFT )
```

Figura N°.4.19 Versión digital del sistema



Fuente: Elaboración propia, tomado del Matlab

4.4. Población y muestra

Debido a la naturaleza de este trabajo de investigación no se requiere hacer un estudio de población y muestra.

4.5. Técnicas e instrumentación de recolección de datos

Por la naturaleza de esta investigación no se requiere técnicas e instrumentación de recolección de datos.

4.6. Procedimientos de recolección de datos

Por la naturaleza de esta investigación no se requiere de realizar una recolección de datos.

4.7. Procesamiento estadístico y análisis de datos

Por la naturaleza de esta investigación no se requiere plan de análisis estadísticos de datos.

4.8. Evaluación de costos

Tabla ° 4.5 Costos aproximados de la implementación de un invernadero de 5x5 mts

Item	Descripción	Costo Aprox. Dólares USA
1	200 mts ² de terreno con ubicación en el distrito de Paijan	4,000.00
2	Construcción del invernadero de 5x5 mts.	500.00
3	Materiales variados para la crianza de	500.00
4	Equipo completo del sistema eólico	3,000.00
5	Equipo completo del sistema automático (incluyendo sensores, actuadores y control)	2,000.00
6	Mano de obra no calificada x 1 año	3,000.00
7	Pago a especialistas veterinarios x 1 año	1,000.00
8	Pago por diseños de ingeniería	5,000.00
	COSTO REFERENCIAL DEL PROYECTO CALCULADO A 1 AÑO	\$19,000.00

V. RESULTADOS

1. Se logró identificar los equipos y características técnicas que permiten el funcionamiento óptimo del invernadero automatizado, como son el aspersor, el calefactor, los focos, sensores y el sistema de control.
2. La potencia eléctrica consumida, por los equipos a utilizar en el invernadero automatizado es de 3Kw, y de la energía eólica disponible en la ciudad en Paijan ha sido calculada en 6.8 KW. Con ello se logró dimensionar el diámetro mínimo de las aspas (8 m), la altura de la torre (20m), y la potencia del alternador (3Kw), que permite suministrar de energía eléctrica al invernadero.
3. De los cálculos obtenidos a través del simulador Matlab se han obtenido parámetros que indican la viabilidad técnica del proyecto.
4. Considerando las variables de temperatura y humedad, se observan en las curvas que el sistema es estable y realizable, lo cual puede ser implementado con cualquier tecnología, ya sea un PLC, Microcontrolador u otros dispositivos electrónicos que garanticen una estabilidad adecuada.
5. Para nuestro caso se ha implementado un circuito en base al microcontrolador de ATMEL AVR en su versión Arduino, el cual responde a las exigencias del sistema.

6. Se utilizó este dispositivo por ser una tecnología nueva, fácil de programar, económico y que presenta buena estabilidad para trabajos de esta magnitud.
7. En general, la implementación de este proyecto esta garantizada y será de beneficio a los pobladores de cualquier zona rural de nuestro país o del extranjero.

VI. DISCUSION DE RESULTADOS

6.1. Contrastaciones de hipótesis con los resultados

- En la hipótesis se planteó si era posible utilizar la tecnología para el aprovechamiento de la energía eólica y así dotar de energía eléctrica mediante un aerogenerador para el funcionamiento del invernadero automatizado. En el desarrollo de la presente investigación se pudo diseñar un generador eólico, teniendo en cuenta la energía eólica disponible en la ciudad de Paiján, logrando obtener las dimensiones físicas de las aspas y de la torre y las especificaciones técnicas de potencia más adecuadas del alternador, de esta manera se verificó la viabilidad de la obtención de energía eléctrica necesaria para el funcionamiento del invernadero.
- Referente a la posibilidad de mantener las condiciones óptimas de temperatura y humedad en el invernadero, en la presente investigación se logró determinar el modelamiento de la planta y la aplicación del controlador más óptimo teniendo en cuenta las variables locales de la ciudad de Paiján. En la cual se ha demostrado su viabilidad técnica de su empleo.
- La de Luz que se estimó como variable no se ha modelado por ser un control ON-OFF con un simple temporizador.

6.2. Contrastaciones de resultados con otros estudios similares

No existen otros estudios similares.

VII. CONCLUSIONES

1. El problema de la falta de energía en poblaciones rurales de nuestra geografía, es superado con el uso de energías no convencionales, tal como se ha demostrado en el presente estudio al utilizar energía eólica para dotar de un sistema alternativo a la energía eléctrica.
2. Del mismo modo analizando la particularidad de los sistemas de cría propuestos, se llega a la conclusión que el sistema de crianza CERRADO/CONTROLADO es el más conveniente teniendo en cuenta la rapidez en el crecimiento y una inversión mínima para ser recuperada dentro en un corto plazo, dado que se reducirá drásticamente el índice de mortalidad de los caracoles al tener un ambiente controlado.
3. Se ha demostrado que la parte matemática es determinante para el diseño de todo sistema automatizado, en el presente trabajo de investigación se han logrado sintetizar las variables, demostrando una estabilidad del sistema a ser desarrollado, empleando algoritmos de diseño conocidos.

VIII. RECOMENDACIONES

1. En vista de los estudios realizados que han demostrado la viabilidad del diseño de un invernadero automatizado, se recomienda su implementación en zonas rurales de la costa, a fin de dotar de un trabajo sencillo a los pobladores y así elevar su estatus de vida.
2. Se debe de concientizar el consumo de la carne de caracol en nuestro medio el cual no se encuentra muy difundido, tomando como ejemplo las principales ciudades de europa que como hemos visto, su consumo es elevado por el alto valor nutritivo del caracol.
3. El generador eólico debe de ser complementado con un rectificador y un inversor de acuerdo a la potencia necesaria, requerida por los equipos que se usan en la implementación del invernadero automatizado.
4. En el generador eólico, los ejes vertical y horizontal que permiten la orientación del aerogenerador y la rotación del alternador respectivamente, deben ser de acero para garantizar su estabilidad,
5. El uso hoy en día de herramientas de simulación hacen posible los estudios en forma muy directa, observando su comportamiento del sistema a fin de observar la viabilidad de su diseño dentro de parámetros establecidos.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. GALLOTTI LUIS. **“Proyecto de Cría de Caracoles”**. Argentina. 2001.
2. TAFUR PORTILLA, RAÚL: **“La Tesis Universitaria”**. Editorial Mantaro 1º Edición. Lima Perú. 1995.
3. TORRES BARDALES, C: **“Metodología de la investigación Científica”**. 1º Edición. Lima Perú. 1992.
4. SONODA, GUILLERMO. **“Estudio técnico económico para la instalación de un criadero de caracoles comestibles terrestre”**, Lima. 2006.
5. SUBER, RONALD. **“Factibilidad técnico económica de una producción de caracoles de tierra (Helix aspersa) para exportación”**. Valdivia, España. 2008.
6. TISNES, MARIA TERESA NARANJO. **“ Propuesta para la creación de una empresa basada en la producción de caracol de tierra de la especie Helix Aspersa”**. Risaralda, Argentina. 2007.
7. MARTINEZ, LAURA. **“Cómo hacer cría de caracoles”**. Buenos Aires, Argentina. 2003.
8. SARQUELLA, JOSEP. **“ Manual de Crianza de Caracoles”**. España. 2005.
9. MARASCO, FRANCESCO. **“ Guía completa de la cría de caracoles”**. España. 1996.

10. OSPINA, LUZ. " **Factibilidad para el desarrollo de un proyecto piloto para la cría de caracol terrestre comestible**". Bogotá, Colombia. 2007.
11. GARCIA, LUCIANO. " **Estudios Agroalimentarios, Unidad de Pre inversión**". Argentina. 2003.
12. MINISTERIO DE AGRICULTURA. " **Exportación de especímenes**". Perú. 2005
13. MINISTERIO DE SALUD. " **Produce**", Decreto supremo 007-2004.
14. CONSEJO DE INVERSIONES. " **Perfil del mercado de caracoles, Consejo Federal de Inversiones**". Argentina. 2003.
15. MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACION, **Sector Helicícola**, España. 2014.
16. EMBAJADA DE COLOMBIA. " **Ley 1011, Reglamentación de la actividad helicícola en Colombia**". Colombia. 2006.
17. KATSUHIKO, OGATA. " **Sistemas de control en tiempo discreto**". Prentice Hall. 1996.
18. RICHARD DORF, ROBERT BISHOP. " **Sistemas de Control moderno**". Prentice Hall. 2008.
19. VARGAS VILLANUEVA MANUEL. " **Tutorial de análisis y control de sistemas usando matlab**". Disponible en:
https://www.ucursos.cl/usuario/f77fc7be176d9b7e1bf51e951eae2753/mi_blog/r/Matlab_Tutorial_Control.pdf. Consultado el 20 de Setiembre del 2015

20. VILLARUBIA MIGUEL. **Ingeniería de la Energía Eólica**. México. Alfa y Omega Grupo Editor S.A. Primera Edición 2013.
21. JORGE LUIS MIRELL TARRILLO. **Matlab/Simulink in Renewable Energy**. Disponible en:
<https://jmirez.wordpress.com/category/biodigestor/page/2/>. Artículo web. Consultado el 31 de julio del 2015.
22. http://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-07-04_11-58-27106131.pdf. Consultado el 20 de Octubre del 2015
23. http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358026/358026/exe-learning_CFM/leccin_12_ley_exponencial_de_velocidad.html. Consultado el 24 de Octubre de 2015
24. <http://spanish.alibaba.com/product-gs/300w-500w-1kw-2kw-3kw-5kw-10kw-20kw-alternative-energy-generator-windturbine--60004648493.html>. Consultado el 24 de Octubre de 2015

ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Planteamiento del Problema	Objetivos del Estudio	Hipótesis de la Investigación	Variables de Estudio	Indicadores	Diseño de la Investigación
<p>Problema General</p> <p>¿Es posible el diseño de un sistema automatizado de un invernadero para la crianza de caracoles usando energía eólica?</p> <p>Problemas específicos</p> <p>a) ¿Es posible diseñar un generador eólico para el funcionamiento de un invernadero automatizado</p> <p>b) ¿Qué tipo de invernadero se utilizará para automatizarla a fin de demostrar que la crianza de caracoles bajo condiciones controladas es mucho más óptimo.</p>	<p>Objetivo General</p> <p>Diseñar un sistema automatizado de un invernadero para la crianza de caracoles usando energía eólica para la ciudad de Paijan-La Libertad.</p> <p>Objetivo Específicos</p> <p>a) Diseñar un generador eólico para el funcionamiento del invernadero automatizado.</p> <p>b) Seleccionar el tipo de invernadero que se utilizará para automatizarla a fin de demostrar que la crianza de caracoles bajo condiciones controladas es mucho más óptimo.</p> <p>c) Realizar un modelamiento matemático de un sistema que se encargue del Control Automático de variables como luz, temperatura y humedad relativa para controlar el proceso biológico de producción de los caracoles de tipo Helix Aspersa.</p>	<p>Hipótesis General:</p> <p>Es posible el desarrollo de la Helicultura (cría de caracoles comestibles terrestres) en las diferentes zonas rurales en provincias utilizando energía no convencional a fin de automatizar un invernadero situado en zonas alejadas de la ciudad.</p> <p>Hipótesis Específica</p> <p>a) Es posible utilizar la tecnología para el aprovechamiento de la energía eólica y así dotar de energía eléctrica mediante un aerogenerador para el funcionamiento del invernadero.</p> <p>b) Es posible seleccionar un tipo de invernadero que se utilizará para automatizarla a fin de demostrar que la crianza de caracoles bajo condiciones</p>	<p>Variable Independiente</p> <p>Consumo de caracoles en el mundo.</p> <p>Variables Dependientes</p> <p>Producción de Energía Eólica</p> <p>Control Ambiental (Temperatura, humedad, luminosidad)</p> <p>Tipo de caracoles para la crianza</p>	<p>Los indicadores de la presente tesis de investigación serán de 02 tipos:</p> <p>a)El microclima que se tiene que generar controlando la humedad, la temperatura, el viento.</p> <p>b)El tipo de energía a emplearse de acuerdo a la zona.</p> <p>c)El crecimiento de los caracoles</p>	<p>El tipo de investigación que se va a realizar es experimental, con toma de muestras de varias variables simultáneamente para su control.</p>

<p>c) ¿Qué tipo de controlador más óptimo se podrá emplear a fin de controlar diversos tipos de variables como la Luz, temperatura, y humedad relativa, para hacer que el invernadero sea lo más productivo posible con la mínima cantidad de energía, haciéndolo más rentable.</p>		<p>controladas es mucho más óptimo.</p> <p>c) Es posible implementar el modelamiento matemático haciendo uso de Controladores PID, a fin de mantener las variables de temperatura y humedad relativa, dentro de márgenes aceptables para un rendimiento óptimo de un micro clima que haga posible el crecimiento sostenido de los caracoles..</p>			
---	--	---	--	--	--

DECRETO SUPREMO N° 007-2004-PRODUCE

EL PRESIDENTE DE LA REPUBLICA

CONSIDERANDO:

Que, de conformidad con lo establecido en el literal b) del artículo 4° de la ley N° 27789 – Ley de Organización y Funciones del Ministerio de la Producción -, están incluidos dentro del ámbito del Ministerio de la Producción todos los recursos de origen hidrobiológico contenidos en las aguas marinas jurisdiccionales, ríos, lagos y otras fuentes hídricas del territorio nacional, así como todos los aspectos concernientes a la calidad, higiene y sanidad de los productos de procedencia acuática;

Que, de acuerdo con lo señalado por los artículos 43° y 44° del Decreto Ley N° 25977 -Ley General de Pesca-, para el desarrollo de actividades pesqueras, las personas naturales y jurídicas requerirán el otorgamiento de concesión, autorización, permiso de pesca y licencia de operación, según corresponda, los cuales son derechos específicos que otorga el Ministerio de la Producción a plazo determinado;

Que, conforme al artículo 142° de la Norma Sanitaria para las Actividades Pesqueras y Acuícolas, aprobada por Decreto Supremo N° 040-2001-PE, los requerimientos y condiciones para la recolección y extracción para el comercio de moluscos bivalvos vivos, gasterópodos, equinodermos y tunicados, de medios naturales o de la acuicultura, deben ser establecidos en normas específicas que apruebe el Ministerio de la Producción;

Que, el aprovechamiento racional de los moluscos bivalvos vivos requiere una normativa sanitaria diferenciada de aquella aplicada a los productos pesqueros de consumo humano, por presentar riesgos para la salud diferentes a los detectados en pescados;

Que, el Ministerio de la Producción, en coordinación con otras dependencias estatales, viene cumpliendo un importante rol en la adopción de acciones tendientes a superar las restricciones impuestas por los mercados europeos al comercio internacional de los moluscos bivalvos provenientes de nuestro país, siendo necesario aprobar las normas sanitarias cuyo cumplimiento garantice la óptima calidad sanitaria de dichos productos y asegure su competitividad en los mercados local y de exportación;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 117-2003-PRODUCE, publicada en el diario oficial El Peruano el 02 de abril de 2003, se conformó una Comisión Sectorial Especializada para elaborar un proyecto de Norma Sanitaria Nacional para la Explotación de Moluscos Bivalvos Vivos;

Que, la referida Comisión ha formulado la propuesta final de la Norma Sanitaria de Moluscos Bivalvos Vivos, por lo que resulta necesaria su aprobación;

De conformidad con lo establecido en el numeral 8) del artículo 118° de la Constitución Política del Perú, el Decreto Legislativo N° 560 -Ley del Poder Ejecutivo-, el Decreto Ley N° 25977 – Ley General de Pesca – y su Reglamento, aprobado por Decreto Supremo N° 012-2001-PE;

DECRETA:

Artículo 1°.- Aprobar la Norma Sanitaria de Moluscos Bivalvos Vivos, aplicable a las fases de extracción o recolección, reinstalación, depuración, transporte, procesamiento y comercialización, incluida la actividad de acuicultura, la misma que forma parte integrante del presente Decreto Supremo y consta de Diecisiete (17) Títulos, Setenta y Nueve (79) Artículos y Cuatro (04) Anexos.

Artículo 2°.- Otorgar un plazo perentorio de noventa (90) días hábiles contado a partir de la fecha de entrada en vigencia del presente Decreto Supremo, para que los organismos competentes en la gestión de la Norma Sanitaria, procedan a establecer o, en su caso, a perfeccionar las medidas y procedimientos que les corresponda aplicar de conformidad con sus respectivas atribuciones funcionales.

Artículo 3°.- Dejar sin efecto toda disposición legal, o reglamentaria que se oponga a lo dispuesto en la Norma Sanitaria de Moluscos Bivalvos Vivos aprobada por el presente Decreto Supremo.

Artículo 4°.- El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro de la Producción.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los veintidós días del mes de marzo del año dos mil cuatro.

ALEJANDRO TOLEDO

Presidente Constitucional de la República

ALFONSO VELÁSQUEZ TUESTA

Ministro de la Producción

Aprueban Calendario de Caza Comercial de Especies No Amenazadas de Invertebrados Terrestres de las Clases Insecta, Arachnida, Diplopoda, Chilopoda y Gastropoda para el período 2015, fuera de las Áreas Naturales Protegidas por el Estado

**RESOLUCIÓN MINISTERIAL
N° 0273-2015-MINAGRI**

Lima, 16 de junio de 2015

VISTO:

El Oficio N° 188-2015-SERFOR-DE, de la Dirección Ejecutiva del Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre - SERFOR, sobre aprobación del Calendario de Caza Comercial de Especies No Amenazadas de Invertebrados Terrestres de las Clases Insecta, Arachnida, Diplopoda, Chilopoda y Gastropoda para el período 2015, fuera de las Áreas Naturales Protegidas por el Estado; y,

CONSIDERANDO:

Que, conforme al numeral 3.1 del artículo 3 de la Ley N° 27308, Ley Forestal y de Fauna Silvestre, en adelante LFFS, el Estado promueve el manejo de los recursos forestales y de fauna silvestre en el territorio nacional, para garantizar su desarrollo sostenible; asimismo, de acuerdo al numeral 3.3 del mismo artículo, el Ministerio de Agricultura y Riego es el órgano normativo y promotor del uso sostenible y conservación de los recursos forestales y de fauna silvestre;

Que, el artículo 164 del Reglamento de la LFFS, aprobado por el Decreto Supremo N° 014-2001-AG, en adelante el Reglamento, dispone que el derecho de aprovechamiento de los recursos de fauna silvestre bajo cualesquiera de las modalidades establecidas en la LFFS, es determinado por especie y por modalidad de aprovechamiento; y, el artículo 234 señala que la caza comercial se autoriza a través de calendarios de caza en forma anual;

Que, conforme a los Decretos Supremos N° 011-2007-AG y 016-2014-MINAGRI, la Licencia y Autorización de caza, así como la Guía de Transporte Forestal y de Fauna Silvestre son otorgadas, según corresponda, por los Gobiernos Regionales y las Administraciones Técnicas Forestales y de Fauna Silvestre del Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre - SERFOR;

Que, de acuerdo al artículo 239 del Reglamento, para la práctica de la caza y/o captura con fines comerciales, se requiere a) licencia de cazador comercial; b) autorización de caza y/o captura comercial; y c) pago de los derechos correspondientes; asimismo, el artículo 318 del Reglamento establece que el transporte de productos de fauna silvestre, al estado natural, se realiza con la Guía de Transporte de Fauna Silvestre;

Que, el artículo 241 del Reglamento establece que la práctica de la caza deportiva y de la caza comercial se rige por los Calendarios Regionales de Caza; los cuales contienen el listado de especies, cantidades, ámbito geográfico, épocas de caza y monto de los derechos de aprovechamiento, tienen vigencia anual y son publicados antes del inicio de cada temporada de caza;

Que, el artículo 21 de la LFFS, establece las modalidades de manejo y aprovechamiento de fauna silvestre, indicándose que los calendarios de caza se aprueba por resolución ministerial del Ministerio de Agricultura y Riego;

Que, con Resolución Ministerial N° 0012-2014-MINAGRI, se aprobó el Calendario de Caza Comercial de Especies No Amenazadas de Invertebrados Terrestres de las Clases Insecta, Arachnida, Diplopoda, Chilopoda y Gastropoda para el período 2014, fuera de las Áreas Naturales Protegidas por el Estado;

Que, con el Oficio de Visto, sustentado en los Informes Técnicos N°s. 009 y 061-2015-SERFOR-DGPCFFS-

Cuadro de temperaturas máximas, mínimas y humedad relativa de PAIJAN, ASOPE, LA LIBERTAD

TEMPERATURA MÁXIMA Y MÍNIMA

ESTACIÓN METEOROLÓGICA INIA - ANEXO PAIJAN

Departamento : La Libertad
 Provincia: Ascope
 Distrito: Pajjan
 Localidad: Chuin

LATITUD : 7° 49' 3" S
 LONGITUD: 79° 20' 58" W
 ALTITUD : 117 msnm

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PROM.
TEMPERATURA MÁXIMA°C													
2006	27.13	29.18	28.83	25.55	23.47	22.12	21.97	22.48	22.43	25.03		25.87	24.91
2007	28.16	28.95		26.72	22.63	19.48			18.74	20.52	22.37	23.55	23.46
2008	27.36	29.40	29.46	26.05	22.69	21.48	21.98	21.92	22.13	22.40	22.85	23.79	24.29
2009	25.55	29.04	30.06	26.30	24.81	23.53	23.06	25.19	24.30				25.76
PROM	27.05	29.14	29.45	26.15	23.40	21.65	22.34	23.20	21.90	22.65	22.61	24.40	24.61
TEMPERATURA MÍNIMA°C													
2006	19.71	21.14	21.05	17.80	15.92	16.75	17.77	16.48	16.13	16.86		18.31	17.99
2007	21.18	20.93		18.75	15.88	14.39			14.45	14.29	15.68	16.58	16.90
2008	20.05	21.25	21.69	18.68	16.87	17.83	18.48	17.47	16.93	16.18	16.23	15.85	18.13
2009	17.03	25.04	22.42	21.17	18.32	18.43	18.97	18.58	19.13				19.90
PROM	19.49	22.09	21.72	19.10	16.75	16.85	18.41	17.51	16.66	15.78	15.96	16.92	18.23

NO DISPONIBLE POR DESPERFECTO EN EQUIPOS

MINAG-GRULL-GRALL-OEA/LA LIBERTAD

FUENTE: INIA PAIJAN

Fuente: Gerencia Nacional de Agricultura. La Libertad: Clima y Ríos en Cifras Estadísticas de Seis Décadas” Trujillo-JUNIO, 2010

Cuadro de Promedio mensual de Humedad Relativas de PAIJAN

ESTACIÓN METEOROLÓGICA INIA - ANEXO PAIJAN

Departamento : La Libertad
 Provincia: Ascope
 Distrito: Pajjan
 Localidad: Chuin

LATITUD : 7° 49' 3" S
 LONGITUD: 79° 20' 58" W
 ALTITUD : 117 msnm

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PROM.
PROMEDIO MENSUAL DE HUMEDAD RELATIVA %													
2006	88.43	80.20	82.29	85.78	87.97	89.10	90.27	87.84	87.07	82.89		84.37	86.02
2007	80.82	79.14		82.24	88.84	90.50			85.02	89.25			85.11
2008	80.19	80.21	82.37	82.79	85.58	87.21	84.08	88.38	84.43	82.43	86.28	91.13	84.59
2009	79.33	88.90	82.92	80.88	86.27	85.43	72.49	76.06	66.68				77.66
PROM	82.19	77.11	82.52	82.92	87.16	88.06	82.28	84.09	80.80	84.86	86.28	87.75	83.35

NO DISPONIBLE POR DESPERFECTO EN EQUIPOS

MINAG-GRULL-GRALL-OEA/LA LIBERTAD

FUENTE: INIA ANEXO PAIJAN

Fuente: Gerencia Nacional de Agricultura. La Libertad: Clima y Ríos en Cifras Estadísticas de Seis Décadas” Trujillo-JUNIO, 2010

Simulación en Matlab

```
%Cargar datos
load temp
plot(hora, temp), grid minor
ylabel('Temperatura °C')
xlabel(' Hora ')

%Interpolación
x = 0:0.1:23;
y = spline( hora, temp , x );
plot( x , y , 'r' , hora, temp,'g' , 'linewidth',3)
grid minor

%Trazamos una recta aproximada en el punto de inflexión y obtenemos los parámetros
L = 3;
K = 1;
Thao = 11.9-3;

%Función de transferencia por PADÉ:
nu = [ L*L/12 -L/2 1 ];
de = [ L*L/12 L/2 1 ];

%Función de transferencia de planta con retardo
Np = K * nu;
Dp = conv( [ 8.9 1 ] , [ de ] );
Gp = tf( Np , Dp );

%Respuesta al escalón de amplitud igual a 18. Set Point.
t = linspace( 0 , 200 , 1000 ); %vector de tiempo de 0 a 20 seg, con interv aprox de 200/1000;
u = 18 * ones( size(t) );
Ga = 1.2967;
y = lsim( Ga * Np , Dp , u , t );
plot( t , y )
xlabel('Tiempo (segundos) ')
ylabel(' Temperatura (°C)')
grid minor

%Diagrama de polos y ceros
pzmap( Ga * Np , Dp )
rlocus( Ga * Gp * H )

%Respuesta al escalón unitario con la ganancia crítica obtenida del lugar de las raíces
K = 1.94;
G = K * Ga * Gp;
H = 2.1250;
FT = G / ( 1 + G*H);
step( FT , 200 )
[a,b] = ginput(2);

%PID
Tc = abs( a(2) - a(1) )
Kc = K;
Kp = 0.6 * Kc ;
Ti = Tc / 2 ;
Td = Tc / 8;

alfa = 0.001;
nu = [ Kp*Td*Ti+Ti*alfa*Kp Kp*Ti+Kp*alfa Kp ];
de = conv( [ Ti 0 ] , [ alfa 1 ] );
Gc = tf( nu , de )
G = Gc * Ga * Gp;
FT = G / ( 1+G*H);

% respuesta al escalón con amplitud igual a 18.
t = linspace( 0 , 100 , 1000 ); %vector de tiempo de 0 a 100 seg, con interv aprox de 100/1000;
u = 18 * ones( size(t) );
y = lsim( 2.1*FT , u , t );
plot( t , y )
xlabel('Tiempo (segundos) ')
ylabel(' Temperatura (°C)')
grid minor
```

```

%Discretizando el controlador PID
Ts = 2;
[ N , D ] = tfdata( Gc );
Nc = N{1};
Dc = D{1};
[ NcD , DcD ] = bilinear( Nc, Dc , 1/Ts);

%Discretizando la Planta
Ts = 2;
[ N , D ] = tfdata( Gp );
Np = N{1};
Dp = D{1};
[ NpD , DpD ] = bilinear( Np, Dp , 1/Ts);
zplane( NpD , DpD )

%VERSIÓN DIGITAL DE TODO EL PROCESO
ND = Ga * conv( NcD , NpD );
DD = conv( DcD , DpD);
nFT = ND ;
dFT = DD + H*ND ;
zplane( nFT ,dFT)
dstep( 38*nFT ,dFT )

```

Software de simulación con el Micro controlador ATMEL AVR, Arduino UNO empleando los sensores DHT 22

```
# include <LiquidCrystal.h> //
LiquidCrystal lcd(7, 8, 9, 10, 11 , 12);//
#include <dht22.h>//
Dht22 DHT;//
#define DHT22_PIN 2//

void setup(){
  Serial.begin(9600);//
  lcd.begin(16, 2); //
  pinMode(3, OUTPUT); //
  pinMode(4, OUTPUT); //
  pinMode(13, OUTPUT);
}
void loop(){
  // LEER DATOS
  int chk; //
  chk = DHT.read(DHT22_PIN);//
  int temp = DHT.temperature - 3;//
  int hum = DHT.humidity;
  // MOSTRAR DATOS
  lcd.setCursor(0, 0);//
  lcd.print("Humedad: ");//
  lcd.print(hum,1);//
  lcd.print("%");//
  lcd.setCursor(0, 1);//
  lcd.print("Tempera: ");//
  lcd.println(temp,1);//
  lcd.print("C");//
  if(temp > 25|| temp < 20)
  { if(temp>25)//
  {digitalWrite(3,HIGH);
  digitalWrite(4,LOW); }
  if(temp<20)//
  {digitalWrite(4,HIGH);
  digitalWrite(3,LOW); }
  }
  else//
  {digitalWrite(4,HIGH);
  digitalWrite(3,HIGH); }
  if(hum > 70 || temp < 50)
  { if(hum>70) //
  {digitalWrite(3,LOW);
  digitalWrite(13,HIGH); }
  if(hum<50)//
  { digitalWrite(13,LOW); }
  }
  else
  {
  digitalWrite(13,HIGH);}
  delay(1000);
```

Modelo simulado con Micro Controlador Atmel AVR y sensor DHT 22

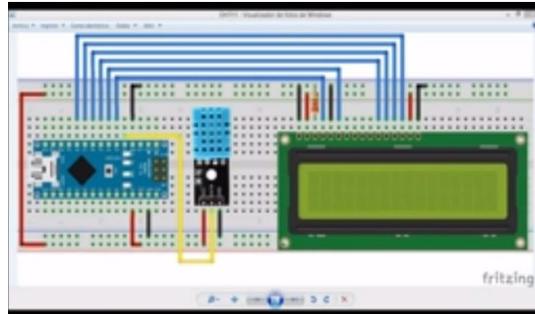
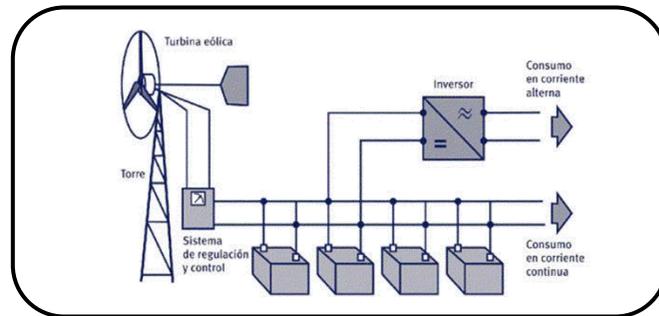


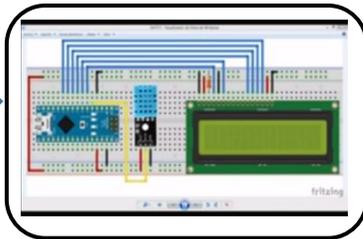
Figura N° 4.20
Diagrama en bloques de todo el proceso



Sistema de Energía Eólica



Referencia de Temperatura y Humedad Relativa



Sistema de Control automático

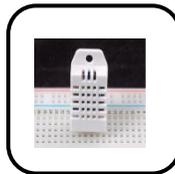


Bomba de Agua y Relay

Sistema de actuadores



Invernadero Automatizado para la cría de caracoles



Sensor de Temperatura y Humedad DHT 22

Fuente: Elaboración propia