



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica
Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica

Diseño y desarrollo de un dispositivo termoelectrónico con control fuzzy para estabilizar la temperatura interna en una vagina artificial de alpaca, en la especie Vicugna pacos

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico

AUTOR

Enrique OSORIO ORELLANA

ASESOR

Dr. Darío UTRILLA SALAZAR

Lima, Perú

2022



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Osorio, E. (2022). *Diseño y desarrollo de un dispositivo termoelectrónico con control fuzzy para estabilizar la temperatura interna en una vagina artificial de alpaca, en la especie Vicugna pacos*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Enrique Osorio Orellana
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	43610148
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-2989-8363
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Darío Utrilla Salazar
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	10625916
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-8098-3072
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Rejis Renato Paredes Peñafiel
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06758404
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Carlos Alberto Moreno Paredes
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	01292577
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Luis Ernesto Cruzado Montañez
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	32920395
Datos de investigación	
Línea de investigación	2.02.02 - Robótica, Control automático
Grupo de investigación	No aplica
Agencia de financiamiento	Perú. Superalimentos Secreto Inka. Mejorando nuestras Alpacas. College Research Improvement. CRI-001

Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: Instituto Nacional de Innovación Agraria País: Perú Departamento: Junín Provincia: Huancayo Distrito: El Tambo Urbanización: Santa Ana Calle: Carretera Saños Grande - Hualahoyo Km 8 Latitud: -12.010317505133479 Longitud: -75.22214896111768
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Diciembre 2018 – Marzo 2021
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería electrónica, Sistemas de automatización. https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.03



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA

ACTA DE SUSTENTACIÓN N° 001-EPIE-FIEE/2022

**TESIS N° 001-FIEE/2021 PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

Los suscritos Miembros de Jurado, nombrados por la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, reunidos en la fecha bajo la Presidencia del Mg. Rejis Renato Paredes Peñafiel e integrado por los Ingenieros: Dr. Carlos Alberto Moreno Paredes, Mg. Luis Ernesto Cruzado Montañez y el Dr. Darío Utrilla Salazar (Miembro -Asesor)

Después de escuchar la Sustentación de Tesis del Bachiller Enrique Osorio Orellana (06190186), para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico por la modalidad de Titulación Ordinaria, quien expuso su TESIS: “DISEÑO Y DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO TERMOELECTRÓNICO CON CONTROL FUZZY PARA ESTABILIZAR LA TEMPERATURA INTERNA EN UNA VAGINA ARTIFICIAL DE ALPACA, EN LA ESPECIE VICUGNA PACOS para la EPI Electrónica de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos”.

Se acordó **APROBADO** por **UNANIMIDAD**

Con la Nota de **DIECIOCHO (18)**

Ciudad Universitaria, 30 de marzo de 2022

Mg. Luis Ernesto Cruzado Montañez
Miembro de Jurado

Dr. Carlos Alberto Moreno Paredes
Miembro de Jurado

Mg. Rejis Renato Paredes Peñafiel
Presidente de Jurado



INFORME DE EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD

1. **Facultad:**
Ingeniería Electrónica y Eléctrica.
2. **Escuela Profesional:**
Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica.
3. **Autoridad académica que emite el informe de originalidad:**
Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica.
4. **Apellidos y Nombres de la autoridad académica:**
Paredes Peñafiel, Rejis Renato
5. **Operador del programa informático de similitudes:**
Paredes Peñafiel, Rejis Renato
6. **Documento evaluado:** Tesis para Título de Pregrado de Ingeniero Electrónico
“DISEÑO Y DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO TERMoeLECTRÓNICO CON CONTROL FUZZY PARA ESTABILIZAR LA TEMPERATURA INTERNA EN UNA VAGINA ARTIFICIAL DE ALPACA, EN LA ESPECIE VICUGNA PACOS”
7. **Autor del documento:**
Enrique Osorio Orellana
8. **Fecha de aplicación de recepción del documento:**
17 noviembre de 2021
9. **Fecha de aplicación del programa informático de similitudes:**
17 noviembre de 2021
10. **Software utilizado:**
Turnitin.
11. **Configuración del programa detector de similitudes:**
 - Excluye textos entrecomillados.
 - Excluye bibliografía.
 - Excluye cadenas menores de 40 palabras.
12. **Porcentaje de similitudes según programa detector de similitudes:**
9 % (nueve)
13. **Fuentes originales de las similitudes encontradas:**

1. docplayer.es	1% Fuente de Internet
2. core.ac.uk	1% Fuente de Internet
3. repositorio.unap.edu.pe	1% Fuente de Internet
4. www.forosecuador.ec	1% Fuente de Internet
5. www.slideshare.net	1% Fuente de Internet
6. www.biblioteca.udep.edu.pe	1% Fuente de Internet
7. www.perulactea.com	1% Fuente de Internet
8. sedici.unlp.edu.ar	1% Fuente de Internet
9. qdoc.tips	1% Fuente de Internet
10. webdelprofesor.ula.ve	1% Fuente de Internet
11. repositorio.utp.edu.co	1% Fuente de Internet
12. 1library.co	1% Fuente de Internet
13. slideplayer.es	1% Fuente de Internet



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA
DIRECCIÓN DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



14. www.repositorioacademico.usmp.edu.pe	1% Fuente de Internet
15. prezi.com	1% Fuente de Internet
16. homepage.cem.itesm.mx	1% Fuente de Internet
17. repositorio.lamolina.edu.pe	1% Fuente de Internet
18. cybertesis.unmsm.edu.pe	1% Fuente de Internet
19. rinacional.tecnm.mx	1% Fuente de Internet
20. hdl.handle.net	1% Fuente de Internet

14. Observaciones:

Ninguno

15. Calificación de originalidad:

- Documento cumple criterios de originalidad, sin observaciones.

16. Fecha del informe:

02 de mayo de 2022.

Mg. Rejis Renato Paredes Peñafiel
Director de la EPIE

2. Planteamiento del problema

Determinación del problema

La aplicación de las biotecnologías reproductivas como la producción de embriones in vitro (en adelante PIV) en Camélidos Sudamericanos (CSA), han servido como herramienta para la mejora genética, por lo que ha sido una de las tecnologías de mayor desarrollo en la última década, sobre todo en especies bovinas, sin embargo, en especies como los camélidos no se ha realizado estudios profundos. (Miragaya et al, 2006).

Inicialmente, la colección de semen en camélidos sudamericanos (CSA) se realizó con el método de fundas vaginales (Mogrovejo, 1952), luego se empleó la electroeyaculación (Fernández-Baca y Calderón, 1966), y en la actualidad se hace uso de la vagina artificial la cual simula ser una cervix dentro de un maniquí en posición copulatoria (Sumar y Leyva, 1981). La vagina artificial debe mantener la temperatura corporal de la hembra con el apoyo de una frazadilla eléctrica (Bravo et al., 1997a).

Sin embargo, se encuentran problemas en estabilizar la temperatura interna de la Vagina Artificial Térmica (en adelante VAT), debido a que la masa del líquido utilizado para este dispositivo es sometida a temperaturas externas drásticamente diferentes al valor necesario para este procedimiento, ya sea por las épocas de verano, o épocas de invierno, o la misma altitud del área. Esto ocasiona que la VAT no simule correctamente la fisiología del órgano reproductor femenino de la alpaca, y por ende la alpaca macho, cuyo proceso de reproducción tarda entre cinco a sesenta minutos, no encuentre la naturalidad del ambiente y termina ignorando al órgano artificial.

Esto afecta la calidad de espermatozoides colectados en el proceso de reproducción de embriones in vitro; lo cual es perjudicial para nuestra cultura y hasta la misma humanidad, ya que la alpaca representa una de las principales fuentes de recursos económicos y seguridad alimentaria para las poblaciones alto andinas de Perú, Chile, Argentina y Ecuador; asimismo, los pocos estudios realizados al respecto han ocasionado bajos índices de productividad en las comunidades y a disminuir la calidad genética de las alpacas, lo que no permite obtener buenos parámetros reproductivos (Fernández-Baca, et al, 1970)

Hay una necesidad por desarrollar mecanismos para la colección seminal que pueda ser usados fácil y rutinariamente en la Producción in Vitro (PIV) de embriones de alpaca, de este modo poder brindar al sector comercial y científico, pajillas de camélidos que estén a libre disposición incrementando el uso de machos selectos y alcanzando una mejora genética en la población de camélidos, obteniendo así mejores beneficios económicos para los criadores de alpaca así como la conservación de la especie y sus genotipos.

Ante este escenario, se propone una nueva VAT con un diseño preparado para la adhesión de un dispositivo electrónico, con un sistema de control automático, para poder mantener la temperatura deseada.

Formulación del problema:

Así, ante lo anteriormente expuesto, la pregunta principal que guía esta investigación es:

- ¿Es posible diseñar y desarrollar un sistema termoelectrónico con control fuzzy que estabilice su temperatura interna?

Problemas específicos:

- ¿Cómo estabilizar el ambiente térmico interno mediante un modelo matemático fuzzy?
- ¿Cuáles son las entradas y salidas que permiten estabilizar el ambiente térmico interno?
- ¿De qué manera definir las reglas de fuzzificación que permitan la estabilización del ambiente térmico interno?

3. Justificación

Las alpacas, así como las llamas, forman parte importante de la actividad socioeconómica de la población andina peruana y de otros países andinos, pues una de las mayores fuentes de ingreso de esta población es la producción de fibra de alpaca. Sin embargo hay muchas deficiencias en el manejo reproductivo que se le da a esta especie y por consiguiente se ve reflejado en la calidad de su fibra. (Huanca, 2013).

Los zootecnistas, y los agricultores en general, han desarrollado técnicas para mejorar la eficiencia del beneficio de los animales. Técnicas como la colecta seminal mediante vaginas artificiales, para el mejoramiento de la reproducción de los animales a consumir.

En ese escenario, una de las especies menos enfocadas, es la Vicugna Pacos, cuyo proceso de colección seminal generalmente es deficiente debido al factor temperatura en las zonas en donde viven estos animales, generando altos índices de mortandad de los genes por el tiempo de cópula que varía entre 40 a 60 minutos.

La visión de afrontar este problema, con la ayuda de tecnología ya fue iniciada en Argentina (Ferré y Werkmeister, 1996), pero no fue suficientemente estudiada, por lo que el presente trabajo es respuesta a la necesidad de desarrollar un dispositivo termoelectrónico con control fuzzy que permita estabilizar y tener control térmico constante durante la colecta seminal en una vagina artificial para alpacas y de esa manera poder realizar la colecta seminal de manera eficiente.

El conocimiento, y las técnicas realizadas, de este prototipo de órgano artificial servirán de antecedentes y referencia para otros prototipos, mejoras o perfeccionamiento de órganos artificiales, los cuales necesitarán ser controlados en temperatura, presión, humedad, densidad, entre otros.

Además, ayudará a la mejora genética de la especie bandera del Perú, que es la Alpaca, y además a mejorar los ingresos económicos de los habitantes de las zonas andinas; este dispositivo contribuirá con el mantenimiento de espermatozoides viables y que sean usados fácil y rutinariamente en inseminación artificial y en investigaciones como en la PIV de embriones y utilizarlo para el mejoramiento genético y conservación de esta especie de gran importancia por la calidad de fibra de la alpaca.

4. Marco teórico

4.1. Conceptos Ingenieriles

Dispositivo Termo-electrónico

Dispositivo. De acuerdo a la Real Academia Española (2014), un dispositivo es “aquel mecanismo o artificio que se encarga de realizar una acción establecida”. En otras palabras es un aparato o mecanismo que realiza una función específica.

Electrónico. Es el “conjunto de conductores, resistencias, semiconductores, sometidos a una corriente de electrones, y fuerzas externas de campos eléctricos y magnéticos”. (RAE, 2014)

Térmico. “Material, o perteneciente a un material que está relacionado con el calor o la temperatura; además, éste puede conservar o mantener la temperatura”. (RAE, 2014)

Dispositivo termo electrónico. Es un mecanismo, cuyo principal componente son resistencias, conductores y semiconductores, dispuestos para interactuar con temperaturas deseadas, previamente establecidas.

Teoría de Control

Hay dos divisiones principales en la teoría de control, a saber, clásica y moderna, que tienen implicaciones directas para las aplicaciones de ingeniería de control.

Sistema SISO, diseño clásico. Es un sistema que cuenta con una entrada y una única salida, para mantener la salida deseada se deben realizar ajustes a la entrada y así lograr el propósito de control, sin embargo, se requiere observar continuamente la respuesta ante las variaciones en la entrada, por ello surge la necesidad de cerrar el lazo de control para dar seguimiento de manera continua la salida del sistema y contrastarla con una señal de referencia o salida deseada. (Correa, et al. 2007)

El análisis del sistema se realiza en el dominio del tiempo mediante ecuaciones diferenciales, en el dominio del complejo s con la transformada de Laplace o en el dominio de la frecuencia mediante la transformación del dominio del complejo s . Se puede suponer que muchos sistemas tienen una respuesta de sistema de una sola variable y de segundo orden en el dominio del tiempo. Un controlador diseñado utilizando la teoría clásica a menudo requiere un ajuste in situ debido a aproximaciones de diseño incorrectas. Sin embargo, debido a la implementación física más fácil de los diseños de controladores clásicos en comparación con los sistemas diseñados utilizando la teoría de control moderna, estos controladores son los preferidos en la mayoría de las aplicaciones industriales. Los controladores más comunes diseñados con la teoría de control clásica son los controladores PID.

Sistema MIMO, diseño moderno. Las siglas M.I.M.O. indican que un sistema posee Múltiples Entradas y Múltiples salidas. (Correa, et al. 2007) este sistema es útil ante la tendencia por realizar tareas más complejas y con buena precisión. (Ogata, 2003)

Para Kilian (2005), en el diseño moderno, un sistema se representa con mayor ventaja como un conjunto de ecuaciones diferenciales de primer orden desacopladas definidas utilizando variables de estado. Los métodos de matriz están significativamente limitados para los sistemas MIMO donde no se puede garantizar la independencia lineal en la relación entre entradas y salidas. Siendo bastante nueva, la teoría de control moderna tiene muchas áreas aún por explorar.

Las diferencias entre la teoría de control moderna y la teoría de control clásica son las siguientes:

Tabla 1- Diferencias entre la teoría de control clásica y moderna

Teoría de control clásica	Teoría de control moderna
Sistemas lineales	Sistemas lineales y no lineales
Sistemas invariantes en el tiempo (LTI)	Variables o invariantes en el tiempo
Una sola entrada y salida (SISO)	Múltiples entradas y salidas (MIMO)
Procedimientos en el	Procedimientos en el

dominio de la frecuencia complejas.	dominio del tiempo.
-------------------------------------	---------------------

Fuente. Datos tomados de Dulhoste (2016)

Sistema de Control

Un sistema de control es una interconexión de componentes que proporciona una respuesta deseada de causa efecto en sus componentes (Vásquez, 2005). Por otro lado Gandhi (2019), nos dice que un sistema de control está constituido por dispositivos que deben seguir la lógica de por lo menos 3 elementos base: una variable a la cual controlar, un actuador y un punto de referencia o set-point.

Un sistema de control es el encargado de minimizar las fallas en un proceso para obtener los resultados esperados. Gestiona, dirige, ordena y regula el comportamiento de otros dispositivos o sistemas. (Martín, 2017; Zambrano, 2020)

Es un arreglo de componentes físicos conectados de tal manera que el arreglo pueda comandar, dirigir o regular, asimismo o a otro sistema. Estos sistemas comandan dirigen o controlan dinámicamente. (Perez et al, 2007)

Por tanto, un componente o proceso controlado puede ser representado por un bloque tal como se muestra a continuación:

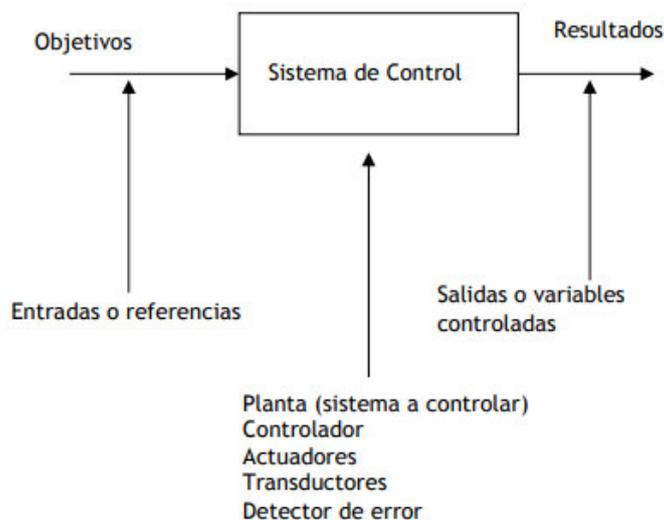


Figura 1- Diagrama de un Sistema de Control

Fuente: Perez et al. (2007)

Ingeniería de Sistemas de Control. La ingeniería de control es una disciplina de ingeniería que aplica la teoría del control automático para diseñar sistemas con comportamientos deseados en entornos de control. En su interconexión proporciona una respuesta deseada. (Godínez et al., 2015).

Ventajas de un control automático. Las entre las ventajas de un control automático tenemos el mejoramiento en la calidad de productos, reduce el tiempo de operación, de mano de obra y de costos de producción. (Dulhoste, 2016).

Características de los sistemas de control. Existen 3 características importantes:

- **Estabilidad:** un sistema estable produce oscilaciones limitadas frente a una perturbación de la variable controlada, es decir se desviará de su valor pero luego volverá a su valor correcto. Por el contrario, un sistema inestable responde con gran amplitud de oscilación de la variable controlada. (Dulhoste, 2016).

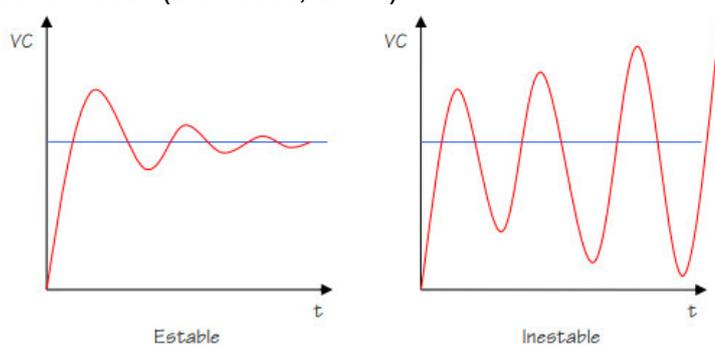


Gráfico 1- Estabilidad de un sistema de control

Fuente. Datos tomados de Godínez et al. (2015)

- **Exactitud:** no existe actualmente sistemas exactos y sin errores, pero se consideran exactos a los que mantienen el error en un valor mínimo, o en todo caso aceptable y que satisfacen los requerimientos del sistema. Generalmente esta característica incrementa el costo de un sistema. (Dulhoste, 2016).

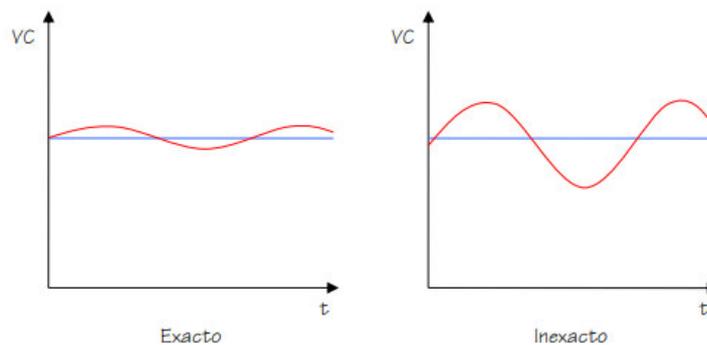


Gráfico 2- Exactitud de un sistema de control

Fuente. Datos tomados de Godínez et al. (2015)

- **Velocidad de Respuesta:** Es la rapidez con que la variable controlada se aproxima a la señal de referencia. Un sistema debe responder a cualquier entrada en un tiempo aceptable, ya que aunque un sistema sea estable y tenga la exactitud requerida, si este es demasiado lento no tiene ningún valor. Por lo general la estabilidad y la velocidad de respuesta son características que se contraponen, es decir mientras más rápido sea un sistema mayor será la tendencia a la inestabilidad y viceversa.

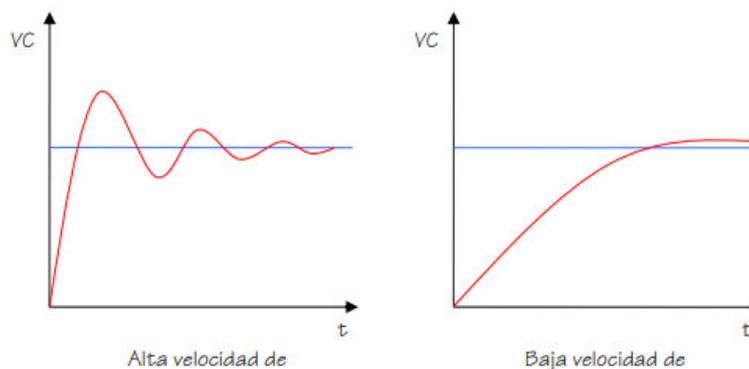


Gráfico 3- Velocidad de respuesta de un sistema de control

Fuente. Datos tomados de Godínez et al. (2015)

Clases de sistemas de control. Existen diversas formas de clasificar un sistema de control entre las cuales están:

- a) **Control Lazo Abierto:** Un sistema de control de lazo abierto es un sistema sin retroalimentación. Utiliza un regulador o actuador de control para obtener una respuesta deseada. (Vásquez, 2005).

Por otro lado, Zambrano (2020), nos dice que un control de lazo abierto es aquel que actúa circulando en una sola dirección sobre las señales de entrada dando como resultado una señal de salida independiente. Es sencillo, pero es afectado por las perturbaciones y no compara la salida con la entrada. Lázaro (2008) agrega que estos sistemas son simples y económicos. (Ver la figura 5)



Figura 2- Esquema de un Sistema de control de lazo abierto
Fuente. Figura tomada de Ortega (2015)

- b) Control de lazo cerrado: Un sistema de control en lazo cerrado utiliza una medida de salida real (señal de retroalimentación), para compararla con la señal deseada. (Vásquez, 2005).

Es un sistema de control que siempre está calculando el error por medio del controlador y efectúa una acción correctiva. El error, el cual es la diferencia entre la señal de entrada y la retroalimentación, entra al controlador permitiendo eliminar el error para llegar al valor deseado al final del proceso. (Ogata, 2003; Zambrano, 2020)

Gandhi (2019), nos dice que en estos sistemas, la información sobre la variable se consigue mediante el uso de sensores que son colocados estratégicamente para que el proceso sea autónomo. Ya que la señal de entrada es modificada en cada instante en función de la salida, y proporciona un valor proporcional a dicha señal, todo esto gracias a la realimentación o "feedback" (Ortega, 2015). (Ver la figura 6)

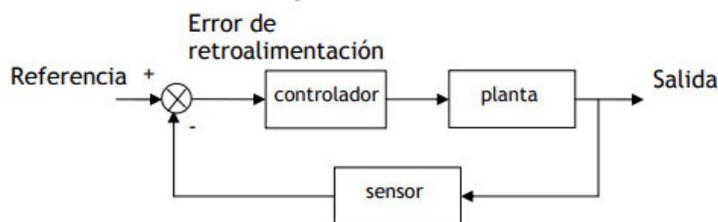


Figura 3- Esquema de un Sistema de control de lazo cerrado
Fuente. Figura tomada de Ortega (2015)

- c) Control de dos posiciones (On-Off): es un controlador que tiene

solamente dos posiciones establecidas o fijas (Rosero, 2013).

El controlador no tiene la capacidad para producir un valor exacto en la variable controlada para un valor de referencia dado pues el controlador produce una continua desviación del valor de referencia. (Universidad Don Bosco, 2019)

d) Control Lineal: Un sistema es lineal cuando cumple dos propiedades importantes, la de homogeneidad, en la que las entradas son multiplicadas por una misma constante y por la propiedad de superposición. De otro lado, para ser considerado un sistema lineal la salida deberá reflejar los mismos cambios generados en la entrada. Los sistemas lineales son aquellos sistemas que están representados por ecuaciones diferenciales lineales. (Perez, et al. 2007).

➤ Control PID: Es la combinación de la acción de control proporcional, integral y derivativa, aprovechando todas sus características. Los controladores PID funcionan de manera exitosa ya que operan en la mayoría de procesos lineales invariantes en el tiempo (LTI) y de una entrada una salida (SISO). (Samad y Annaswamy, 2011)

Para Mazzone (2002), el término básico es el término proporcional, P, que genera una actuación de control correctivo proporcional al error; el término integral, I, genera una corrección proporcional a la integral del error; y el término derivativo, D, genera una acción de control proporcional al cambio de rango del error, generando un efecto estabilizante.

El PID tiene una respuesta más rápida y una rápida compensación de la señal de error en caso de desviaciones del valor de referencia (Ortega, 2015).

e) Control No Lineal: Los sistemas no lineales son conformados por ecuaciones no lineales, y a diferencia del control lineal, estos no siguen la ley de superposición, por lo que la respuesta de salida no es proporcional a la suma de las fuerzas de entrada, las cuales se combinan entre sí para formar nuevas salidas (Perez, et al. 2007)

f) Lógica Difusa: se puede entender como un control a través de palabras que interpretan el sentido común, en lugar de números, o bien sentencias en lugar de ecuaciones. Sin embargo, las variables de los procesos se miden en números. Por lo que se realiza una adaptación antes de introducir el estado de la variable al controlador. Esta etapa es llamada fusificación. (Kouro y Musalem, 2002) Este tema está muy ligado a la inteligencia artificial, donde se intenta emular el pensamiento humano. (Bouza y Alimenti, 1997).

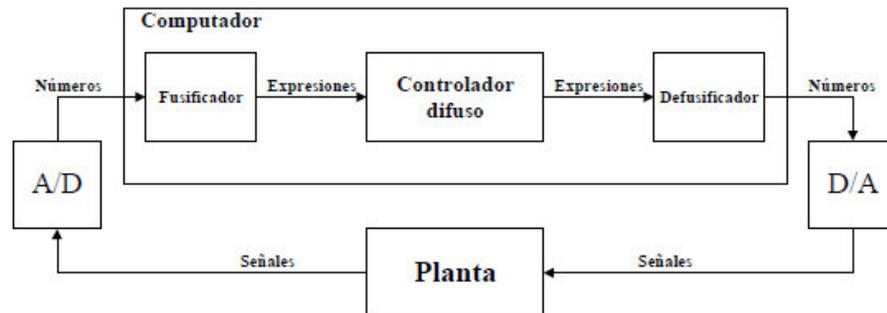


Figura 4- Lazo de Control Fuzzy

Fuente: Kouro y Musalem 2002.

La etapa de fusificación busca la correspondencia entre el estado de las variables, y las funciones de pertenencia definidas. Para un determinado valor de una variable, su grado de pertenencia será mayor en una expresión que en las demás. Luego de tener expresados los estados de las variables en forma lingüística se pueden establecer relaciones lógicas entre ellas, a través de reglas que interpretan el sentido común, y permiten generar una actuación deseada (en estado lingüístico). Luego esta debe ser traducida a número (defusificación), para que luego el conversor digital-análogo la convierta a señal de tal modo que pueda ser aplicada a la planta. (Kouro y Musalem, 2002)

i. Variables lingüísticas:

Aquella cuyos valores se representan mediante palabras o sentencias en un lenguaje natural. De esta manera transforma cualquier elemento complejo, o del cual no tengamos una definición concreta, a descripciones numéricas que pueden ser tratadas automáticamente. (Diciembre, 2017).

Según Diciembre (2017), se caracteriza por 5 elementos:

$$(X, T(X), U, G, M)$$

Donde:

- X: nombre de la variable.
- T: conjunto de valores lingüísticos.
- U: es el universo del discurso (o dominio subyacente).
- G: es una gramática libre de contexto mediante la que se generan los términos en $T(X)$.
- M: es una regla semántica que asocia a cada valor lingüístico de X su significado $M(X)$

ii. Reglas difusas:

Pueden ser escritas de la forma IF–THEN (SI–ENTONCES):

IF <antecedente o condición> THEN
<consecuente o conclusión>

El <antecedente> y el <consecuente> son Proposiciones Difusas que pueden formarse usando conjunciones (AND) o disyunciones (OR). (Diciembre, 2017)

Generalmente se emplean dos tipos de reglas difusas de Mamdani y las reglas difusas de Takagi-Sugeno (TS, para abreviar)

– *Reglas difusas de Mamdani*

Tiene la siguiente forma:

Si X es FRÍO entonces Z es A

Donde tanto FRÍO como ABRIR son conjuntos difusos, X son los atributos observables o medibles del sistema (temperatura) y Z son los atributos controlables del sistema (válvula). (Guzmán, 2006)

– *Reglas difusas de Takagi-Sugeno (TSK)*

Tiene la siguiente forma:

Regla i: Si X(t) es A entonces Z es $Y = k_{i0} + k_{i1} X(t)$

Donde A es un conjunto difuso, X son los atributos observables o medibles del sistema, Z son los atributos controlables del sistema y Y es una ecuación de salida lineal. (Guzmán, 2006)

Ambos métodos son similares, pero el TSK se utiliza para salidas constantes y es más sencillo de aplicar cuando se genera el código de forma manual.

iii. Estructura de un controlador con lógica difusa:

El controlador tiene como entradas a la referencia y a la salida del proceso, como salida del controlador tenemos a las variables que se conectan a la entrada de los actuadores. Normalmente las variables de entrada (referencia y salida del proceso) necesitan un procesamiento para que lleguen al corazón del controlador difuso, es decir al sistema de inferencia propiamente dicho, a esta etapa se le llama preprocesado. (Universidad de Piura, 2014)

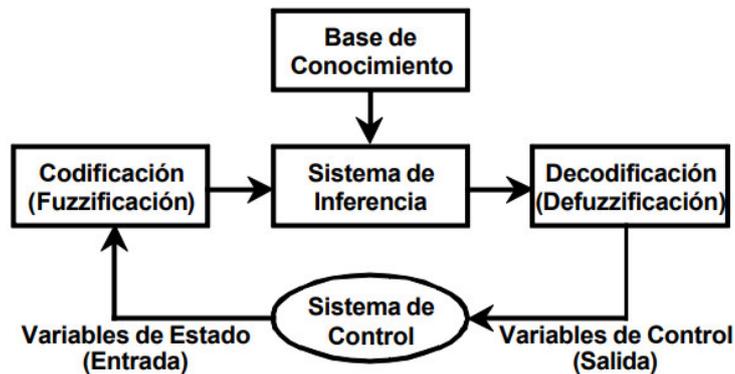


Figura 5- Esquema genérico de un controlador difuso

Fuente. Figura tomada de Gómez, G.(s.f.)

iv. Fuzzificación:

La fuzzificación es el proceso por el cual se “traduce” una variable numérica. Toma el valor numérico de entrada y obtiene el grado de pertenencia de la variable a uno o varios de los subconjuntos definidos en su dominio. (Bouza y Alimenti, 1997).

Este proceso responde a un conjunto de normas preestablecidas, conceptualizadas a partir del conocimiento que brinda el razonamiento humano a través de un sistema implementado vía software. También se conoce como “borrosificación”. (Diciembre, 2017)

v. Método de inferencia difusa de Mamdani:

Los pasos que realizan los sistemas de inferencia de Mamdani son los siguientes:

1. Determinar las reglas difusas que se utilizarán para la inferencia y Fuzzificar los valores de entrada mediante las funciones de pertenencia;
2. Evaluación de las reglas de fuzzificación.
3. Agregar las salidas de las reglas mediante los valores obtenidos y las funciones de pertenencia.
4. Defuzzificar

vi. Defuzzificación:

La defuzzificación, es la última etapa del proceso. Su función es convertir un valor numérico concreto la salida difusa resultante de nuestro proceso de inferencia. (Bouza y Alimenti, 1997).

Este sistema obtiene una conclusión a partir de la información de la entrada, los cuales son obtenidos por la etapa de inferencia borrosa, pero el dato de salida del sistema debe ser un número real y representativo de todo el conjunto. (Diciembre, 2017).

Existen los siguientes Métodos de defuzzificación según Diciembre (2017):

- a. Centroide: Asocia el centro del área formada por el número difuso.
- b. Bisectriz: método que trata de encontrar el valor numérico del elemento del universo que separa el área de la función de pertenencia del conjunto difuso en dos mitades con la misma área.
- c. Máximo central: Básicamente esta técnica toma los valores donde las funciones de pertenencia alcanzan su máximo y calcula la media como sigue:

$$z = \sum_{j=1}^l \frac{z_j}{l}$$

i.

Nótese que z es la medida del máximo, z_j es el punto en el que la función de pertenencia alcanza el valor máximo y l es el número de veces que se alcanza el valor máximo.

- d. Máximo más pequeño: La salida es el mínimo valor de todos aquellos que alcanzan el valor más alto de la función de pertenencia.
- e. Máximo más grande: La salida se corresponde con el máximo valor de todos aquellos que alcanzan el valor más alto de la función de pertenencia.

4.2. La alpaca y la colección seminal

La alpaca

La alpaca, conocida científicamente como *Vicugna Pacos*, concentra su población en los andes del sur del Perú, donde se encuentra el 80% de la población mundial de esta especie. (Asociación Internacional de la Alpaca, 2019; Fernández-Baca, 1994). La raza de alpaca conocida como Huacaya representa el 80.4% del total de la población, seguida de la raza Suri con 12.2%, y las que son el resultado de cruce representan el 9.2%. (Andina, 2018).

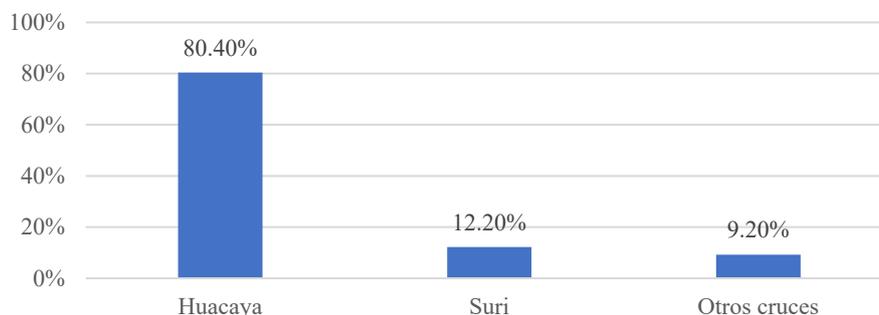


Gráfico 4 - Población de Alpacas en el Perú

Fuente. Datos tomados de Andina (2018).

Importancia de la Alpaca en el Perú

Se considera al Perú como primer productor de fibra de alpaca en el mundo, al contar con el 87% de la población mundial, con más de 3.6 millones de ejemplares. Además, es parte importante de la cultura andina y se le reconoce y cotiza por su fino pelaje. (Andina, 2018).

Por otro lado, la carne de alpaca se ha posicionado en la gastronomía peruana en los últimos años debido a la tendencia actual del consumidor por optar por lo saludable, natural, nutritivo y bajo en colesterol. (MINAGRI, 2017)



Figura 6-Alpaca Huacaya (Perú)

Fuente. Figura tomada de Andina (2018)

Anatomía del aparato reproductor del macho (alpaca)

El aparato reproductor de la alpaca macho (pene) es fibroelástico, y en ausencia de erección se retrae en la vaina a través de una flexura sigmoidea pre-escrotal (Smith et al., 1994). El glande del pene es largo (9-12 cm) y en el extremo distal presenta una proyección cartilaginosa que tiene una ligera curvatura en sentido horario en forma de gancho curvado (Bravo and Johnson, 1994). En el adulto, el pene erecto, que sobresale a través del prepucio, es de unos 35-40 cm de largo y la flexura sigmoidea es post-escrotal (Sumar, 1985; Smith et al., 1994).

Anatomía del aparato reproductor de la hembra (alpaca)

La vagina de la alpaca es un órgano de forma tubular, por donde penetra el pene del macho durante la cópula. La vagina mide de 12 a 18 cm de largo y 2 a 4 cm de diámetro. (s. f., 2011).

La eyaculación del macho (alpaca)

La cópula dura de 5 a 55 minutos, siendo el promedio de 20 minutos para la alpaca macho. Este tiempo representa el período desde la intromisión del pene en la vagina y el final de la cópula. (Bravo and Johnson, 1994). La eyaculación en los camélidos parece ocurrir durante toda la cópula, pudiendo ser recolectado a los 5 min

(Fernández-Baca, et al 1970, Kubicek, 1974 y Lichtenwalner et al., 1996). La duración de la cópula y la naturaleza de la eyaculación dificultan la recolección de muestras de semen. (Bravo and Johnson, 1994).

Las características seminales

Las características físicas y biológicas del semen de los camélidos son muy variables, ya que puede verse afectado por el método de colección del semen, la fertilidad y la libido del macho, así como de la temperatura ambiental (Tibary, 2005 y Vaughan, et al 2003). El semen eyaculado generalmente es de bajo volumen, alta viscosidad (Garnica et al., 1993), lo cual hace difícil su manipulación para determinar los parámetros espermáticos, además contiene una baja concentración de espermatozoides (Fernández-Baca y Calderón, 1966; Tibary et al., 2005). Es de color predominantemente blanco lechoso o cremoso (Garnica et al., 1993)

Colección seminal para la producción in vitro

La colección de semen es un procedimiento habitual y muy bien desarrollado, sin embargo, no es el caso en los camélidos, en especial en las alpacas, debido a las características reproductivas, anatómicas y fisiológicas, no se puede obtener una metodología fiable para la colección, debido a la posición y al largo periodo de la cópula (que varía de 12 a 50 minutos), además del lugar de depósito intravaginal del semen (Brown, 2000; Giuliano, et al 2008), asimismo hay que agregar la baja concentración de espermatozoides, así como el alto porcentaje de espermatozoides anormales (Fernández-Baca, 1993). Por otro lado, Pacheco (2008), señala distintos tipos de técnicas de recolección en camélidos, las cuales se describen en el siguiente apartado.

Vagina artificial

Vagina. Conducto muscular y membranos de las hembras de los mamíferos que se extiende desde la vulva hasta la matriz. (RAE, 2014)

Artificial. Hecho por mano o arte del hombre. No natural, sino falso. Producido por el ingenio humano. (RAE, 2014)

5. Antecedentes

Técnicas de recolección. Debido a la dificultad de la recolección seminal, se han desarrollado diversas técnicas, las cuales se explican a continuación:

- Fundas vaginales: el primer ensayo de recolección de semen de alpacas lo realizó Mogrovejo (1952) usando una funda de látex insertada intravaginalmente antes del apareamiento; posterior al coito, se retiraba la funda de látex que servía de contendedor del semen; sin embargo, el semen obtenido presentaba algunas dificultades, ya que se interfería con

la cópula normal y la fijación de la funda ocasionaban complicaciones que con frecuencia generaban lesiones que incapacitaban a la hembra para realizar más apareamientos.

- Esponjas vaginales: Este método lo realizó San Martín (1961), en el cual usa trozos de esponja dentro de la vagina de la alpaca que se encargue de absorber el semen durante el coito, sin embargo presentaba inconvenientes pues no solo absorbía semen sino que también fluidos vaginales, obteniéndose un semen contaminado y por ende reducía la calidad del material genético.
- Electroeyaculación: Para Fraser (1988), nos dice que se trata de estímulos de un electrodo que presenta varios contactos, éste es colocado en el recto del macho y después de una ligera estimulación eléctrica se produce la eyaculación. Por otra parte Evans y Maxwell (1990), menciona que la electroeyaculación se debe usar cuando se requiere recoger semen de un macho que no es posible entrenarlo a la vagina artificial (incapacitado). La electroeyaculación tiene el inconveniente de producir malestar en el macho, no pudiendo realizarse frecuentes colecciones de semen, además se contamina fácilmente con orina, durante la colección.
- Fístula uretral: en este método se realiza una fístula quirúrgica en la uretra peniana entre el ano y el escroto; mediante el cual se recolecta el semen durante la copula natural usando un catéter plástico y anestesia epidural y local; el problema con este método son los cuidados post operatorios y la discapacidad de la alpaca (Kubiceck, 1974).
- Aspiración vaginal postcoital: esta técnica consiste en aspirar el fondo de la vagina después de la cópula; sin embargo, la desventaja es que este semen es contaminado y diluido con las secreciones vaginales y residuos de sangre (Bravo, 2002; Neelly y Bravo, 1995).
- Vagina artificial: en este método, Sumar y Leyva (1981), construyeron un maniquí en forma de una hembra sentada en posición de cópula, equipado con una vagina artificial. De tal manera que el macho montaba al maniquí y eyaculaba en el tiempo establecido, además requería una adecuada manipulación y control de la temperatura para que el semen no sufra cambios que reduzcan su calidad.
- Desviación de los Conductos Deferentes: esta técnica intenta coleccionar espermatozoides directamente de la cola del epidídimo, haciendo una desviación quirúrgica de los conductos deferente, permitiendo de esta manera que el semen no tenga contacto con las secreciones de las glándulas anexas, y sin la necesidad de tener una hembra receptiva (Paricahua, 2001; Quintano, 2002).
- Bulbouretr ectomía: en esta técnica se realiza una incisión en la piel perianal hasta la uretra pélvica y las glándulas bulbouretrales, las cuales fueron extirpadas (pues son las encargadas de producir el material viscoso del semen, el cual causa gran dificultad en su manipulación), teniendo una duración promedio de 3 horas y una recuperación del animal en 17 días (Copa et al., 2003).

El presente documento se enfoca en el método por vagina artificial, puesto que, para la colección de semen, si bien existen otras técnicas, el uso de la vagina artificial es considerada como la técnica que permite

colectar la mejor calidad de semen. (Pérez et al., 2018) Además, de que provee estimulación térmica (temperatura) y no requiere de operaciones ni de anestesia epidural ni local, como con otras técnicas.

Vagina artificial. Entre los diferentes métodos de colección del eyaculado está el método de colección por Vagina Artificial. En este método, los machos están capacitados para servir el maniquí, que está equipado con una vagina artificial mediante el uso de una hembra receptiva como un estímulo. (Garnica et al., 1993 y Vaughan et al., 2003).

La vagina artificial está hecha de un tubo de PVC o manguera de goma (25 cm de largo y 7 cm de diámetro) equipado con un revestimiento interior con constricciones anulares (cable eléctrico enrollado en una banda de goma o espuma cilíndrica 2.5 cm) para simular los anillos de cuello uterino y estimular la eyaculación (Bravo et al., 1997a, Bravo et al., 1997b y Vaughan et al., 2003). La cámara exterior de la vagina artificial se llena con agua caliente a 45 ° C; la copula se interrumpe cada 10 minutos aproximadamente para renovar el agua caliente. (Garnica et al., 1993, Quispe, 1987)

La utilización de vagina artificial con una fuente de calor continua y que imite a la cervix de la alpaca, sería la técnica más óptima para obtener semen de calidad (Vaughan et al., 2003). La recolección de semen con un maniquí proporciona la muestra más natural. (Bravo y Johnson, 1994).

- **Método Antiguo:** Se usa un maniquí de alpaca con la forma y el tamaño de una alpaca hembra para la recolección de semen en lugar de usar una hembra común (El-Hassanien, 2003). Debajo del maniquí se estableció un laboratorio bien equipado para el examen primario de semen. También se cambió la vagina artificial desde abajo, donde se guardaron los tubos colectores a 37°C al cambiar una chaqueta de agua desde abajo durante el proceso de recolección de semen.

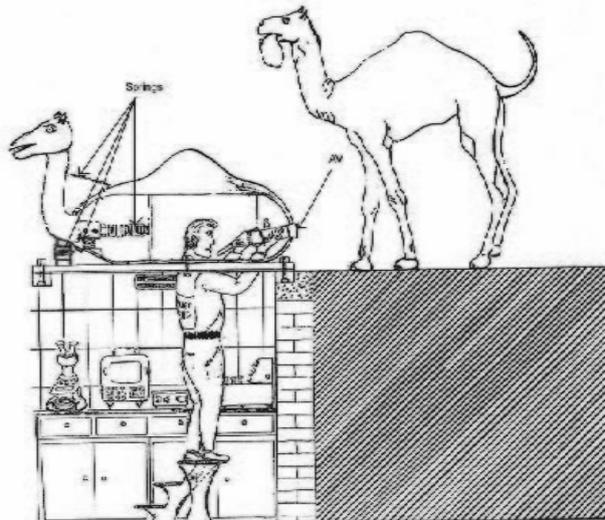


Figura 7- Colección Vaginal en camélidos - Método Antiguo
Fuente. Figura tomada de El-Hassanien (2003)

Se utilizó una temperatura del agua de 55°C para llenar la VA y dar una temperatura interna de 38 - 40°C. El tubo colector de vidrio de semen se recubrió con una bolsa de plástico con agua tibia a 40°C para mantener la eyaculación a una temperatura adecuada durante un largo período de proceso de eyaculación, que dura entre 5 y 50 minutos. (El-Sadek, 2005)

- **Método Actual:** La falta de equipo de calefacción adecuado en el método de la Vagina Artificial requirió un llenado repetido de la cámara de agua caliente para mantener una temperatura de la VA estable durante la copulación prolongada.

La técnica se mejoró con el uso de una manta térmica eléctrica envuelta alrededor de la VA. Bravo et al., (1997b), Santiani et al. (2005) y Raymundo et al. (2006) usaron la vagina artificial cubierta con una manta eléctrica dentro del maniquí de alpaca. Asimismo, Bravo et al. (2000) sostienen que es un método más natural y seguro en comparación a otros y el tiempo de copula es el normal, sin embargo la única dificultad radica en el entrenamiento de los machos.



Figura 8- Recolección de semen en llamas y alpacas

Fuente. Imagen tomada de Bravo et al. (2000)

(Utilizando una vagina artificial envuelta en una manta eléctrica para mantener la temperatura entre 35 ° y 40 ° C y colocarse dentro de una montura)

6. Objetivos de la investigación

Objetivo General

Diseñar y desarrollar un sistema termoelectrónico con control fuzzy que estabilice su temperatura interna.

Objetivos específicos

- Estabilizar el ambiente térmico interno mediante un modelo matemático fuzzy
- Definir las entradas y salidas que permitan estabilizar el ambiente térmico interno
- Definir las reglas de fuzzificación que permitan la estabilización del ambiente térmico interno.

7. Materiales y métodos

a. Población, Localización y Condiciones ambientales

Localización

El trabajo se realizó en el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), con sede física en el Fundo Santa Ana, distrito “El Tambo”, provincia de Huancayo, departamento de Junín, Perú.

Coordenadas:

Latitude	Longitude
S12° 04' 35.25128"	E283° 03' 17.01604"
S120435.25128	W0765642.98396
-12.0764586896	-76.9452733229

Población

El prototipo se probará en una alpaca macho adulto de 06 años de edad, de la raza Huacaya, el cual ha sido previamente evaluado y seleccionado por el Laboratorio de biotecnología reproductiva animal del INIA, teniendo como criterio de selección la eficiencia reproductiva, características fenotípicas reproductivas (tamaño testicular y estado general del tracto reproductivo), condición corporal, estado sanitario y presencia de libido para luego ser trasladados a la estación experimental para su adecuada alimentación y monitoreo. Previamente las alpacas serán entrenadas para la colección de semen.

Condiciones ambientales

Huancayo presenta una temperatura entre 3-19 °C en promedio durante todo el año, variando entre 22° en los días más cálidos. Las precipitaciones anuales son moderadas (800 mm aproximadamente) e irregulares en forma de lluvia, nieve o granizo. (SENAMHI, 2020).

b. Materiales

- Fuente 18 V
- Termocupla K
- MAX6675
- ATMEGA328P
- Cristal Cuarzo 16MHz
- LM7805
- Condensador 100uF
- IRL540
- TM1637 Display
- Diodo
- Resistor 10k Ω
- Reset Switch
- Resistencias Térmicas
- Cable #12
- Termocontraíble
- Tubo Aluminio 2"
- Banda elástica
- Estaño
- Pasta o grasa para soldar

c. Instrumentos y equipos

- Lap Top core i3
- Multímetro
- Cautín
- Alicates
- Pinzas
- Succionador de soldadura (estaño)
- Protoboard (placa de pruebas)

- Jumper
- Lentes protectores
- Tijera

d. Técnicas de recolección de información

En la presente investigación se emplearán los siguientes técnicas e instrumentos:

Revisión documental: Se realizó una revisión bibliográfica extensa, en la que se utilizaron fichas bibliográficas, fichas resumen para sintetizar los textos y documentos; fichas textuales; y las fichas de campo en donde se recopiló la información obtenida de los resultados.

Registro de páginas electrónicas: se realizó investigación documental de bibliotecas electrónicas realizando un registro con la descripción detallada del contenido de la página y la dirección de acceso.

e. Tipo de investigación y método

Tipo de investigación: La presente investigación es de tipo tecnológica o práctica, ya que luego de analizar los antecedentes que se obtienen, se comprueban los hechos a través de una aplicación práctica como lo es el diseño e implementación de la vagina artificial para alpacas.

Método de investigación: Es de tipo analítico puesto que se pretende observar el fenómeno en estudio y comprender y realizar conclusiones acerca de sus ventajas y desventajas.

f. Diseño

Para el desarrollo del presente capítulo, es necesario establecer que el circuito tiene que alcanzar y mantener la temperatura interna de la vagina artificial, de 42°C, lo más rápido, estable y prolongado posible (ya que debe tener en cuenta el comportamiento copulatorio de larga duración de las alpacas). Si la temperatura esta por muy debajo del objetivo debe ascender de manera acelerada, hasta aproximarse al objetivo y al estar cerca, disminuir la intensidad y si superase esta temperatura dejar de suministrar calor.

El prototipo a diseñarse tendrá un sistema de control automático, mediante hardware y software, que permita controlar las variables físicas en la vagina artificial; requeridos para que la colección seminal sea optimizada y, con esto, mejorada.

La investigación del presente trabajo, comprende primero de la investigación de los fundamentos teóricos, los cuales servirán para clarificar el problema de investigación, sobre el cual se basará para generar un prototipo de VAT para la solución al problema.

Posteriormente se realizará la determinación de requerimientos, del sensor de temperatura, del microcontrolador, del monitor y de los actuadores.

Elementos de Sensor

Componente	Unidad	Cantidad	Precio unid (S/.)	Total (S/.)
Termocupla K	UN	1	S/4.00	S/4.00
MAX6675	UN	1	S/18.00	S/18.00
Subtotal				S/22.00

Elementos de Control

Componente	Unidad	Cantidad	Precio unid (S/.)	Total (S/.)
ATMEGA328P	UN	1	S/28.00	S/28.00
Cristal Cuarzo 16MHz	UN	1	S/1.00	S/1.00
LM7805	UN	1	S/1.00	S/1.00
Condensador 100uF	UN	1	S/0.10	S/0.10
IRL540	UN	1	S/3.00	S/3.00
Diodo	UN	1	S/0.10	S/0.10
Resistor 10k Ω	UN	2	S/0.10	S/0.20
Reset Switch	UN	1	S/0.50	S/0.50
Subtotal				S/33.90

Elementos de Actuador

Componente	Unidad	Cantidad	Precio unid (S/.)	Total (S/.)
Resistencias Térmicas	UN	3	S/20.00	S/60.00
Cable #12	m	1	S/2.00	S/2.00
Termocontraíble	m	1	S/2.00	S/2.00
Subtotal				S/64.00

Otros materiales

Componente	Unidad	Cantidad	Precio unid (S/.)	Total (S/.)
Tubo Aluminio 2"	m	0.25	S/40.00	S/10.00
Banda elástica	m	0.3	S/53.00	S/15.90
TM1637Display	UN	1	S/41.00	S/41.00
Subtotal				S/66.90
TOTAL				S/256.80

Fuente. Elaboración propia.

El costo total de desarrollar el proyecto es S/ 256.80 nuevos soles

11. Referencias bibliográficas

- (s.f.). (2019). Sistemas de Control Automático. Guía 8. Facultad de Ingeniería electrónica. Universidad Don Bosco. Recuperado de: http://www.udb.edu.sv/udb_files/recursos_guias/electronica-ingenieria/sistemas-de-control-automatico/2019/iii/guia-8.pdf
- (s. f.) (2011). Manual de prácticas de manejo de alpacas y llamas. Reproducción de la hembra: Generalidades. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/w3341s/w3341s01.pdf>
- Andina. (2018). Alpaca Fiesta 2018: estas son las razas del camélido peruano. Recuperado de: <https://andina.pe/agencia/noticia-alpaca-fiesta-2018-estas-son-las-razas-del-camelido-peruano-728933.aspx>
- Asdrúbal, B. y Antolínez, N. (2015). La Lógica Difusa como herramienta de evaluación en el sector universitario. Vol 10, N° 2, pp. 132-145. Recuperado de: <https://revistas.urp.edu.pe/index.php/Tradicion/article/download/1447/1343/>. Venezuela: Universidad Politécnica territorial “José Félix Rivas”
- Asociación Internacional de la Alpaca. (2019). La Alpaca. Animal Milenario y Ecoamigable. Recuperado de: <http://aia.org.pe/la-alpaca/>
- Bennett, S. (1993). Una historia de la ingeniería de control, 1930-1955. IET. ISBN 978-0-86341-299-8.
- Bouza, A. y Alimenti, O. (1997). Microcontroladores Estándar en el Desarrollo de Sistemas de Lógica Difusa. Instituto de Ingeniería y Ciencias en Computación Universidad Nacional del Sur.
- Bravo P.W. y Johnson LW. (1994). Reproductive physiology of the male camelid. Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice. Colorado State University, Colorado. Vol 10: 259–264.
- Bravo P.W., Flores D., Ordonez C. (1997a). Effect of repeated collection on semen characteristics of alpacas. Biol. Reprod., 57: 520–524
- Bravo P.W.; Skidmore J.A.; Zhao X.X. (2000). Reproductive aspects and storage of semen in camelidae. Animal reproduction science. 62: 173-193.
- Bravo P.W; Flores U; Garnica J; Ordonez C. (1997b). Collection of semen and artificial-insemination of alpacas. Theriogenology, 47: 619–626
- Bravo, W. (2002). The reproductive process of South American camelids. Printed by Seagull Printing, Salt Lake City. USA.
- Brown B.W., (2000). A review on reproduction in South American camelids. Animal Reproduction Science Vol. 58. pp 169-195.
- Copa, S., Gonzáles, V. y Maceda, E. (2003). Técnica de bulbourethrectomia en llamas machos. III Congreso mundial de camélidos. Potosí Bolivia.

- Correa, C.; Mejía, D. y Bolaños, R. (2007). Técnicas de control adaptativas aplicadas a sistemas multivariados. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701
- Diciembre, S. (2017). Sistemas de Control con Lógica Difusa: Métodos de Mamdani y de Takagi-Sugeno-Kang (TSK). Universidad Jaime I- España. Recuperado de: http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/173788/TFG_2017_DiciembreSanahuja_Samuel.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Dulhoste, J. (2016). Introducción al control de procesos para ingenieros. Escuela de Ingeniería Mecánica. Facultad de Ingeniería. Universidad de Los Andes. Mérida - Venezuela
- El-Hassanien, E. E. (2003). An Invention for Easy Semen Collection from Dromedary Camels, El-Hassanien Camel Dummy. International Veterinary Information Service, Ithaca, New York, USA. Recuperado de: www.ivis.org/advances/Camel_Skidmore/hassanein/chapter_frm.asp
- El-Sadek, K. (2005). Reproductive Studies on Desert Animals: Sexual Behaviour and Semen Characteristics and Freezability of Male Dromedary Camels. Thesis presented to the Degree of doctor of philosophy. Egypt: Alexandria University
- Evans G.y Maxwell,WMC.(1990). Inseminación artificial de ovejas y cabras. Ed. Acribia, Zaragoza-España: pp. 87-139
- Fernández, F. (2019). Relación entre los métodos de inferencia difusa y la programación lógica multiadjunta. Fac. De Ciencias. Universidad de Cádiz.
- Fernández-Baca S. 1993. Manipulation of reproductive functions in male and female New World camelids. Animal Reproduction Science. Santiago, Chile. Vol. 33, pp 307-323.
- Fernández-Baca S. y Calderón W. (1966). Métodos de colección de semen de la alpaca. Rev. Fac. Med. Vet. UNMSM. Vol. 18-20: 13-26
- Fernández-Baca S., Hansel W., Novoa C., (1970). Effect of different mating stimuli on induction of ovulation in the alpaca. Washington, D.C. Vol 22. pp 261-267.
- Fernández-Baca, S. (1994). Genetic erosion of camelidae. Animal genetic resources information. FAO Publ. Vol. 14, Santiago de Chile-Chile.
- Ferré, L.; A. Werkmeister. (1996). Desarrollo de una vagina artificial termoeléctrica para la colecta de semen. Rev. Agr. Prod. Anim. Universidad Nacional de Córdoba, Fac.Cs.Exactas, Físicas y Naturales. Córdoba, Argentina. 16: 363-365
- Fraser S.S. (1988). Biology of spermatogenesis and spermatozoa in mammals. Springer-Verlag. Berlín, Alemania. 430p.
- Gandhi, M. (2019). ¿Qué es un sistema de control? Recuperado de: <https://www.autycom.com/que-es-un-sistema-de-control/>
- Garnica J., Achata R., Bravo P.W. (1993). Physical and biochemical characteristics of alpaca semen. Animal Reproduction Science. Puno, Perú. Vol. 32. pp 85–90.
- Giraldo B., D., & Tabares G., I. (1997). TEORÍA DE CONTROL. Colombia.

- Giuliano S.; Director A.; Gambarotta M.; Trasorras V.; Miragaya M. (2008). Collection method, season and individual variation on seminal characteristics in the llama (Lama glama). *Animal reproduction science* 104: 359-369.
- Godínez, B.; Barrera, E.; Aguilar, J.; Panteul, H.; Noriega, J.; Ramirez, E.; Figueroa, D.; Samayoa, J. y Sifuentes, J. (2015). *Ingeniería de control*. Universidad de San Carlos. Fac. De Ing. Mecánica- Guatemala.
- Gómez, G. (s.f.). *Conjuntos y Sistemas Difusos (Lógica Difusa y Aplicaciones)*. E.T.S.I. Informática. Recuperado de: <http://www.lcc.uma.es/~ppgg/FSS/FSS8.pdf>
- Guzmán, D. (2006). *La Lógica Difusa en Ingeniería: Principios, aplicaciones y FUTURO*. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de: http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/173788/TFG_2017_DiciembreSanahuja_Samuel.pdf?sequence=1&isAllowed=y ISSN: 0378-0524
- Huanca, W. (2013). *Biotechnologías reproductivas en camélidos sudamericanos domésticos como alternativas para la mejora genética*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú
- Kilian, C. (2005). *Tecnología de control moderna*. Thompson Delmar Learning Ingeniería de control - https://es.qaz.wiki/wiki/Control_engineering ISBN 978-1-4018-5806-3.
- Kouro, S. y Musalem, R. (21 de junio de 2002). *Control Mediante Lógica Difusa. Técnicas Modernas en Automática*. Chile: Universidad Técnica Federico Santa María
- Kubiceck J., (1974). Samenentnahme beim Alpaca durch eine Harnrohrenfistel (Semen collection in alpaca with an urethral fistula). *Z. Tierz. Zuechtungsbiol.*, vol 90. pp 335–351.
- Lázaro, I. (2008). *Ingeniería de Sistemas de Control continuo*. (1ª ed.). México: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Lichtenwalner A.B., Woods G.L., Weber J.A. (1996). Ejaculatory pattern of llamas during copulation. *University of Idaho, Moscow*. Vol. 46. pp 285–291.
- Martín, J. (2017). *Teoría y ejercicios prácticos de Dinámica de Sistemas*. ISBN 9788460793045.
- Mazzone, V. (2002). *Controladores PID. Automatización y Control Industrial*. Universidad Nacional de Quilmes-Argentina.
- MINAGRI. (2017). Este 1 de agosto el Perú celebra el "día nacional de la alpaca" producto bandera del Perú. Recuperado de: <https://www.minagri.gob.pe/portal/especial-iv-cenagro/495-dn-alpaca/11180-p-alpaca>
- Miragaya, M, M. Chávez, A. Agüero. (2006). Reproductive biotechnology in South American Camelids. *Small Ruminant Research* 61: 299-310.

- Mogrovejo D. (1952). Estudios de semen de la alpaca. Tesis de Bachiller. Lima: Facultad de Medicina Veterinaria, UNMSM. 21 p.
- Neely, D y bravo, W. (1995). Reproductive evaluation and infertility in the male llama and alpaca. In: Llama Theriogenology – Youngquist. Academy Press.
- Ogata, K. (2003). Ingeniería de Control Moderna (4º ed.). Madrid: Pearson Educación, S.A.
- Ortega, M. (29 de Junio de 2015). Junta de Andalucía. Obtenido de http://www.juntadeandalucia.es/averroes/~23005153/d_tecnologia/bajables/2%20bachillerato/SISTEMAS%20AUTOMATICOS%20DE%20CONTROL.pdf
- Pacheco, J. (2008). Métodos de colección de semen en camélidos sudamericanos. vol. IX, núm. 4, abril, 2008, Revista Electrónica de Veterinaria – REDVET. Málaga, España. pp. 1-17.
- Paricahua, E. (2001). Evaluación del eyaculado sin la secreción de las glándulas anexas en alpaca. Tesis FMVZ-UNA-Puno. Perú.
- Perez, M.; Perez, A. y Perez, E. (2007). Introducción a los Sistemas de Control y Modelo Matemático para sistemas lineales invariantes en el tiempo. Argentina: Universidad Nacional de San Juan.
- Perez, M.; Perez, A. y Perez, E. (2007). Introducción a los sistemas de control y modelo matemático para sistemas lineales invariantes en el tiempo. Fac. de Ingeniería. Universidad Nacional de San Juan
- Pérez, U., Quispe, Y., Alencastre, R. y Pérez, M. (2018). Caracterización de experiencias sobre inseminación artificial en ovinos en la sierra peruana. pp. 98. APPA, Lima – Perú.
- Quintano, J. (2002). Determinación de la sobrevivencia de los espermatozoides de alpaca (lama pacos) colectados del conducto deferente con el uso de tres dilutores. Tesis FMVZ-UNA-Puno. Perú.
- Quispe, F., (1987). Evaluación de las características físicas del semen de la alpaca durante la época de empadre. MVZ Thesis, Fac. Med. Vet. Zotec., Univ. Nac. Altiplano, Puno, Peru, 75 pp.
- RAE (ed). 2014. Diccionario de la Lengua Española. (23º ed. Recuperado de: <https://www.rae.es/diccionario-de-la-lengua-espanola/la-23a-edicion-2014>
- Raymundo, F.; Huanca, W.; Huanca, T.; Huerta, S.; Cordero, A. (2006). Efecto de tres dilutores en la conservación de semen de alpaca. Rev. Inv. Vet. Peru. 17(2): 125-130.
- Samad, T. y Annaswamy, A. (2011). The Impact of Control Technology: Overview, Success Stories, and Research Challenges. IEEE Control Systems Society.
- San Martín, F. (1961). Fisiología de la reproducción de la alpaca. An. Symp. Sobre problemas ganaderos. Lima, Perú.

- Santiani, A.; Huanca, W.; Sapaná, R.; Huanca, T.; Nestor, S.; R. Sánchez. (2005). Effect on the quality of frozen- thawed alpaca (Lama pacos) semen using two different cryoprotectants and extenders. *Asian j Androl.* 7(3): 303- 309
- SENAMHI. (2020) Información del tiempo y clima. Recuperado de: <https://web2.senamhi.gob.pe/?p=pronostico-detalle-turistico&localidad=0028>
- Smith C.L., Peter A.T., Pugh D.G., (1994). Reproduction in llamas and alpacas: a review. *Theriogenology*, vol 41, pp. 573–592
- Sumar J. (1985). Reproductive physiology in South American camelids, In: *Genetics of Reproduction in Sheep*. Ed R.B. Land and D.W. Robinson. Butterworths, London. pp 81–95.
- Sumar, J., Leyva V. (1981). Colección de semen mediante vagina artificial en la alpaca (Lama pacos). En: *Memorias. IV Convención Intern. sobre Camélidos Sudamericanos*. Corp. Nac. Forestal e Inst. de la Patagonia. Punta Arenas, Chile.
- Tibary A., Anouassi A., Khatir H., (2005). Update on reproductive biotechnologies in small ruminants and camelids. Washington State University, Pullman. Vol 64. pp 618-638.
- Universidad de Piura. (2014). Lógica difusa y sistemas de control. Recuperado de http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_185_184_133_1746.pdf.
- Vaughan, J.L., Galloway, D., Hopkins, D. (2003). Artificial insemination in Alpacas (Lama pacos). A report of the Rural Industries Research and Development Corporation, RIRDC Publication No. 03/104.
- Zambrano, K. (2020). Sistema de control y monitorización de la temperatura mediante el uso de tarjetas embebidas de bajo costo para el sector industrial de un proceso de pasteurización de la miel. Tesis para la obtención del título de Ingeniero Electrónico en Control y Automatismo. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador



Firmado digitalmente por UTRILLA
SALAZAR Darío FAU 20148092282
soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 10.07.2022 18:43:27 -05:00

Doctor Darío Utrilla Salazar

Asesor

Bachiller Enrique Osorio Orellana

Tesista

Código: 06190186