

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA EN EL
PROCESO DE SECADO DE ARROZ, APLICANDO LÓGICA DIFUSA,
PARA DISMINUIR EL PORCENTAJE DE QUEBRADO DE ARROZ,
DEL MOLINO SUDAMERICA DE LAMBAYEQUE**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

AUTOR

EDGAR JOSEPH IDROGO BACA

ASESOR

ING. ALEXANDER QUEREVALÚ MORANTE

Chiclayo, 2019

DEDICATORIA

A Dios.

Por haberme permitido llegar hasta este punto, brindándome la salud y las fuerzas necesarias para alcanzar cada uno de mis objetivos, además de bendecirme con su infinita bondad, misericordia y amor. Gracias Dios.

A mis Padres.

A mi madre Elsa, por haberme apoyado en cada momento, por sus palabras de aliento que me brindaba, a lo largo de mi carrera, aconsejándome siempre, e inculcándome sus valores; los que me permitieron ser una persona de bien, pero más que nada, por todo su amor que me brindó. A mi Padre Edgar, por haberme motivado y apoyado y por enseñarme mucho a través de sus consejos, que de una y otra forma me permitieron alcanzar mis objetivos, por enseñarme que con perseverancia y constancia, todo se puede; pero más que nada, por su Amor.

A mis hermanas.

A Sheyla, porque me enseñó que uno nunca escoge ser el hermano mayor, pero a pesar de la tarea dura que le tocó, me enseñó a nunca rendirme frente a las adversidades. A Linda, porque a pesar de ser mi hermana menor, me enseñó que pase lo que pase, siempre es posible estar feliz. Gracias por todo su cariño y amor que me brindaron Hermanas.

A mis Familiares.

A mi abuela Clorinda, por siempre darme ánimos en todo momento, para terminar mi carrera. A mi tío Marco, que me enseñó que no existe ningún impedimento, para lograr tus objetivos, todo depende de uno mismo. A mis primas Maritha y Marcia por todo su apoyo brindado.

A mis Amigos.

Que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional y que hasta ahora seguimos siendo amigos: Ediee, Carlos G., Carlos S., Gabriel, Santiago A., Santiago N., Jossimar, Joel, Héctor, Jhesmar, Ricardo, Ernesto y Giordano; gracias por ayudarme directa o indirectamente a culminar este trabajo.

AGRADECIMIENTO

Este trabajo implicó la inversión de casi todo mi tiempo libre, e incluso muchas horas de mi tiempo de descanso habitual, además del sacrificio de algunas de mis horas de mi apasionada práctica de Tae Kwon Do; pero, nada de esto hubiera sido posible sin el tiempo y la ayuda del Ing. Alexander Querevalú Morante, y del Ing. Jorge Alberto Villanueva Zapata, quienes me brindaron horas de su tiempo, al asesorarme y guiarme a lo largo de la construcción de este trabajo, gracias por todo su apoyo brindado y por su paciencia.

RESUMEN

En la actualidad, los procesos de secado de granos de arroz; realizados en los molinos del departamento de Lambayeque, son muy deficientes, debido al deficiente control existente en dichos procesos.

Tal es el caso del molino SUDAMERICA, en el cual se determinaron, que, las pérdidas generadas, eran debido al descontrolado calor que ingresaba durante el proceso de secado de arroz, y al deficiente monitoreo que existe dentro del molino, pues no cuentan con ningún tipo de recopilación de datos para conocer, cómo se distribuye el calor a través de toda la máquina secadora.

Para disminuir las pérdidas que se generan, se diseñó un sistema de control que utiliza la lógica difusa, como algoritmo de control, pues se demostró que dicho algoritmo permite realizar un control preciso y detallado, ayudándonos con la disminución del porcentaje de quebrado de arroz, presente en el molino.

En este trabajo se describió paso a paso, como es el proceso de secado de arroz, dentro del molino SUDAMERICA; luego se realizó el estudio respectivo mediante la observación directa y el análisis requerido, con la ayuda del operador presente en el molino, con el análisis, se determinó cuáles son las principales causas del quebrado de arroz durante el proceso de secado. Conociendo cuales son las causas que ocasionan el quebrado de arroz, se establecieron los parámetros de diseño, los cuales nos ayudaron a escoger los actuadores del controlador, mismos que permitirán controlar a precisión, la inclinación de una escotilla que posee la máquina secadora, y así controlar la temperatura dentro de la misma. Luego de conocer todos los parámetros del sistema, se diseñó y simuló, el sistema de control, utilizando lógica difusa en el proceso de discretización e inferencia; dicho proceso de simulación se realizó a través del programa de Matlab.

Por último, continuando con el trabajo respectivo, se realizó un análisis costo beneficio, de la implementación del sistema de control, mencionado anteriormente.

PALABRAS CLAVE: Lógica difusa, sistema de control avanzado, control de máquinas secadoras.

ABSTRACT

At present, the drying processes of rice grains; made in the mills of the department of Lambayeque, are very deficient, due to the deficient control in these processes.

This is the case of the SUDAMERICA mill, in which it was determined that the losses generated were due to the uncontrolled heat that entered during the rice drying process and the poor monitoring that exists inside the mill, since they do not have any type of data collection to know, how the heat is distributed throughout the dryer machine.

To reduce the losses that are generated, a control system that uses fuzzy logic was designed as a control algorithm, since it was demonstrated that this algorithm allows a precise and detailed control, helping us to reduce the percentage of broken rice, present in the mill.

This work described step by step, as is the drying process of rice, inside the mill SUDAMERICA; then the respective study was carried out by means of the direct observation and the required analysis, with the help of the operator present in the mill, with the analysis, it was determined which are the main causes of the rice break during the drying process. Knowing which are the causes that cause the rice break, the design parameters were established, which helped us to choose the actuators of the controller, which will allow us to control the precision, the inclination of a hatch that owns the dryer machine, and thus control the temperature inside it. After knowing all the parameters of the system, the control system was designed and simulated, using diffuse logic in the process of derating and inference; this simulation process was performed through the Matlab program.

Finally, continuing with the respective work, a cost benefit analysis of the implementation of the control system, previously mentioned, was carried out.

KEYWORDS: Fuzzy logic, advanced control system, control of drying machines.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	10
II. JUSTIFICACIÓN	12
III. HIPÓTESIS	13
IV. OBJETIVOS	14
4.1 OBJETIVO GENERAL.....	14
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
V. MARCO TEÓRICO	15
5.1 Estado del arte.....	15
5.1.1 Productos similares existentes.....	15
5.1.2 Problemática Actual de los productos similares existentes	17
5.2 Bases Teórico Científicas	18
5.2.1 Sistemas de control	18
5.2.2 Lógica clásica.....	19
5.2.3 Lógica difusa.....	19
VI. DISEÑO.....	23
6.1 METODOLOGÍA	23
6.1.1 Tipo y nivel de la investigación	23
6.2.1. Selección conceptual de equipos o partes	24
VII. RESULTADOS.....	42
7.1 Definición de características.....	42
7.1.1. Esquema del sistema de control	43
7.1.2. Requerimientos del sistema del secado de arroz	45
7.2 Cálculos justificativos.....	52
VIII. SIMULACIÓN Y RESULTADOS EXPERIMENTALES	58
8.1 Verificación del cumplimiento de los parámetros de diseño	58
8.2 Evaluación Económica	64
8.3 Trabajo futuro o aplicaciones.....	74
IX. CONCLUSIONES	75
X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76
XI. ANEXOS	79

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1: Modelo de diseño propuesto por Samir Kouro.	23
Ilustración 2: Flujograma del molino SUDAMERICA.	25
Ilustración 3: Tolvas de recepción del grano de arroz (vista frontal).	26
Ilustración 4: Tolva de recepción del grano de arroz (vista superior.	26
Ilustración 5: Elevador de cangilones, de la las tolvas a la máquina pre-limpiadora.	27
Ilustración 6: Tubo de transporte del elevador de cangilones hacia la máquina pre-limpiadora.	27
Ilustración 7: Tubo de transporte del elevador de cangilones hacia la máquina pre-limpiadora.	28
Ilustración 8: Máquina pre-limpiadora de granos.	29
Ilustración 9: Máquina pre-limpiadora de granos.	29
Ilustración 10: Zaranda Limpiadora de granos de arroz.	30
Ilustración 11: Elevador de cangilones, de la zaranda hacia los silos de la secadora.	30
Ilustración 12: Tubos de transporte de grano de arroz, del elevador de cangilones, hacia los silos de la secadora.	31
Ilustración 13: Máquina secadora de granos de arroz.	32
Ilustración 14: Ventilación de la máquina secadora.	33
Ilustración 15: Elevador de cangilones de la secadora y de los silos de almacenamiento.	33
Ilustración 16: Horno de la máquina secadora. Vista Frontal.	34
Ilustración 17: Interior del horno de la máquina secadora.	34
Ilustración 18: Silo de almacenamiento del grano de arroz.	35
Ilustración 19: PLC CompactLogix 5370 L2 con lógica difusa.	36
Ilustración 20: Servo-motor modelo MPL-A4530K para la apertura gradual de la escotilla de la máquina secadora, aproximadamente 2 kilo-Watts de Potencia.	37
Ilustración 21: Driver KINETIX 6000 compatible con el servomotor MPL-A4530K.	38
Ilustración 22: Encoder del servo-motor MPL-A4530K.	38
Ilustración 23: Sensor de temperatura (PT-100).	39
Ilustración 24: Adaptador para PLC S7-312.	39
Ilustración 25: Cable eléctrico calibre 8 AWG.	40
Ilustración 26: Sensor de humedad TRIME standard GR-sonde.	41
Ilustración 27: Esquema del sistema de control.	44
Ilustración 28: Estructura de un controlador difuso.	44
Ilustración 29: Funciones de pertenencia (variables lingüísticas de humedad).	46
Ilustración 30: Funciones de pertenencia (variables lingüísticas de temperatura).	47
Ilustración 31: Funciones de pertenencia (salida variables lingüísticas del servomotor).	47
Ilustración 32: Diagrama del controlador con lógica difusa (Matlab).	48
Ilustración 33: Programación del controlador difuso.	50
Ilustración 34: Esquema de las reglas de control.	50
Ilustración 35: Diagrama de la superficie del programa de control.	51
Ilustración 36: Código de programación en el editor de Matlab.	52
Ilustración 37: Función de transferencia del servo-motor.	57
Ilustración 38: Código del programa de control, con 55 °C de temperatura.	58
Ilustración 39: Reglas de inferencia y control del código de programación (55 °C).	59

Ilustración 40: Inclinación del servomotor, para la escotilla de la máquina secadora, con -5 grados de error en la temperatura.	59
Ilustración 41: Código del programa de control, con 60 °C de temperatura.	60
Ilustración 42: Reglas de inferencia y control del código de programación, (60 °C).....	60
Ilustración 43: Inclinación del servomotor, para la escotilla de la máquina secadora, con -5 grados de error en la temperatura.	61
Ilustración 44: Código del programa de control, con 65 °C de temperatura	61
Ilustración 45: Reglas de inferencia y control del código de programación, (65 °C).....	62
Ilustración 46: Inclinación del servomotor, para la escotilla de la máquina secadora.....	62
Ilustración 47: Diagrama de bloques del sistema de control	63
Ilustración 48: Curva de control del sistema	63
Ilustración 49: Diagrama de flujo sobre la toma de muestras durante el proceso de secado de arroz (sistema de control actual del molino SUDAMERICA).	66

Lista de Tablas

Tabla 1: Valores óptimos para la reducción del quebrado de arroz en el proceso de secado.	45
Tabla 2: Tabla de reglas correspondientes para el controlador difuso.....	49
Tabla 3: Análisis del costo de la implementación del sistema de control.....	65
Tabla 4: Sacos de arroz obtenidos de un lote de 30 toneladas, luego del proceso de secado.	67
Tabla 5: Análisis del estado actual del molino SUDAMERICA.	68
Tabla 6: Tabla de pérdidas del estado actual del molino SUDAMERICA.....	68
Tabla 7: Análisis de las pérdidas, luego de utilizar Lógica difusa en el sistema de control del proceso secado de arroz.....	70
Tabla 8: Periodo de recuperación de la inversión total realizada, para el nuevo sistema de control.....	72
Tabla 9: VAN y TIR del proyecto.....	73

I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como objetivo diseñar un sistema de control de temperatura, impulsado por lógica difusa, para disminuir el porcentaje de quebrado de arroz del molino SUDAMERICA.

Para lograr diseñar el sistema de control de temperatura, primero analizaremos el estado situacional de la empresa con respecto a las pérdidas actuales que la empresa tiene debido al mal control aplicado en el proceso de secado de arroz, y por ende un sobrecalentamiento generado durante dicho proceso

Actualmente los molinos utilizan el proceso de secado artificial en los granos de arroz, pues les da mayores posibilidades de exportar, ya que si el grano posee una menor cantidad de humedad puede conservarse más, durante largos viajes. Sin embargo, debido al bajo nivel de control existente en dichas máquinas secadoras, casi el 6% de la cantidad de grano ingresado para el proceso de secado, se pierde debido al quebrado de arroz.

Una vez definida la situación actual de la empresa, frente a las pérdidas generadas debido al deficiente control existente en las máquinas secadoras, procederemos a establecer los parámetros de diseño, los cuales nos permitirán conocer, cómo funcionará nuestro sistema de control, que utiliza lógica difusa.

El concepto de lógica difusa es muy común, está asociado con la manera en que las personas perciben el medio, por ejemplo, ideas relacionadas con la altura de una persona, velocidad con la que se mueve un objeto, la temperatura dominante en una habitación, cotidianamente se formulan de manera ambigua y depende de quién percibe el efecto físico o químico, será su enunciado acerca de tal fenómeno.

Los conjuntos difusos definen justamente estas ambigüedades, y son una extensión de la teoría clásica de conjuntos, donde un elemento pertenece o no a un conjunto, tal elemento tiene solo 2 posibilidades, pertenecer o no, un elemento es bi-evaluado y no se definen ambigüedades.

Con conjuntos difusos se intenta modelar la ambigüedad con la que se percibe una variable. Dichos conjuntos difusos, son la base para la lógica difusa, del mismo

modo que la teoría clásica de conjuntos es la base para la lógica Booleana. Con los conjuntos difusos se realizan afirmaciones lógicas del tipo si-entonces, definiéndose estas con lógica difusa.

Este tema es propio de la inteligencia artificial, donde se intenta emular en pensamiento humano. Nuestro campo de estudio es el control industrial, debemos tener en cuenta la experiencia o base de conocimiento del operario, esto será útil para emular el comportamiento humano con una máquina, a pesar de ser esta muy limitada.

Por ende dichas ambigüedades presentes en la lógica difusa, nos permitirán establecer los diferentes parámetros que la máquina secadora necesita para realizar su proceso; y así, según la experiencia del operario, junto a la teoría sobre el secado de arroz, podremos disminuir las pérdidas generadas durante el proceso de secado de arroz, debido a la falta de control existente en la empresa SUDAMERICA

Utilizando esta lógica difusa, lograremos realizar un programa que se adecue a las necesidades de nuestro sistema de control de temperatura, a través del programa de MATLAB realizaremos dicha programación y simulación, con el comando que el programa nos facilita llamado, fuzzy logic.

Aplicando lógica difusa en el sistema de control de las máquinas secadoras del tipo vertical, se pretende reducir el 5% u 8% de las pérdidas, que actualmente se producen por el exceso calor aplicado en el proceso de secado.

Una vez simulado el programa de lógica difusa, procederemos a seleccionar los componentes que nos permitirán implementar este sistema de control que utiliza la lógica difusa; para luego realizar su respectiva evaluación económica del nuevo sistema de control.

II. JUSTIFICACIÓN

Con el desarrollo de la inteligencia artificial, la lógica difusa se está implementando en muchos sistemas de control, pues debido a las facilidades que provee dicha lógica, reduce considerablemente las pérdidas en los procesos, volviéndose así una de los métodos más utilizados en estos días.

Además, con la reducción de pérdidas en el molino, se reduce la cantidad de arroz quebrado, disminuyendo así la cantidad de polvillo generado; favoreciendo así al medio ambiente, pues la cantidad de polvillo que escapa al exterior también disminuirá. De la misma manera, se reducirán las acumulaciones de polvillo, que, aunque por esa zona solo hay industrias, también llegan a afectar a comunidades cercanas, debido a las fuertes corrientes de viento presentes en el departamento de Lambayeque.

Implementar el pensamiento artificial al momento de controlar el proceso de secado de arroz del molino SUDAMERICA, brindará no solo precisión en el control, si no que dará paso, a una implementación que en estos días, tecnológicamente hablando, es muy eficiente; pues la implementación de la inteligencia artificial en el control de procesos, no requiere de modelamientos matemáticos de los procesos a controlar, mismos que, son complejos de plasmar en una ecuación.

III. HIPÓTESIS

Debido al casi total descuido de la empresa en el control del proceso de secado de arroz, las pérdidas generadas por el exceso de calor aplicado en dicho proceso, generan grietas en los granos de arroz, convirtiéndose así, dicho arroz quebrado, en una gran pérdida, con respecto al lote inicial.

La inteligencia artificial, está ingresando a campos de acción nunca antes imaginados, pues su versatilidad, y la manera de adaptarse a las necesidades del operador, permiten que se le pueda acoplar a casi, cualquier tipo de sistema de control; pues el método de inferencia que realiza la lógica difusa, se asemeja al pensamiento humano, el cual se guía de características, las cuales son imprescindibles al momento de controlar la calidad del grano de arroz

Por ello, al aplicar la lógica difusa, como lenguaje de discretización e inferencia para el control de temperatura, del proceso de secado de arroz, lograremos disminuir los porcentajes de entre 5 y 6 % de pérdidas que actualmente el proceso de secado de arroz, del molino SUDAMERICA, posee.

Se propone disminuir al menos 3 puntos, el porcentaje de pérdidas que actualmente el molino posee; es decir, al utilizar el sistema de control de temperatura, utilizando lógica difusa, el nuevo porcentaje de pérdidas, por arroz quebrado, sería de entre el 2 y 3 %, reduciendo considerablemente las pérdidas.

IV. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

- Diseñar un sistema de control de temperatura, utilizando lógica difusa, para disminuir el porcentaje de quebrado de arroz en el proceso de secado, del molino SUDAMERICA.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el proceso de secado de arroz del molino Sudamérica, y diagnosticar el porcentaje de granos que se quiebran a través de dicho proceso.
- Establecer los parámetros de diseño del sistema de control de temperatura basado en la lógica difusa.
- Realizar la programación en lógica difusa y simular el sistema de control temperatura.
- Seleccionar los componentes del sistema de control de temperatura.
- Realizar la evaluación económica del sistema de control de temperatura.

V. MARCO TEÓRICO

5.1 Estado del arte

5.1.1 Productos similares existentes

[1] En la investigación “Diseño del sistema de control de temperatura de un invernadero”, el autor empieza describiendo como es el proceso de cultivo en los invernaderos, los principales problemas que surgen durante el proceso, la diversidad de materiales utilizados en la estructura de los invernaderos y las diferentes estructuras existentes para los invernaderos. Luego analiza los sistemas de control existentes para los invernaderos, y sus desventajas, con respecto al proceso de cultivo; seleccionando al final el tipo de control más adecuado para un óptimo monitoreo de la temperatura de los invernaderos. Una vez que diseñó el sistema de control de temperatura de un invernadero, determinó que el proceso de cultivo es más eficiente y genera menos pérdidas.

[2] El libro “Inteligencia artificial con aplicaciones a la ingeniería”, presenta la teoría y la aplicación de la lógica difusa en los sistemas de control. Nos muestra las similitudes existentes entre la lógica Booleana, y la lógica difusa, las limitaciones de la lógica Booleana, y en las cuales entra la lógica difusa, ayuda a simplificar diseños complejos de modelar matemáticamente. Y para culminar la, el autor nos presenta una variedad de ejemplos de algoritmos de control, con el principio de lógica difusa.

[3] El documento “Metodología de Diseño, Estructura, Controladores Adaptivos (Ajustes) y Ejemplos”, que es la 8va parte del documento “Conjuntos y Sistemas Difusos”; comienza explicando sobre las aplicaciones que tiene, y los alcances de la lógica difusa. Luego explica y describe los pasos que se deben seguir para el diseño de un sistema que utiliza Lógica difusa; concluyendo el documento, mostrando algunos ejemplos, de los ya mencionados pasos.

[4] En el documento “Diseño simplificado de controladores fuzzy MIMO con estructuras SISO”, el autor comienza mostrando la similitud entre los controladores MIMO y SISO, desde el punto de vista de la dinámica del sistema a controlar, esto lo hace a través de la teoría básica de control, tanto para

controladores MIMO, como para controladores SISO. Luego de definir y describir cada estructura de control, nos muestra las formas de diseñar un controlador MIMO, utilizando estructuras SISO como base.

[5] El libro “Sistemas de Control Moderno”, nos brinda la información, con respecto a las pautas necesarias, al momento de diseñar un sistema de control de temperatura; las cuales se suirieron y adecuaron al requerimiento de nuestro diseño.

[6] El artículo “Control Mediante Lógica Difusa” nos presenta una introducción a la teoría y aplicación de lógica difusa en sistemas de control. El artículo comienza mostrandonos breves definiciones referidas a la lógica difusa, presentandonos como es que esta trabaja, y puede aplciarse en los sistemas de control; luego nos presenta un control del movimiento de un hleicóptero prototipo real.

[7] El artículo “SISTEMAS DE LOGICA DIFUSA”, nos presenta las diferentes formas de variables lingüísticas existentes para la programación en lógica difusa, además nos muestra como esta lógica es más beneficiosa, con respecto a la lógica clásica; luego el autor nos explica, como es que esta lógica trabaja en términos matemáticos, y así entender las diferentes reglas de control, existentes para dicha lógica.

[8] El artículo “LA LOGICA DIFUSA EN INGENIERÍA, PRINCIPIOS, APLICACIONES Y FUTURO”, nos muestra un ejemplo claro sobre los diferentes tipos existentes, a la hora de utilizar lógica difusa; luego corrobora dicha investigación a través de un ejemplo de un invernadero, mostrando así que las diferencias entre el metodo de Mamdani y el TSK.

[9] El documento “DISEÑO DE SISTEMA AUTOMATICO DE CONTROL Y MONITORES DE TEMPERATURA EN EL PROCESO DE SECADO DE ARROZ”, nos muestra los diferentes tipos de control aplicables, para el control y monitoreo, en el secado de arroz, a traves de la lógica clasica; dando a conocer las limitaciones que esta lógica tiene.

[10] El libro “CONTROL AUTOMATICO DE PROCESOS, TEORÍA Y PRÁCTICA”, nos muestra todos los conocimientos básicos del mundo de del control de procesos, explicando los diversos tipos de control existentes, junto a sus ventajas y desventajas.; tambien nos explica como es que un control de procesos, esta relacionado con las matemáticas. Por otro lado, el libro nos muestra los pasos a seguir, asi como los datos necesarios, para el diseño de un sistema de control.

[11] El artículo “Modelamiento, calibración y control difuso para el proceso de secado de arveja usando lecho fluidizado”, demuestra como, a traves del modelamiento de un proceso, y aplicar logica difusa en su control, se logra disminuir las pérdidas en el secado de la arveja; el autor de este artículo, realiza el modelamiento del sistema para luego realizar la simulación del proceso, en Matlab, a traves del comando “fuzzy logic commander”.

5.1.2 Problemática Actual de los productos similares existentes

Muchos de los controladores actuales, ya sean de temperatura, humedad, movimiento, inclinación, y muchos otros; poseen un control basados en la lógica clásica, la cual limita mucho su aplicación al momento de ingresar “input”, pues como la lógica booleana, o clásica, solo recibe datos de verdad o falsedad, características que limitan mucho el control, en un proceso, cuyas variaciones son casi constantes; y es así como, a pesar de tener un control en su proceso, siguen teniendo pérdidas significativas.

5.1.3 Planteamiento del problema

Como será el diseño de un sistema de control de temperatura en el proceso de secado de arroz, utilizando lógica difusa, para disminuir el quebrado de arroz del molino SUDAMERIA de Lambayeque.

5.1.4 Requerimiento del Diseño

En el presente documento se presentarán los requerimientos cualitativos, por el cual, debido a la necesidad de la empresa, el sistema de control de temperatura debe cumplir con las características adecuadas.

- El objetivo del sistema de control de temperatura es disminuir la cantidad de granos quebrados por el excesivo calor que recibe durante el proceso de secado.
- El sistema de control deberá reducir hasta un 1%, con respecto al porcentaje de granos que se quiebran luego de pasar por el proceso de secado, teniendo en cuenta que actualmente la empresa pierde el 6% de granos de arroz promedio, a través del proceso de secado.

5.2 Bases Teórico Científicas

5.2.1 Sistemas de control

Utilizar la palabra control es muy común en estos días, pues la interacción entre el hombre y lo que lo rodea (hombre- máquina, por ejemplo), se está volviendo cada vez más común de observar en las empresas; y para ello utilizamos el término control. Esta palabra la usamos desde algo tan sencillo como el control del timón de un automóvil, hasta la complejidad del control en el mundo de la robótica, y así pues hablar de sistemas de control, es hablar de los diferentes componentes, artefactos y dispositivos, presentes al momento de controlar, ya sea un proceso, o un mecanismo. [10] [5]

Según la complejidad de los sistemas de control tenemos los llamados SISO por sus siglas en inglés (Single Input, Single Output), los cuales solo poseen una variable como entrada y a la vez, una variable de salida; por otro lado tenemos, los sistemas de control MIMO, debido a sus siglas en inglés(Multiple Input, Multiple Output), estos sistemas son mucho más complejos, pues controlar más de una variable de entrada, y a la vez, enviar una respuesta a un actuador de las mismas, no es nada sencillo. También hay combinaciones que se pueden realizar entre estos tipos de

sistemas de control, como por ejemplo los sistemas SIMO por sus siglas en inglés (Single input, Multiple Output) [5] [4]

En sistemas del tipo MIMO, la interacción entre múltiples variables complica la estimación del efecto que cada variable de entrada tiene sobre cada variable de salida; por ende, tales sistemas generan modelos complejos que muchas veces deben ser linealizados o aproximados para el diseño de los sistemas de control, que también serán complejos. Pues así este último tipo de control es el que más se acomoda a la lógica difusa, pues debido a la diversidad en la cantidad de variables presentes a la hora de utilizar lógica difusa, este tipo de control nos facilitará el manejo de los parámetros del proceso. [5]

5.2.2 Lógica clásica

La lógica clásica es aquella lógica cuyo principio de inferencia es, a través de un código binario, es decir código de ceros y unos, los cuales representan si alguna proposición es falsa o verdadera, respectivamente; limitando así, el sistema, a tener solo 2 posibilidades a la hora de definir una variable. Dentro de la lógica clásica existen opciones a la hora de hablar de una operación entre las variables, las cuales son OR, esta operación suma los conjuntos definidos por dos palabras; AND, operación que realiza la intersección de conjuntos definidos por dos palabras; NOT, esta operación valida aquellos conjuntos, o referencias que tengan la primera palabra, y no la segunda; y NEAR, operación similar al “AND”, pero con la exigencia de una cercanía entre las palabras. [2] [12]

5.2.3 Lógica difusa

Actualmente el término lógica difusa se ha hecho bastante común de escuchar, a diferencia de los últimos años del siglo XX, en los cuales hablar de lógica difusa, era de un tema prácticamente nuevo; esta lógica se asocia a la forma con la que las personas percibimos el medio, como por ejemplo alturas, velocidades, temperatura, las cuales se formulan de manera ambigua, y dependen de quién percibe el efecto físico o químico. [12] [1]

Los conjuntos difusos, definen justamente estas ambigüedades, y no son más que una extensión de la teoría clásica de conjuntos. Dichos conjuntos difusos intentan modelar la ambigüedad con la que se percibe una variable. [8]

Los conjuntos difusos forman la base de la lógica difusa, al igual que la teoría clásica de conjuntos forman la base para la lógica Booleana. Debido a que este tema es propio de la inteligencia artificial, en el campo del control industrial se debe tener en cuenta la experiencia o base de conocimiento del operario, que nos ayudará a emular el comportamiento humano con una máquina. [8] [1]

5.2.4 Controlador, Controlador Difuso

Un controlador, es un dispositivo que realiza el proceso de inferencia, discretización, evaluación, y análisis, de los valores ingresados como punto de arranque, o también llamados “set point”; en pocas palabras es el cerebro encargado de discernir, a través de las reglas de control que previamente se le han ingresado. Existen diferentes tipos de controladores, entre ellos están los controladores PID, cuyo proceso de control puede ser, proporcional, integral o derivativo [1]. Conforme iba creciendo la inteligencia artificial, se vio la necesidad de tener un dispositivo que pueda leer aquellas nuevas reglas, que eran totalmente diferentes a las de la lógica booleana o clásica, por ello surgieron los controladores difusos, los cuales, eran capaces de aceptar y procesar más de una posible respuesta frente a una referencia ingresada [12] [8].

5.2.5 Fuzzificación (Codificación)

En la etapa de fuzzificación, o codificación de datos, se otorga a los datos de entrada un grado de membresía, dentro de las distintas expresiones posibles, para ello busca la correspondencia entre el estado de las variables, y las funciones de pertenencia definidas para dicho propósito; por ende, para un determinado valor de una variable, su grado de pertenencia será mayor en una expresión que en las otras. En pocas palabras, en esta etapa del controlador, se obtienen los valores de las variables de

entrada al controlador, para luego, convertir dichos datos reales, en conjuntos difusos, para poder ser taratdos como tal, según las reglas de inferencia. [2] [3] [13]

5.2.6 Reglas y/o métodos de inferencia

Luego de ser expresados, los estados de las variables, en su forma lingüística, se establecen las relaciones lógicas entre ellas, las cuales comúnmente son IF-THEN, que significan reglas de condicionamiento, no es raro encontrar combinaciones con AND, o también, OR; pero todo depende de las definiciones o relaciones que interpretan el sentido común, en el cual se basan la lógica difusa, para así adaptar dichas reglas y generar la actuación deseada. Estas reglas de inferencia, son el núcleo del controlador difuso, pues infiere las acciones del controlador, pero simulando el proceso de decisión humano, a través de la implicación difusa y, de la mano de las reglas de inferencia. [3] [4]

Una vez que el sistema recibe un error registrado con respecto al set point ingresado, el controlador difuso realiza una serie de cálculos, que son llamados métodos de inferencia. Para las reglas de inferencia del tipo SI-ENTONCES, en el cual se tiene un conjunto “A”, que son las entradas, y un conjunto “B”, que son las salidas; y entre ellas una serie de reglas difusas designadas; la computadora realizará como cálculo la función de extraer el máximo valor de todos los mínimos valores, de las reglas de membresía que tenemos en el controlador. [4]

5.2.7 Defuzzificación

Luego de la recopilación de datos que ingresaron al controlador, se transformaron en datos manipulables en términos de la lógica difusa, añadiéndole un grado de membresía, los cuales a travesaron las reglas de inferencia, y generaron una respuesta a estas; una vez generada las respuestas, la defuzzificación vuelve a regresar los datos, generados en forma de respuestas, al lenguaje, o estructura en la cual estos fueron captados en un comienzo. En pocas palabras, la defuzzificación, convierte los valores difusos, de las variables de salida, en valores concretos dentro de un universo de discurso correspondiente. Genera una acción no difusa, a partir de la acción difusa resultante del sistema de inferencia. [3] [7]

5.2.7 Actuadores

Los actuadores son dispositivos, o mecanismos, que reciben y ejecutan aquellos datos, recibidos por el controlador, un actuador puede ser desde una simple válvula, hasta un motor de corriente alterna. [5]

5.2.9 Sensores

Un sensor, o como también es llamado captador, no es más que un dispositivo diseñado para percibir información de una magnitud del exterior y transformarla en otra magnitud, comúnmente eléctrica, que seamos capaces de cuantificar y manipular. [5]

Normalmente estos dispositivos se encuentran realizados mediante la utilización de componentes pasivos (resistencias variables, PTC, NTC, LDR, etc.... todos aquellos componentes que varían su magnitud en función de alguna variable), y la utilización de componentes activos. [5]

VI. DISEÑO

6.1 METODOLOGÍA

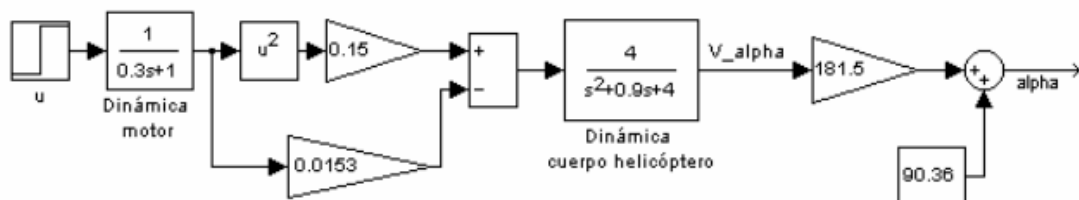
6.1.1 Tipo y nivel de la investigación

En lo que respecta al tipo de investigación, el presente trabajo tiene las condiciones metodológicas de una investigación aplicada, pues, se utilizaron conocimientos de ingeniería para aplicarlos en el diseño del sistema de control de temperatura, utilizando lógica difusa.

Acorde a la naturaleza de la investigación, según sus características, se trata de un estudio descriptivo.

Para el presente trabajo, utilizaremos como guía, el modelo propuesto por Samir Kouro [6], que se muestra en el siguiente esquema:

Ilustración 1: Modelo de diseño propuesto por Samir Kouro.



Fuente: “Control mediante lógica difusa” [6].

6.2 Diseño conceptual de elementos o partes

6.2.1. Selección conceptual de equipos o partes

Máquina secadora de torre para granos de arroz SBT

La máquina secadora distribuye el calor, que le proporciona un horno de pajilla o cascarilla, al grano de arroz que se encuentra dentro de la misma, extrayendo de 1 a 3 puntos de humedad del grano, para que este pueda ingresar al área de pilado, y luego a sus respectivos procesos, para ser al final empaquetado. El proceso de secado de arroz se lleva a cabo durante 6 horas; no es raro ver que se pierda el 5% del lote total que ingreso a la secadora, por el quebrado del arroz, por eso, un control en este proceso es indispensable para disminuir las pérdidas generadas por el excesivo calor distribuido dentro de la secadora. El modelo que se encuentra operando en el molino SUDAMERICA de Lambayeque es el SBT 30, este último número nos indica la capacidad de la máquina en toneladas.

El proceso de secado de arroz que se lleva a cabo en el molino “SUDAMÉRICA” se divide en 4 partes:

Ilustración 2: Flujograma del molino SUDAMERICA.



Fuente: [Elaboración propia].

Recepción del Grano:

En esta parte del proceso se reciben las diferentes cargas, de los diferentes clientes que desean que su grano pase por el proceso de secado artificial; esta carga se vierte en un cavidad conocida como “tolva”, estas cavidades dirigen el grano de arroz a través de unas máquinas que empujan el grano de arroz hacia un elevador de cangilones, los cuales se encargan de llevar todo el grano de arroz a una máquina pre-limpiadora

Ilustración 3: Tolvas de recepción del grano de arroz (vista frontal).



Fuente: [Elaboración propia].

Ilustración 4: Tolva de recepción del grano de arroz (vista superior).



Fuente: [Elaboración propia].

Ilustración 5: Elevador de cangilones, de la las tolvas a la máquina pre-limpiadora.



Fuente: [Elaboración propia].

Ilustración 6: Tubo de transporte del elevador de cangilones hacia la máquina pre-limpiadora.



Fuente: [Elaboración propia]

Ilustración 7: Tubo de transporte del elevador de cangilones hacia la máquina pre-limpiadora.



Fuente: [Elaboración propia].

Pre-Limpiado del Grano:

Aquí el grano de arroz es limpiado de todas las ramas que pueda haber llegado junto con el grano, y algunas piedras de un tamaño reducido, luego de pasar por esta máquina, el grano de arroz es llevado a un maquina zaranda de limpiado, cuya función es separar los últimos desperdicios que pueden haberse escapado de la máquina secadora; luego de la zaranda, el grano a través de un tornillo sin-fin empuja el grano hacia un elevador de cangilones, que llenara los respectivos silos, para el proceso de secado de arroz.

Ilustración 8: Máquina pre-limpiadora de granos.



Fuente: [Elaboración propia].

Ilustración 9: Máquina pre-limpiadora de granos.



Fuente: [Elaboración propia].

Ilustración 10: Zaranda Limpiadora de granos de arroz.



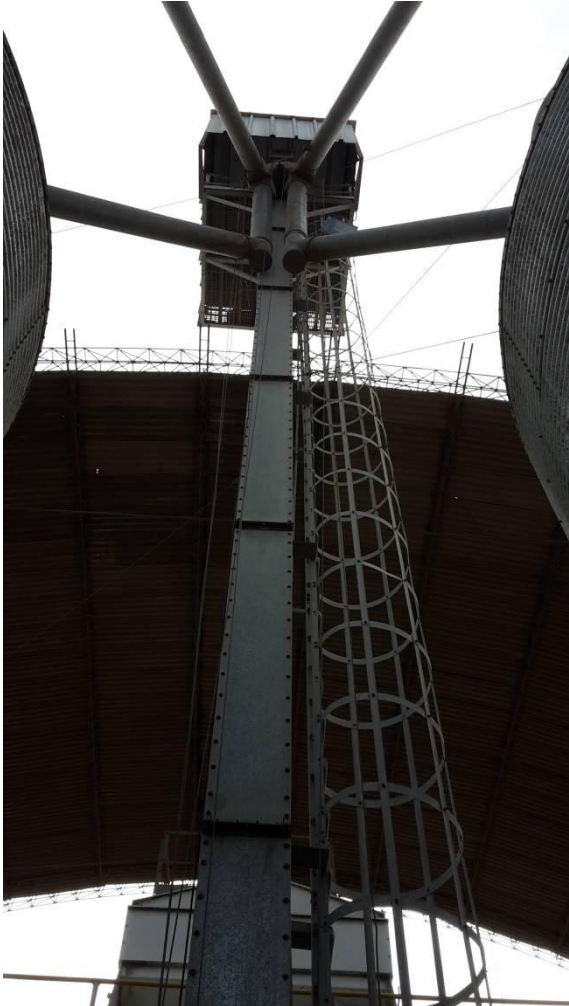
Fuente: [Elaboración propia].

Ilustración 11: Elevador de cangilones, de la zaranda hacia los silos de la secadora.



Fuente: [Elaboración propia].

Ilustración 12: Tubos de transporte de grano de arroz, del elevador de cangilones, hacia los silos de la secadora.



Fuente:[Elaboración propia].

Secado del Grano:

Luego de que los silos se hayan llenado hasta su capacidad máxima, un elevador de cangilones es el encargado de llevar el grano hacia la maquina secadora, comenzando con el proceso de secado; un horno, es el encargado de inyectar el aire caliente hacia la secadora, para realizar el respectivo proceso de secado; todo el proceso de secado, se realiza en un tiempo aproximado de 6 horas, dependiendo de la humedad con la que el grano llega, durante este tiempo, una persona es la encargada de tomar una muestra, para analizar la humedad del grano, aproximadamente el grano debería estar entre 13 y 14% de humedad; las muestras se toman cada 1 hora, es decir que al final del proceso, se deberían haber realizado 6 muestras. En caso de que la humedad este por debajo del rango, se abrirá una escotilla la cual permitirá el ingreso del aire a temperatura ambiente para reducir la temperatura dentro de la máquina secadora, y así disminuir las posibilidades de quebrar el grano. Una vez que transcurren las 6 horas del proceso, el grano es llevado a los silos de descarga.

Ilustración 13: Máquina secadora de granos de arroz.



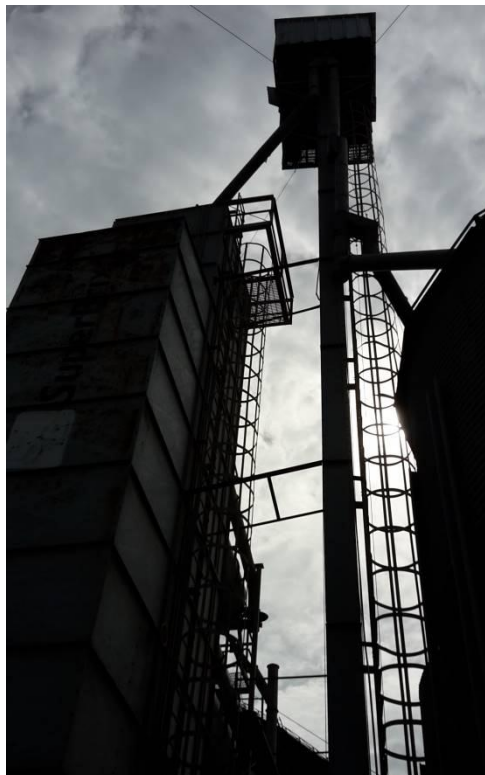
Fuente: [Elaboración propia].

Ilustración 14: Ventilación de la máquina secadora.



[Elaboración propia].

Ilustración 15: Elevador de cangilones de la secadora y de los silos de almacenamiento.



Fuente: [Elaboración propia].

Ilustración 16: Horno de la máquina secadora. Vista Frontal



Fuente: [Elaboración propia].

Ilustración 17: Interior del horno de la máquina secadora.



Fuente: [Elaboración propia].

Almacenamiento del Grano:

Una vez finalizado el proceso de secado, un elevador de cangilones lleva el grano a diferentes silos de almacenamiento, donde luego se procederá a descargar para su respectivo empaquetamiento.

Ilustración 18: Silo de almacenamiento del grano de arroz.



Fuente: [Elaboración propia].

PLC con lógica difusa

Muy aparte de realizar la simulación del algoritmo de control, que utiliza lógica difusa, necesitamos de un dispositivo que nos permita aplicar dicho algoritmo en su memoria de control, ese dispositivo. Los Controladores Lógico Programables (PLC), que ya cuentan con la facilidad de utilizar lógica difusa en su sistema de programación, nos permitirán cargar nuestro algoritmo de control en su sistema, y así poder realizar la regulación respectiva del proceso. [5]

Este dispositivo nos permitirá aplicar el algoritmo de control de lógica difusa, en el PLC. [14]

Ilustración 19: PLC CompactLogix 5370 L2 con lógica difusa.



Fuente: [14]

Servomotor

Al momento de controlar movimientos de algún componente, de forma precisa y exacta, los servomotores, que son motores eléctricos con la posibilidad de controlar su velocidad de giro y también la posición de giro del eje. [15] [5]

Ilustración 20: Servo-motor modelo MPL-A4530K para la apertura gradual de la escotilla de la máquina secadora, aproximadamente 2 kilo-Watts de Potencia. [15]



Fuente: [15]

Driver

Para lograr que un servomotor reciba la orden de moverse, gradualmente con una alta precisión, es necesario de una mini computadora, quien será la encargada de recibir las órdenes, y enviar la señal de giro al servomotor. [16]

Ilustración 21: Driver KINETIX 6000 compatible con el servomotor MPL-A4530K



Fuente: [16]

Encoder

Luego de que un servomotor, realice una acción determinada, que fue enviada por su respectivo driver, este debe informar si fue posible alcanzar la posición que fue enviada previamente, esta retroalimentación de la posición en la que se encuentra el servomotor, es realizada por el Encoder.

Ilustración 22: Encoder del servo-motor MPL-A4530K



Fuente: [16]

Sensores

Los sensores son dispositivos que nos ayudan a percibir con exactitud, diferentes parámetros de algún objeto o dispositivo, ya sea la temperatura, humedad, viscosidad, etc. [5]

Ilustración 23: Sensor de temperatura (PT-100).

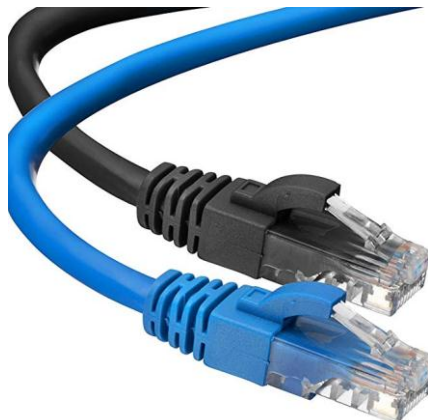


Fuente: [17]

Accesorios

Para la comunicación entre el PLC y los diferentes componentes, utilizaremos cable Ethernet, pues como se muestra en [14], el PLC CompactLogix 5370 L2, este posee puerto Ethernet.

Ilustración 24: Adaptador para PLC S7-312



Fuente: [18]

También utilizaremos cable eléctrico calibre 8 AWG para las conexiones del guardamotor, y otros que requieran de cables de alimentación.

Ilustración 25: Cable eléctrico calibre 8 AWG



Fuente: [19]

Ilustración 26: Sensor de humedad TRIME standard GR-sonde



Fuente: [20]

VII. RESULTADOS

7.1 Definición de características

Tomando en cuenta el proceso de secado, del molino SUDAMERICA, descrito en apartado 3, procederemos a diseñar un sistema de control de temperatura, tomando como base la lógica difusa, la cual, nos ayudará a disminuir el porcentaje de quebrado de arroz debido al excesivo calor que se aplica durante el proceso. Para tal diseño, consideraremos los parámetros de la temperatura y humedad, a la entrada del sistema de control; y la inclinación de la escotilla de la máquina secadora a la salida del sistema. Cabe resaltar que para controlar la temperatura, nos basaremos en el porcentaje de humedad que posee el grano, y a través de esta, estableceremos la temperatura óptima para el proceso de secado de arroz del molino SUDAMERICA.

Una vez definidas las variables a controlar (la temperatura, humedad y la inclinación de la escotilla de la máquina secadora), analizaremos como se distribuye la temperatura del aire que ingresa en la secadora, y así poder establecer a que temperatura, es necesario abrir la escotilla de la máquina secadora, y así disminuir las posibilidades de agrietar el grano de arroz. Debemos garantizar que con dicha temperatura del aire, la extracción de humedad no supere los 3 puntos, pues de no ser así el grano presentará grietas en su estructura, que luego representarán pérdidas con respecto al lote total de ingreso. La temperatura no deberá superar los 60°C, pues con temperaturas superiores, la extracción de puntos de humedad superará los rangos previamente explicados [8].

Con respecto al horno de pajilla de arroz, el molino SUDAMERICA utiliza un horno SUPERBRIX modelo TEO IV 2000, cuya temperatura del aire caliente que expulsa es de 70 a 90 °C, con un consumo de cascarilla de entre 250 a 450 kg/h [Anexo].

Utilizaremos 2 sensores, uno de temperatura, el cual se ubicará al ingreso de la máquina secadora, para informar constantemente la temperatura que está ingresando a la secadora, dicho sensor será una PT100; y para sensar la humedad, en la parte final del proceso de secado de arroz, es decir justo antes del elevador de cangilones se añadirá un sensor GM.640.

Con esto lograremos recopilar a cada hora, como se va secando el arroz; si el arroz alcanza una humedad cercana o por debajo del 13%, el controlador dará orden de disminuir o aumentar la apertura de la escotilla de la máquina secadora, disminuyendo así la temperatura

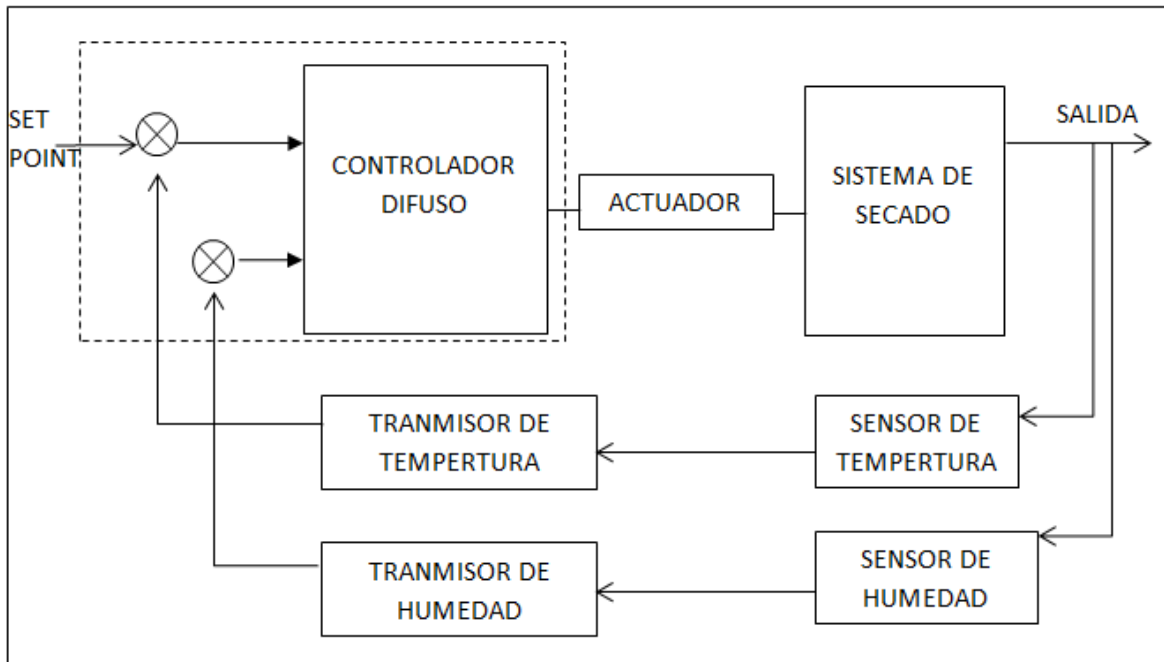
a lo largo de toda la máquina secadora, dicha apertura o cierre gradual y preciso de la escotilla la realizará el servomotor.

Para la parte del control de proceso, utilizaremos un Controlador Lógico Programable CompactLogix 5370 L2 , el cual tiene la función de leer programas lógico-difusos.

7.1.1. Esquema del sistema de control

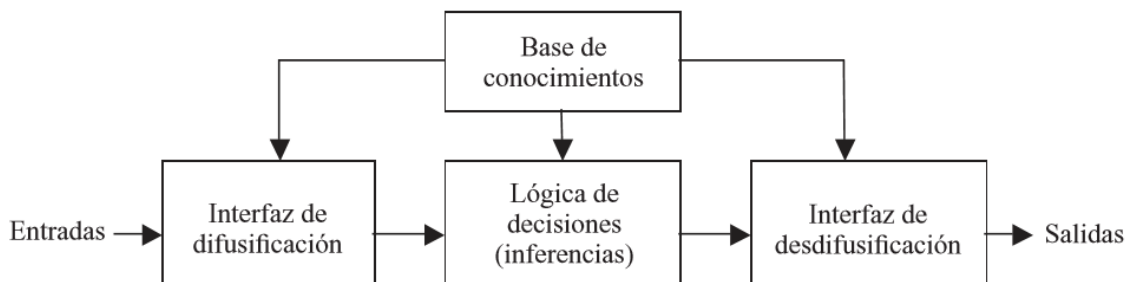
El sistema de control, que se muestra en la ilustración 27, consta de dos Indicadores, uno para la humedad, y otro para la temperatura la cual será nuestro set-point, tanto la temperatura como la humedad están directamente relacionados, y como se mencionó anteriormente, el parámetro que nos proporcionará el error, será la temperatura, pero esta se guiará a través de la humedad que el grano de arroz posee. Luego del set-point; cuyo valor se muestra en la tabla 1, el controlador; a través de los sensores, verificará que no exista error, entre la temperatura óptima ingresada como set-point, y la temperatura sensada, de ser el caso de existir error, realizara su algoritmo de control, mediante el código de programación, para ajustar la apertura, o cierre necesaria de la escotilla de la máquina secadora. Luego volverá a realizar la discretización entre el set-point ingresado y la temperatura sensada, para mantener constante, la mayor cantidad del tiempo posible, la temperatura óptima de secado. Aproximadamente esto se realiza cada minuto, a lo largo de todo el proceso de secado.

Ilustración 27: Esquema del sistema de control.



Fuente: [Elaboración propia]

Ilustración 28: Estructura de un controlador difuso.



Fuente: Inteligencia artificial con aplicaciones a la ingeniería [2]

7.1.2. Requerimientos del sistema del secado de arroz

La temperatura optima de secado, para el grano de arroz, es entre 60 y 70 °C, y la extracción de humedad debe estar entre los 0.3 y 1.4 puntos por hora [8].

Tabla 1: Valores óptimos para la reducción del quebrado de arroz en el proceso de secado.

	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD
GRANO DE ARROZ	60 - 70	14-14.5
SALIDA DEL HORNO DE PAJILLA DE ARROZ	70 - 80	-

Fuente: [Elaboración propia].

Como se mencionó anteriormente, el parámetro a controlar es la temperatura, pero la humedad será quien nos indique las si en el proceso está aplicando o no un excesivo calor. Por tal motivo, nuestra señal de entrada al controlador será la diferencia entre la humedad final y la humedad deseada del producto.+

Por ello se seleccionaron cinco funciones de pertenencia para la variable de entrada, las cuales están basadas en la humedad del producto, en este caso, del grano de arroz; dichas funciones son las siguientes:

Error Cero: la temperatura llega a la temperatura deseada.

Error Negativo: la temperatura se encuentra por debajo de la temperatura deseada.

Error Muy Negativo: la temperatura se encuentra muy por debajo de la temperatura deseada.

Error Positivo: la temperatura se encuentra por encima de la temperatura deseada.

Error Muy Positivo: la temperatura se encuentra muy por encima de la temperatura deseada.

Por otro lado, tenemos las funciones de pertenencia de tipo triangular para la variable de manipulación que será, las posiciones del servomotor, que manipularán la apertura de la escotilla de la máquina secadora; dichas funciones se muestran a continuación:

Resta 2: A la posición actual, se disminuye 90° .

Resta 1: A la posición actual, se disminuye 45° .

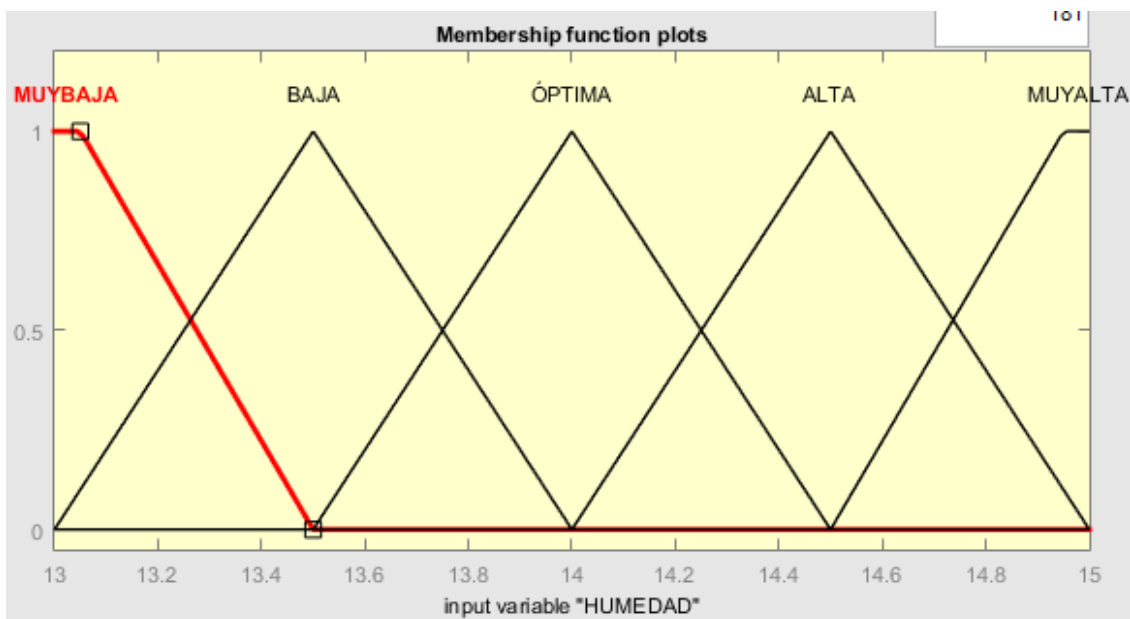
Non: No se le aumenta ni disminuye ningún grado de inclinación.

Suma 1: A la posición actual se le aumenta 45° .

Suma 2: A la posición actual se le aumenta 90° .

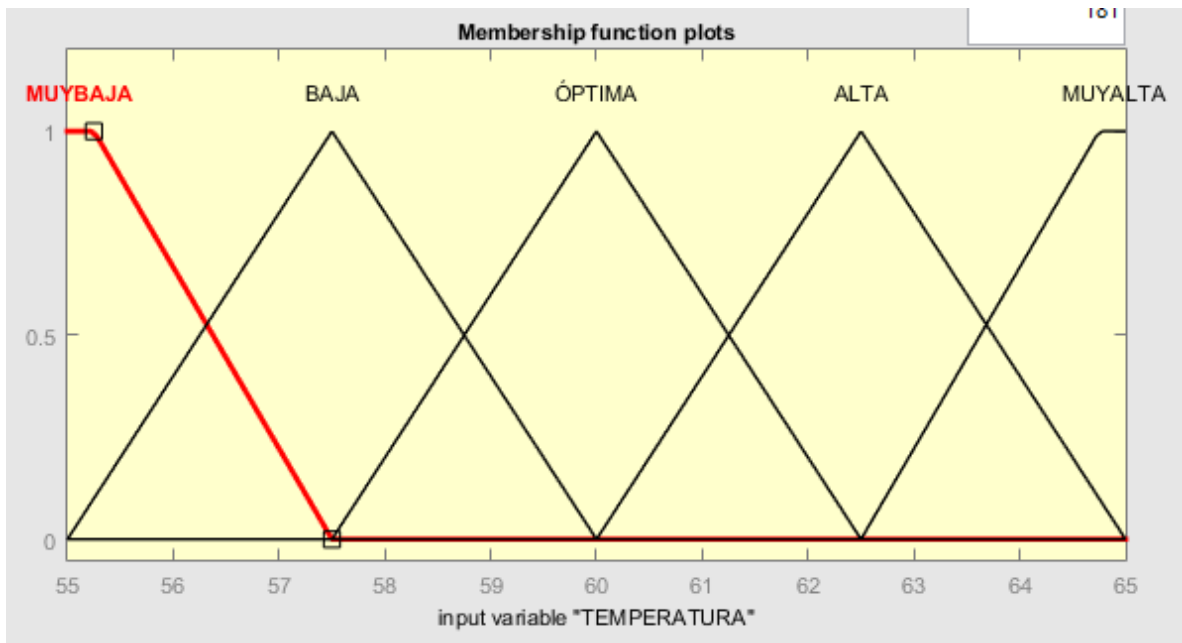
El control de la inclinación en la escotilla de ventilación de la máquina secadora de arroz, nos lo proporcionará el servo motor, que nos permitirá graduar la apertura de la escotilla, al ángulo deseado.

Ilustración 29: Funciones de pertenencia (variables lingüísticas de humedad).



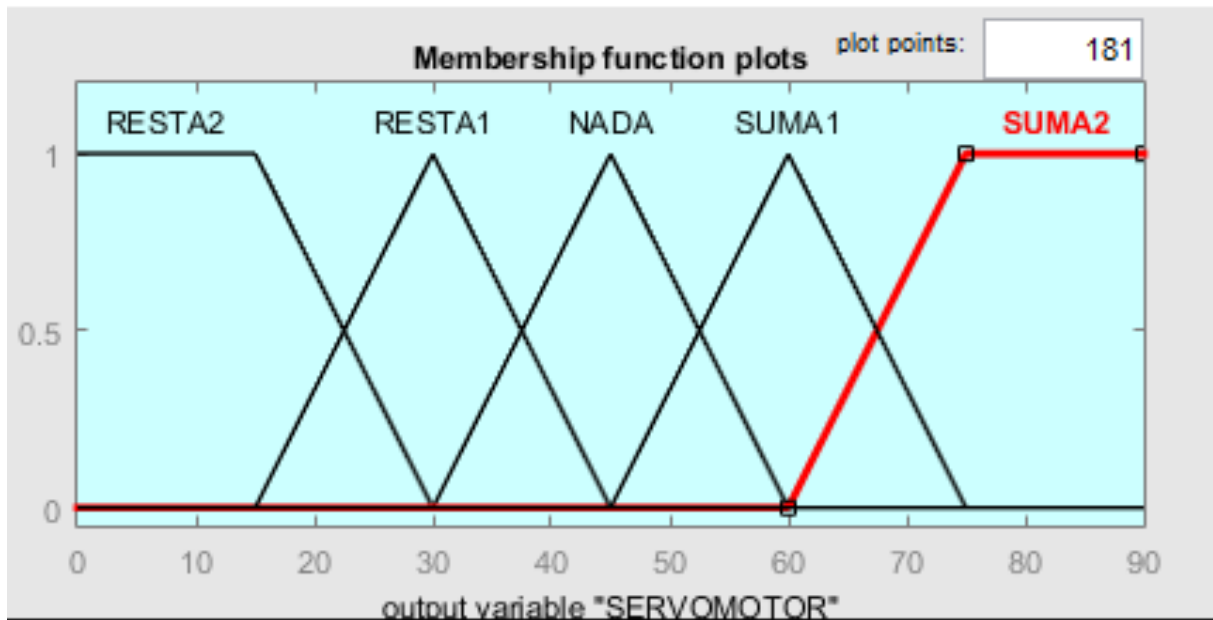
Fuente: [Elaboración propia].

Ilustración 30: Funciones de pertenencia (variables lingüísticas de temperatura).



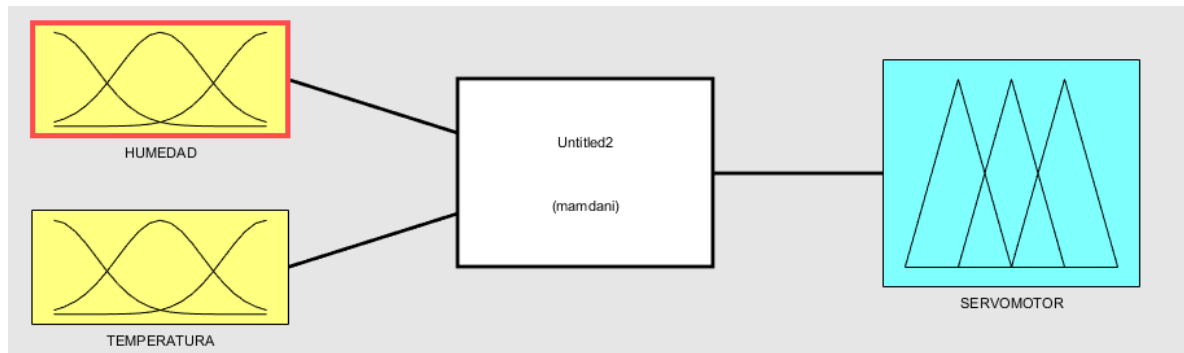
Fuente: [Elaboración propia].

Ilustración 31: Funciones de pertenencia (salida variables lingüísticas del servomotor).



Fuente: [Elaboración propia].

Ilustración 32: Diagrama del controlador con lógica difusa (Matlab).



Fuente: [Elaboración propia].

Tabla 2: Tabla de reglas correspondientes para el controlador difuso.

Error	Inclinación del servomotor					Temperatura					Humedad				
	Resta 2	Resta 1	Nada	Suma 1	Suma 2	Muy Baja	Baja	Óptima	Alta	Muy Alta	Muy Baja	Baja	Óptima	Alta	Muy Alta
Positivo Grande	X									X	X				
Positivo		X							X			X			
Cero			X					X					X		
Negativo				X			X							X	
Negativo Grande					X	X									X

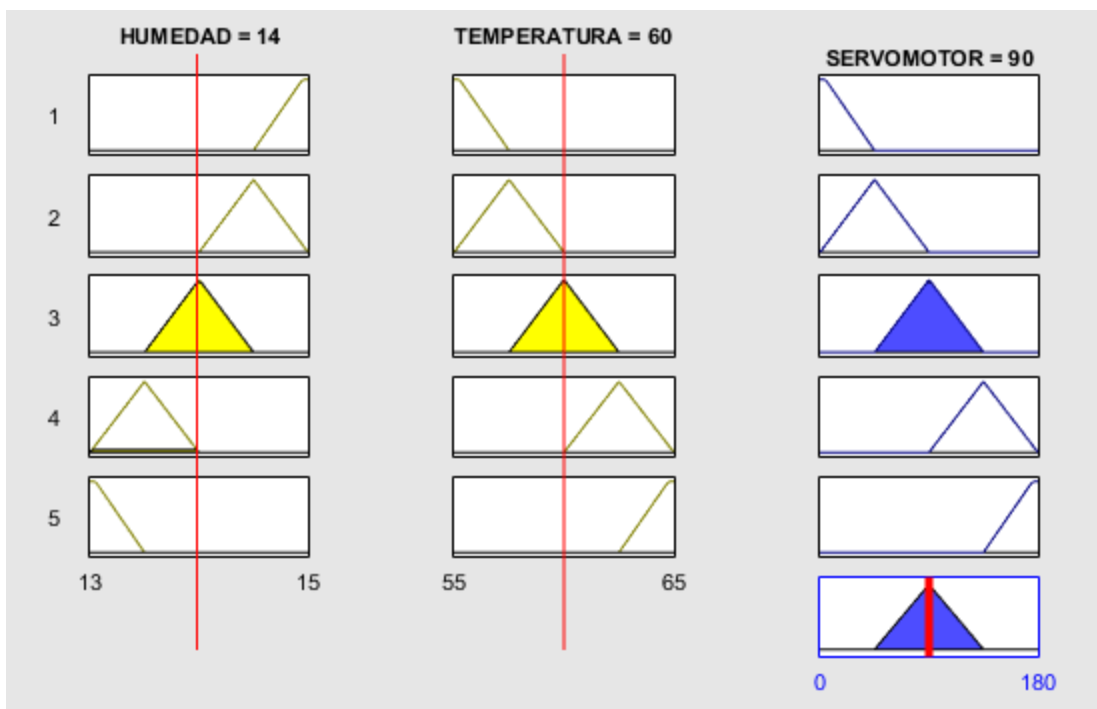
Fuente: [Elaboración propia]

Ilustración 33: Programación del controlador difuso.

```
1. If (HUMEDAD is MUYALTA) and (TEMPERATURA is MUYBAJA) then (SERVOMOTOR is RESTA2) (1)
2. If (HUMEDAD is ALTA) and (TEMPERATURA is BAJA) then (SERVOMOTOR is RESTA1) (1)
3. If (HUMEDAD is ÓPTIMA) and (TEMPERATURA is ÓPTIMA) then (SERVOMOTOR is NADA) (1)
4. If (HUMEDAD is BAJA) and (TEMPERATURA is ALTA) then (SERVOMOTOR is SUMA1) (1)
5. If (HUMEDAD is MUYBAJA) and (TEMPERATURA is MUYALTA) then (SERVOMOTOR is SUMA2) (1)
```

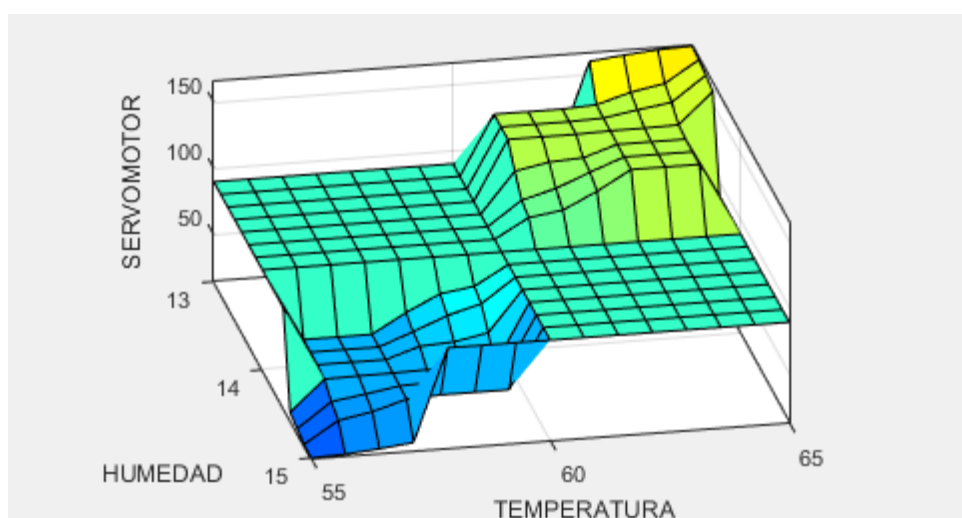
Fuente: [Elaboración propia].

Ilustración 34: Esquema de las reglas de control.



Fuente: [Elaboración propia].

Ilustración 35: Diagrama de la superficie del programa de control.



Fuente: [Elaboración propia].

Las consideraciones, y pasos necesarios para elaborar la programación, se tomaron de [12].

Nuestras Variables lingüísticas son, en el caso de la temperatura y la humedad, MUY BAJA, BAJA, ÓPTIMA, ALTA Y MUY ALTA; y al servo-motor, se le asignó, RESTA 2, RESTA1, NADA, SUMA1, SUMA2; como variables lingüísticas.

Y las reglas de inferencia se realizan como se muestra en la tabla 2, se observa que mientras más temperatura ingresa en la secadora, la humedad será menor, y mientras mayor sea la humedad, significará que, la temperatura es muy baja; estas observaciones nos permitieron realizar la programación, a través del comando “Fuzzy Logic” del Matlab. Para complementar la programación se realizó el código de programación, pero esta vez directamente con el Matlab.

El Código de programación que se muestra en la ilustración 32, se simulará posteriormente para demostrar que el programa por sí solo no posee errores, muy aparte de añadir el programa en un diagrama de bloques, es decir, antes de ingresar el programa al controlador, el programa debe verificarse su compilación, independientemente de la simulación del proceso. Dicha simulación se realizará con un error de -5 grados de temperatura.

Ilustración 36: Código de programación en el editor de Matlab.

```
paso=0.01;

%semántica de error de temperatura
e=52.75:paso:67.25;
TMB=trapmf(e,[52.75 54.75 55.25 57.5]);
TB=trimf(e,[55 57.5 60]);
TO=trimf(e,[57.5 60 62.5]);
TA=trimf(e,[60 62.5 65]);
TMA=trapmf(e,[62.5 64.75 65.25 67.25]);
subplot(3,1,1), plot(e,TMB,e,TB,e,TO,e,TA,e,TMA,'linewidth',5)
set(gca,'fontsize',18), legend('TMB','TB','TO','TA','TMA')
xlabel('Error'), ylabel('\mu(Error)')

%semántica de acción de control
a=-45:paso:225; %a=ángulo
RESTA2=trapmf(a,[-45 -5 5 45]);
RESTA1=trimf(a,[0 45 90]);
NADA=trimf(a,[45 90 135]);
SUMA1=trimf(a,[90 135 180]);
SUMA2=trapmf(a,[135 175 185 225]);
subplot(3,1,2), plot(a,RESTA2,a,RESTA1,a,NADA,a,SUMA1,a,SUMA2,'linewidth',5)
set(gca,'fontsize',18), legend('RESTA2','RESTA1','NADA','SUMA1','SUMA2')
xlabel('Ángulo'), ylabel('\mu(Ángulo)')

e0=58; %error leído
n=find(e==e0);
subplot(3,1,1), hold on, plot(e0,TMB(n),'*',e0,TB(n),'*',e0,TO(n),'*',e0,TA(n),'*',e0,TMA(n),'*','linewidth',5), hold off

%%Fusificar e Inferencia de Mandani
B1=min(RESTA2,TMB(n));
B2=min(RESTA1,TB(n));
B3=min(NADA,TO(n));
B4=min(SUMA1,TA(n));
B5=min(SUMA2,TMA(n));
B=max(B1,max(B2,max(B3,max(B4,B5)))));
subplot(3,1,3), plot(a,B,'linewidth',5)
set(gca,'fontsize',18), legend('Angulo')
axis([-45 225 0 1])

%Defusificación
ao=defuzz(a,B,'centroid')
hold on, plot(ao*ones(1,3),[0 0.5 1],'r','linewidth',5)
```

Fuente: [Elaboración Propia]

7.2 Cálculos justificativos

Debido a que, para la implementación de lógica difusa en un sistema de control, no es necesario conocer el modelo matemático del sistema a controlar, no se realizará el modelamiento matemático del sistema; pero para la simulación y demostración de que el sistema de control funciona de forma correcta, es necesario conocer la transformada de Laplace, para la respectiva simulación a través del comando SIMULINK, del Matlab; por ello se con [9] añadiremos los cálculos y modelamientos ya realizados por [13], para poder realizar la simulación.

7.2.1 Ecuación en la secadora

El aire del ambiente a una temperatura dada (T_a) ingresa a la secadora y se calienta por convección, produciendo una temperatura de Salida debido a un proceso de transferencia de calor. En este caso la Potencia que le brinda el motor se comporta como el total de flujo de calor transferido, por lo tanto según [13]:

$$P_s = K\Delta\theta$$

$$P_s = \text{Potencia de la secadora kcal/seg}$$

$$K = \text{coeficiente, } \frac{\text{kcal}}{\text{seg}} \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$K = HA$$

$A = \text{área normal para flujo de calor, m}^2$ (Necesitamos saber el área transversal de la secadora -> El orificio por donde sale el aire de la secadora)

$E = \text{voltaje del motor de la máquina secadora}$

$H = \text{coeficiente de convección, kcal/m}^2\text{seg}^\circ\text{C}$ (Es una constante)

$$P_s = HA(\theta_c - \theta_a)$$

$$\frac{V_1^2(s)}{R_s} = HA\theta_c(s) - HA\theta_a$$

$$\theta_c(s) = \theta_a + \frac{V_1^2(s)}{R_s HA}$$

$$V_1^2(s) = E_1(s)$$

$$\theta_c(s) = \theta_a + \frac{E_1(s)}{R_s HA}$$

El diámetro de salida de la secadora, varía entre los 30 y 60 cm, tomaremos como dato 50 cm para el cálculo, entonces:

$$A = \Pi * r^2 = \Pi * (0.25)^2 = 0.1963 \text{ m}^2$$

Debido a que el total de flujo de calor transferido, lo brinda el motor de la máquina secadora [9], entonces “R” de la [9], se calcularía, con [anexo]:

$$R = \frac{V^2}{P} = \frac{(440)^2}{17\,000 \text{ W}} = 19.73 \Omega$$

7.2.2 Transferencia de Calor:

Aplicando la Ley de Fourier para Transferencia de calor por Convección, el flujo de calor logrado entre el aire caliente y el grano en un determinado instante se traduce como el flujo de calor liberado por el grano en el mismo instante de tiempo, el cual pasa de una temperatura inicial a una final, por lo tanto

$$q = K\Delta\theta$$

$$q = \text{flujodecalor}, \frac{\text{kcal}}{\text{seg}}$$

$$\Delta\theta = \text{diferenciadetemperatura}, ^\circ\text{C}$$

$$K = \text{coeficiente}, \text{kcal/seg}^\circ\text{C}$$

$$K = HA$$

A = área normal para flujo de calor, m^2 (Resultado del Área Seccional del silo- Debemos considerar que los granos se distribuye uniformemente dentro de el)

$$H = \text{coeficiente de convección}, \text{kcal/m}^2\text{seg}^\circ\text{C}$$

Definamos:

$$\bar{\theta}_1 = \text{Temperatura en estado estable de los granos entrantes}, ^\circ\text{C}$$

$$\bar{\theta}_0 = \text{Temperatura en estado estable de los granos salientes}, ^\circ\text{C}$$

$$\theta_c = \text{Temperatura del aire caliente}, ^\circ\text{C}$$

$$G = \text{flujomásicode granos en estado estable}, \text{kg/seg}$$

$M =$ Masa del conjunto de granos, kg.

$c =$ calor específico de los granos, kcal/kg^oC

$R =$ resistencia térmica, ^oCseg/kcal

$C =$ capacitancia térmica, kcal/^oC

$\bar{H} =$ Entrada de flujo de aire caliente en estado estable, kcal/seg

Supongamos que la temperatura del grano que entra se mantiene constante y que el flujo de entrada de aire caliente cambia repentinamente de $\bar{H}a\bar{H} + h_i$, en donde h_i representa un cambio pequeño en la entrada de flujo de aire caliente. El flujo de salida de aire caliente cambiará entonces, en forma gradual, de $\bar{H}a\bar{H} + h_o$. La temperatura del grano que sale también cambiará de $\bar{\theta}_o a \bar{\theta}_o + \theta$. Para este caso h_o , C , R se obtienen respectivamente como:

$$h_o = Gc\theta = HA(\theta_c - \theta_i)$$

$$h_o = K(\theta_c - \theta_i)$$

$$\theta_i = \theta_c - \frac{Gc\theta}{K}$$

$$C = Mc$$

$$R = \frac{\theta}{h_o} = \frac{1}{Gc}$$

La ecuación diferencial para este sistema es:

$$C \frac{d\theta}{dt} = Gc\theta_i - h_o$$

Que puede describirse como

$$RC \frac{d\theta}{dt} + \theta = \theta_i$$

$$RC \frac{d\theta}{dt} + \theta = \theta_c - \frac{Gc\theta}{K}$$

$$RC \frac{d\theta}{dt} + \theta \left(1 + \frac{Gc}{K}\right) = \theta_c$$

$$RCs\theta(s) + \theta(s) \left(1 + \frac{Gc}{K}\right) = \theta_c(s)$$

$$\theta(s) \left(RCs + 1 + \frac{1}{RK} \right) = \theta_c(s)$$

$$\frac{\theta(s)}{\theta_c(s)} = \frac{RK}{KR^2Cs + RK + 1}$$

EL coeficiente de convección “k” se calcula con [21]:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_i} + \frac{L}{\lambda} + \frac{1}{h_e} = 0.18 + \frac{0.5}{15} + 0.06 = 3.66 \text{ kcal/seg}^\circ\text{C}$$

La entrada de flujo de aire caliente en estado estable sería entre 83 000 y 330 000 Kcal/hr [22], por lo tanto:

$$H = 23.06 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr}}$$

7.2.3 Ecuación de un servomotor

Para la ecuación del servo-motor, utilizaremos [23]

Ilustración 37: Función de transferencia del servo-motor



Fuente: [23]

VIII.SIMULACIÓN Y RESULTADOS EXPERIMENTALES

8.1 Verificación del cumplimiento de los parámetros de diseño

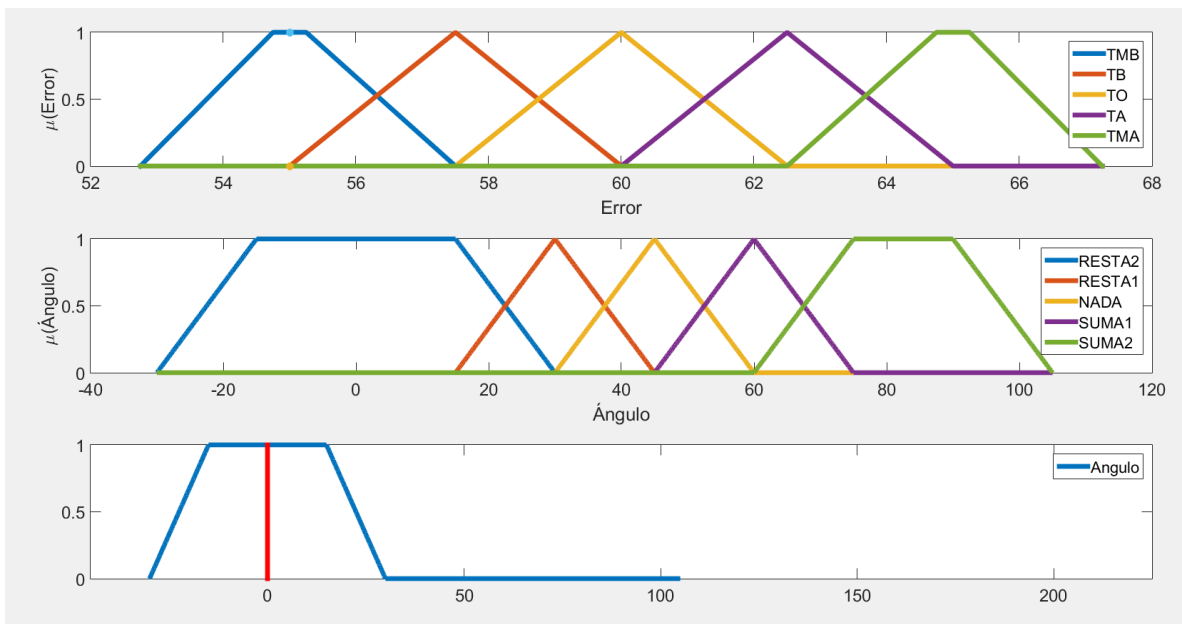
Para la verificación del código de programación, se realizaron 3 simulaciones, una con un valor por debajo de la temperatura óptima, otra con el valor óptimo de secado, y por último una simulación con un valor por encima de la temperatura óptima de secado.

Ilustración 38: Código del programa de control, con 55 °C de temperatura.

```
Editor - F:\X CICLO\SEMINARIO DE TESIS INPROGRAMA\codigo.m
codigo.m x codigo2.m x curva_de_control_codigo2.m x +
1 - clc, clear all, close all,
2 - paso=0.01;
3 - %semántica de error de temperatura
4 - e=52.75:paso:67.25;
5 - TMB=trapmf(e,[52.75 54.75 55.25 57.5]);
6 - TB=trimf(e,[55 57.5 60]);
7 - TO=trimf(e,[57.5 60 62.5]);
8 - TA=trimf(e,[60 62.5 65]);
9 - TMA=trapmf(e,[62.5 64.75 65.25 67.25]);
10 - subplot(3,1,1), plot(e,TMB,e,TB,e,TO,e,TA,e,TMA,'linewidth',5)
11 - set(gca,'fontsize',18), legend('TMB','TB','TO','TA','TMA')
12 - xlabel('Error'), ylabel('\mu(Error)')
13 - %semántica de acción de control
14 - a=-45:paso:225; %a=ángulo
15 - RESTA2=trapmf(a,[-45 -5 5 45]);
16 - RESTA1=trimf(a,[0 45 90]);
17 - NADA=trimf(a,[45 90 135]);
18 - SUMA1=trimf(a,[90 135 180]);
19 - SUMA2=trapmf(a,[135 175 185 225]);
20 - subplot(3,1,2), plot(a,RESTA2,a,RESTA1,a,NADA,a,SUMA1,a,SUMA2,'linewidth',5)
21 - set(gca,'fontsize',18), legend('RESTA2','RESTA1','NADA','SUMA1','SUMA2')
22 - xlabel('Ángulo'), ylabel('\mu(Ángulo)')
23 - e0=55; %error leído
24 - n=find(e==e0);
25 - subplot(3,1,1), hold on, plot(e0,TMB(n),'*',e0,TB(n),'*',e0,TO(n),'*',e0,TA(n),'*',e0,TMA(n),'*', 'linewidth',5), hold off
26 - %%Fusificar e Inferencia de Mandani
27 - B1=min(RESTA2,TMB(n));
28 - B2=min(RESTA1,TB(n));
29 - B3=min(NADA,TO(n));
30 - B4=min(SUMA1,TA(n));
31 - B5=min(SUMA2,TMA(n));
32 - B=max(B1,max(B2,max(B3,max(B4,B5)))));
33 - subplot(3,1,3), plot(a,B,'linewidth',5)
34 - set(gca,'fontsize',18), legend('Ángulo')
35 - axis([-45 225 0 1])
36 - %Defusificación
37 - ao=defuzz(a,B,'centroid')
38 - hold on, plot(ao*ones(1,3),[0 0.5 1],'r','linewidth',5)
```

Fuente: [Elaboración Propia]

Ilustración 39: Reglas de inferencia y control del código de programación (55 °C)



Fuente: [Elaboración Propia]

Ilustración 40: Inclinación del servomotor, para la escotilla de la máquina secadora, con -5 grados de error en la temperatura.

```

Command Window
ao =
    -1.157338114232686e-16
fx >> |
    
```

Fuente: [Elaboración Propia]

Ilustración 41: Código del programa de control, con 60 °C de temperatura.

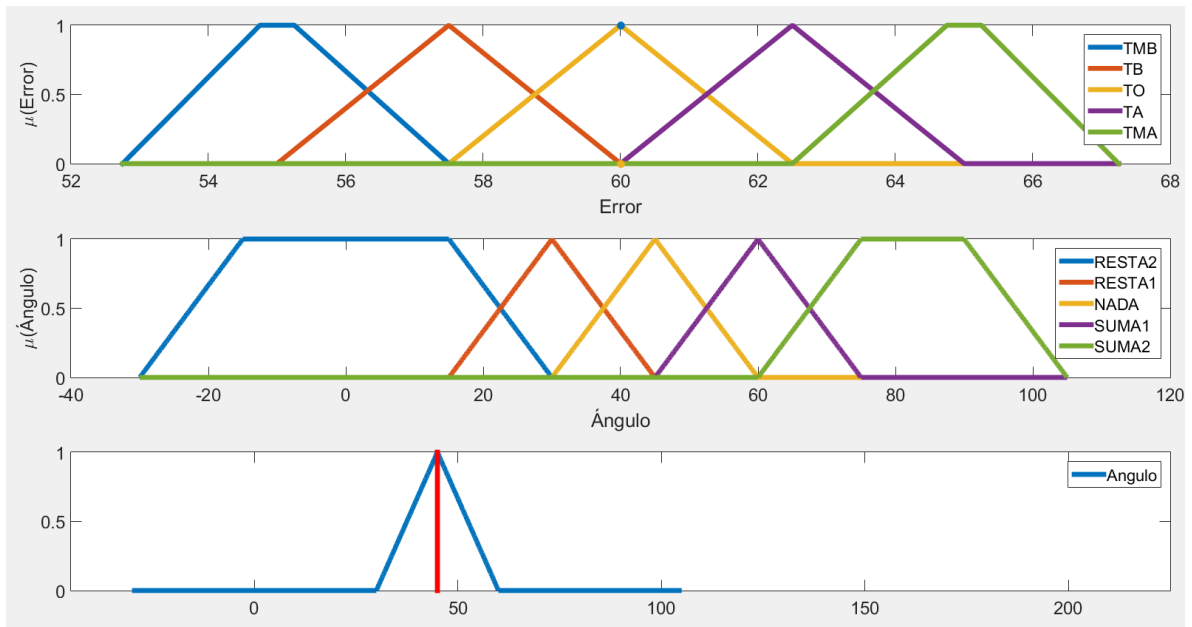
```

Editor - F:\X CICLO\SEMINARIO DE TESIS II\PROGRAMA\codigo.m
codigo.m  x  codigo2.m  x  curva_de_control_codigo2.m  x  Untitled2.fis  x  +
1  clc, clear all, close all,
2  paso=0.01;
3  %semántica de error de temperatura
4  e=52.75;paso:67.25;
5  TMB=trapmf(e,[52.75 54.75 55.25 57.5]);
6  TB=trimf(e,[55 57.5 60]);
7  TO=trimf(e,[57.5 60 62.5]);
8  TA=trimf(e,[60 62.5 65]);
9  TMA=trapmf(e,[62.5 64.75 65.25 67.25]);
10 subplot(3,1,1), plot(e,TMB,e,TB,e,TO,e,TA,e,TMA,'linewidth',5)
11 set(gca,'fontsize',18), legend('TMB','TB','TO','TA','TMA')
12 xlabel('Error'), ylabel('\mu(Error)')
13 %semántica de acción de control
14 a=-30;paso:105; %a=ángulo
15 RESTA2=trapmf(a,[-30 -15 15 30]);
16 RESTA1=trimf(a,[15 30 45]);
17 NADA=trimf(a,[30 45 60]);
18 SUMA1=trimf(a,[45 60 75]);
19 SUMA2=trapmf(a,[60 75 90 105]);
20 subplot(3,1,2), plot(a,RESTA2,a,RESTA1,a,NADA,a,SUMA1,a,SUMA2,'linewidth',5)
21 set(gca,'fontsize',18), legend('RESTA2','RESTA1','NADA','SUMA1','SUMA2')
22 xlabel('Ángulo'), ylabel('\mu(Ángulo)')
23 e0=60; %error leído
24 n=find(e==e0);
25 subplot(3,1,1), hold on, plot(e0,TMB(n),'*',e0,TB(n),'*',e0,TO(n),'*',e0,TA(n),'*',e0,TMA(n),'*', 'linewidth',5), hold off
26 %%Fusificar e Inferencia de Mandani
27 B1=min(RESTA2,TMB(n));
28 B2=min(RESTA1,TB(n));
29 B3=min(NADA,TO(n));

```

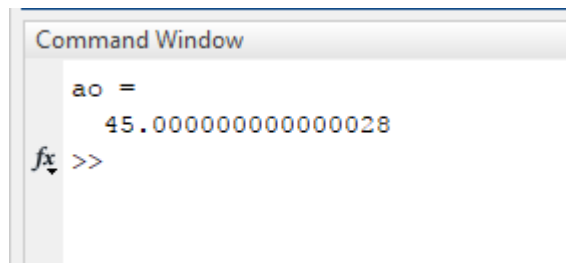
Fuente: [Elaboración Propia]

Ilustración 42: Reglas de inferencia y control del código de programación, (60 °C).



Fuente: [Elaboración Propia]

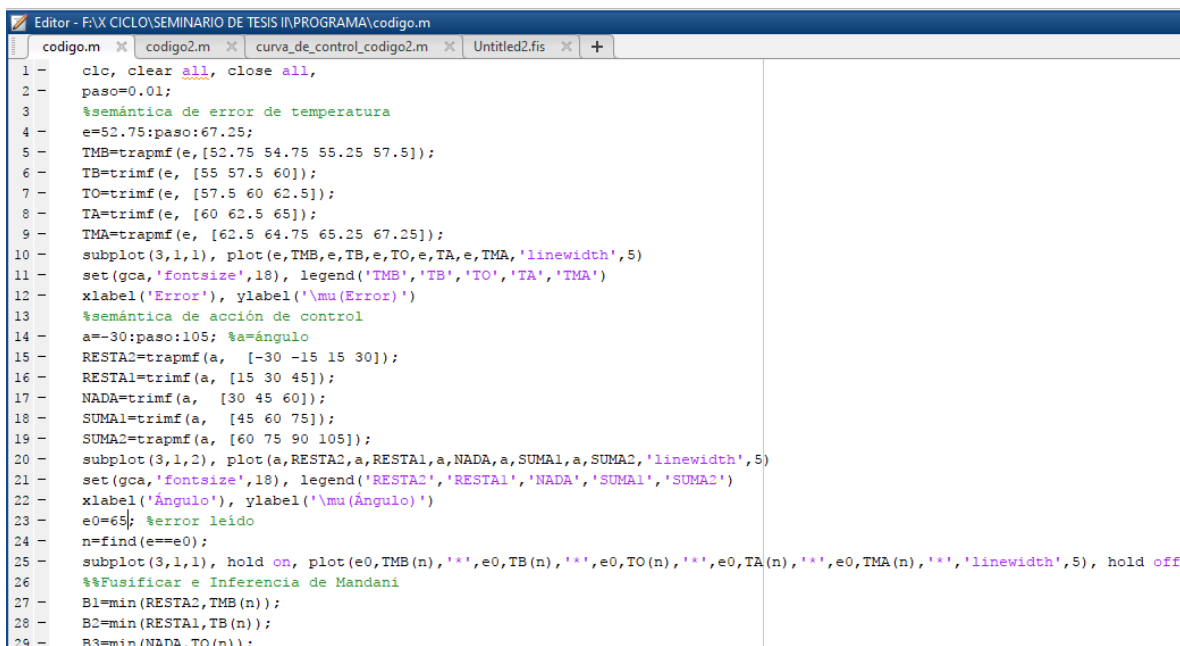
Ilustración 43: Inclinación del servomotor, para la escotilla de la máquina secadora, con -5 grados de error en la temperatura.



```
Command Window
ao =
    45.0000000000000028
fx >>
```

Fuente: [Elaboración Propia]

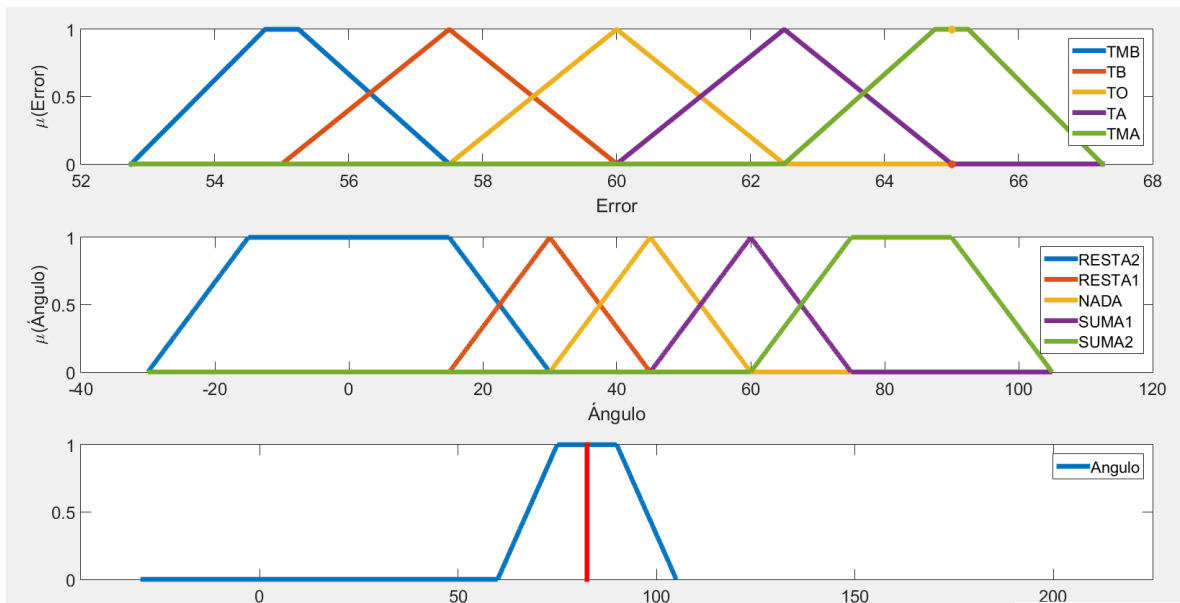
Ilustración 44: Código del programa de control, con 65 °C de temperatura



```
Editor - FAX CICLOSEMINARIO DE TESIS INPROGRAMA\codigo.m
codigo.m x codigo2.m x curva_de_control_codigo2.m x Untitled2.fis x +
1 - clc, clear all, close all,
2 - paso=0.01;
3 - %semántica de error de temperatura
4 - e=52.75:paso:67.25;
5 - TMB=trapmf(e, [52.75 54.75 55.25 57.5]);
6 - TB=trimf(e, [55 57.5 60]);
7 - TO=trimf(e, [57.5 60 62.5]);
8 - TA=trimf(e, [60 62.5 65]);
9 - TMA=trapmf(e, [62.5 64.75 65.25 67.25]);
10 - subplot(3,1,1), plot(e,TMB,e,TB,e,TO,e,TA,e,TMA,'linewidth',5)
11 - set(gca,'fontsize',18), legend('TMB','TB','TO','TA','TMA')
12 - xlabel('Error'), ylabel('\mu(Error)')
13 - %semántica de acción de control
14 - a=-30:paso:105; %a=ángulo
15 - RESTA2=trapmf(a, [-30 -15 15 30]);
16 - RESTA1=trimf(a, [15 30 45]);
17 - NADA=trimf(a, [30 45 60]);
18 - SUMA1=trimf(a, [45 60 75]);
19 - SUMA2=trapmf(a, [60 75 90 105]);
20 - subplot(3,1,2), plot(a,RESTA2,a,RESTA1,a,NADA,a,SUMA1,a,SUMA2,'linewidth',5)
21 - set(gca,'fontsize',18), legend('RESTA2','RESTA1','NADA','SUMA1','SUMA2')
22 - xlabel('Ángulo'), ylabel('\mu(Ángulo)')
23 - e0=65; %error leído
24 - n=find(e==e0);
25 - subplot(3,1,1), hold on, plot(e0,TMB(n),'*',e0,TB(n),'*',e0,TO(n),'*',e0,TA(n),'*',e0,TMA(n),'*', 'linewidth',5), hold off
26 - %%Fusificar e Inferencia de Mandani
27 - B1=min(RESTA2,TMB(n));
28 - B2=min(RESTA1,TB(n));
29 - B3=min(NADA,TO(n));
```

Fuente: [Elaboración Propia]

Ilustración 45: Reglas de inferencia y control del código de programación, (65 °C).



Fuente: [Elaboración Propia]

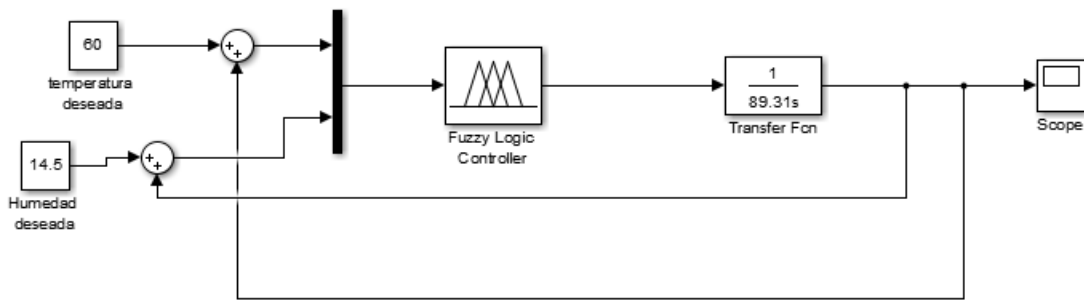
Ilustración 46: Inclinación del servomotor, para la escotilla de la máquina secadora.

```
Command Window
ao =
82.5000000000000043
fx >>
```

Fuente: [Elaboración Propia]

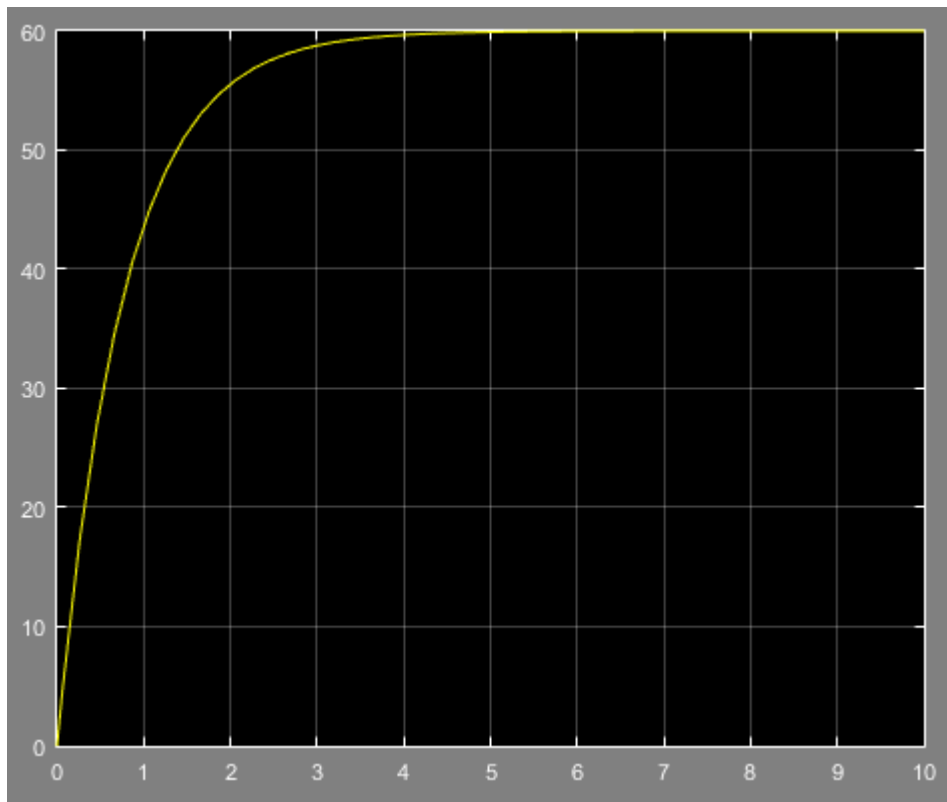
Con esto se demuestra en las ilustraciones 34 – 42, el programa compila, y responde correctamente al encontrar un error, en la temperatura sensada, generando así la inclinación correspondiente para la escotilla o persianas de la máquina secadora, estabilizando la temperatura, según las reglas de inferencia

Ilustración 47: Diagrama de bloques del sistema de control



Fuente: [Elaboración Propia]

Ilustración 48: Curva de control del sistema



Fuente: [Elaboración Propia]

Como podemos apreciar el programa realiza la inferencia de acuerdo a las reglas establecidas, y controla la temperatura en un lapso de 10 minutos aproximadamente.

Sabemos que, con el control actual de temperatura los granos de arroz se exponen a altas temperatura (+70°C) por un total de 180 min; a lo largo de los 360 min (6 hrs), que dura el proceso de secado del arroz; y es ahí donde se generan las grietas en el grano de arroz que luego forman parte de las pérdidas del lote total.

Como se puede apreciar en los datos anteriores, con el nuevo sistema actual de control, el grano de arroz solo quedará expuesto a altas temperaturas durante 10 min, que es lo que demora el sistema en controlar y llevar la temperatura a óptimas condiciones de secado. Por lo tanto:

10 min. → 60 min.

60 min. → 360 min.

60 min. ≡ 1 hr.

Como podemos apreciar, reduciremos el tiempo de exposición del grano de arroz a altas temperaturas a 60 min, para así disminuir las grietas generadas en dichos granos.

Según la Tabla 4, se obtienen aproximadamente 501 sacos de granos de arroz listos para el proceso de pilado, con los que irán directos a la venta, y ser comercializados. Del total de sacos obtenidos, el 12% conforman las pérdidas de por grietas en el grano de arroz; dicho porcentaje equivale a sacos.

8.2 Evaluación Económica

Para disminuir las pérdidas del molino SUDAMERICA, se propone invertir en un sistema de control de temperatura, el cual nos permitirá supervisar y cuidar el quebrado del arroz, que representan las pérdidas del proceso de secado de arroz. Por ello se muestra a continuación el presupuesto inicial que la empresa deberá invertir para la implementación del nuevo sistema de control.

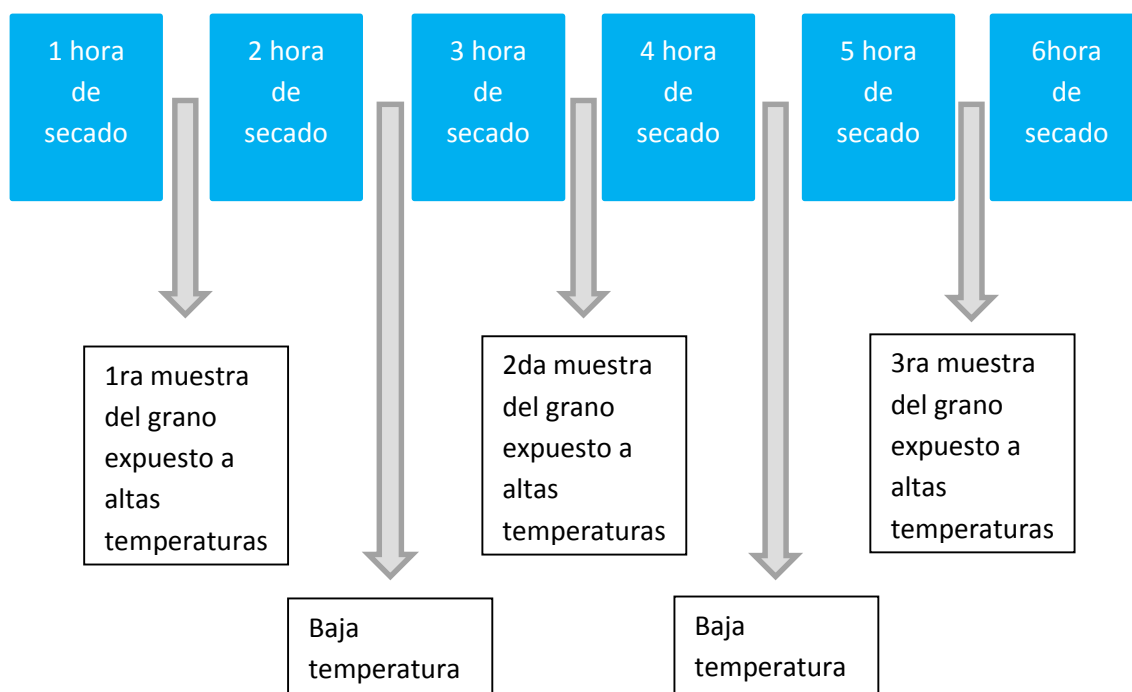
Tabla 3: Análisis del costo de la implementación del sistema de control

Costo de la implementación del sistema de control			
Sistema de control			
	Cantidad	Costo (S/.)	Total (S/.)
PLC CompactLogix 5730 L2	1	S/4,500.00	S/21,950.00
PT-100	1	S/250.00	
GM 640	1	S/500.00	
ADAPTADOR	1	S/200.00	
SERVOMOTOR	1	S/3,000.00	
Costo de la instalacion del sistema de control	1	S/10,000.00	
Costo por mantenimiento a los componentes del sistema	1	S/3,500.00	

Fuente: [Elaboración Propia]

El sistema de control existente, dentro del molino SUDAMERICA; como se explicó en el apartado 3, consiste en tomar una muestra cada 1 hora, una vez comenzado el proceso de secado; de esta manera, hay mucho tiempo en el cual, el grano de arroz se expone a altas temperaturas; el cual es aproximadamente de 60 minutos, hasta la siguiente muestra, en la cual el operario toma una nueva muestra y puede visualizar el excesivo calor presente en el proceso de secado.

Ilustración 49: Diagrama de flujo sobre la toma de muestras durante el proceso de secado de arroz (sistema de control actual del molino SUDAMERICA).



Fuente: [Elaboración Propia]

Tomando en cuenta el peor de los escenarios existentes, el grano de arroz puede estar expuesto a un excesivo calor, aproximadamente 180 minutos.

Tabla 4: Sacos de arroz obtenidos de un lote de 30 toneladas, luego del proceso de secado.

Meses	Cantidad (sacos de arroz)
1	501
2	498
3	499
4	505
5	502
6	497
7	501
8	502
9	501
10	498
11	503
12	505
Promedio	501

Fuente: [Elaboración Propia]

De acuerdo al control realizado al molino SUDAMERICA durante el año 2018, el molino obtiene aproximadamente 501 sacos de arroz mensualmente, de un lote de 30 toneladas de arroz que ingresan para el proceso de secado.

Según el molino SUDAMERICA los sacos obtenidos luego del proceso de secado, son llevados directamente al proceso de pilado, pues los sacos de arroz secos, no son comercializados, por ende, se llevan al proceso de pilado, para su respectivo empaque para la venta; y es aquí donde se muestran los porcentajes de granos quebrados.

Tabla 5: Análisis del estado actual del molino SUDAMERICA.

Pérdidas del molino SUDAMERICA, para un lote de 30 toneladas				
Sistema actual de Control				
	Ingresos		Pérdidas	
	valores unitarios	Total	valores unitarios	Total
Sacos de arroz(grano selecto)	337	S/35,385.00	164	S/3,843.00
Costo del saco de arroz (und)	S/105.00		-	

Fuente: [Elaboración Propia]

Tabla 6: Tabla de pérdidas del estado actual del molino SUDAMERICA

MOLINO SUDAMERICA (LOTE DE 30 TONELADAS)			
Pérdidas - sistema de actual de control			
Producto	Sacos	Costo por unidad	Costo Total
descarte	4	S/38.00	S/152.00
arrocillo 3/4	13	S/35.00	S/455.00
arrocillo 1/2	58	S/30.00	S/1,740.00
Nielen	6	S/28.00	S/168.00
polvillo	83	S/16.00	S/1,328.00
TOTAL	164	S/147.00	S/3,843.00

Fuente: [Elaboración Propia]

Como se muestra en la Tabla 6, el molino obtiene una “pérdida” de S/. 594.30 soles, que en conjunto no representan pérdidas literalmente hablando, pues estas también son vendidas; pero pues con el nuevo sistema de control se pretende reducir dichos montos, para que formen parte de los sacos de granos de arroz selectos.

Obtención de las pérdidas en porcentajes, respecto al total de sacos como subproductos obtenidos de un lote de 30 toneladas, con el sistema actual de control de temperatura.

501 sacos de grano de arroz → 100 %

164 sacos de granos de arroz quebradizo → x %

$$x = \frac{164 \text{ sacos de granos de arroz} * 100\%}{501 \text{ sacos de granos de arroz}} = 32.73\%$$

Del total de sacos obtenidos como subproducto, solo el arroz de descarte, arrocillo $\frac{3}{4}$ y arrocillo $\frac{1}{2}$ son generados por el exceso de calor proporcionado en el proceso de secado, por lo tanto, las verdaderas “pérdidas” son 75 sacos, que en total son S/. 2 347.00 soles en subproducto generado por el quebrado de arroz. Pues el polvillo y el nielen, salen siempre como sub-producto.

Teniendo en cuenta las pérdidas que se generan con el sistema de control actual del molino SUDAMERICA, se propone implementar el sistema de control de temperatura utilizando lógica difusa, para disminuir las pérdidas generadas por el sistema de control actual.

Tomando en cuenta que el grano de arroz se expone a 180 minutos, durante los cuales de generan las grietas en el grano de arroz, se deduce que:

180 min. → 75 sacos de granos de arroz quebradizos

1 min. → X sacos de granos de arroz quebradizos

$$X = \frac{1 \text{ min.} * 75 \text{ sacos de granos de arroz quebradizo}}{180 \text{ min.}}$$

X = 0.4167 sacos de granos de arroz quebradizo

Por cada minuto expuesto a altas temperaturas se obtienen 0.4167 sacos de granos de arroz quebradizo.

Como mencionamos en el apartado **8.1** con el nuevo sistema de control de temperatura, que utilizará lógica difusa, la exposición a altas temperaturas solo será de 60 min. Por lo tanto:

0.4167 sacos de granos de arroz quebradizo → 1 min.

X sacos de granos de aroz quebradizo → 60 min.

$$X = \frac{60 \text{ min.} * 0.4167 \text{ sacos de granos de arroz quebradizo}}{1 \text{ min.}}$$

X = 25.002 ≅ 25 sacos de granos de arroz quebradizo

Tomando en cuenta los 75 sacos de granos de arroz quebradizo como un 100% de pérdidas, respecto las nuevas pérdidas posibles que se pueden generar, obtenemos que:

$$\begin{aligned}
 &75 \text{ sacos de granos de arroz quebradizo} \rightarrow 100 \% \\
 &25 \text{ sacos de granos de arroz quebradizo} \rightarrow X \\
 X &= \frac{25 \text{ sacos de granos de arroz quebradizo} * 100 \%}{75 \text{ sacos de granos de arroz quebradizo}} \\
 X &= 33.33 \%
 \end{aligned}$$

Por lo tanto, se obtendría un 66.67 % de disminución en las pérdidas, con el nuevo sistema de control que utiliza lógica difusa; a comparación del sistema actual de control del molino SUDAMERICA.

A continuación, se presenta una tabla que nos muestra aproximadamente la disminución en las pérdidas del proceso de secado de arroz.

Tabla 7: Análisis de las pérdidas, luego de utilizar Lógica difusa en el sistema de control del proceso secado de arroz.

Pérdidas del molino SUDAMERICA, para un lote de 30 toneladas.			
Sistema de control, utilizando lógica difusa			
Ingresos		Pérdidas	
valores unitarios	Total	valores unitarios	Total
399	S/41,895.00	102	S/1,914.00
S/105.00		-	

Fuente: [Elaboración Propia]

Como podemos apreciar, con el nuevo sistema de control de temperatura, el cual utilizará lógica difusa; se incrementan los ingresos significativamente. Podemos apreciar dicho incremento con los siguientes cálculos:

$$S/.41\ 895.00 - S/.35\ 385.00 = S/.6\ 510$$

Como podemos apreciar, al reducir los sacos de granos de arroz quebradizos, estos pasan directamente a formar parte de granos selectos. Generando así un ingreso de S/. 6 510.00 soles por cada lote de 30 toneladas que ingresa al proceso de secado de arroz.

Con los datos de la Tabla 7 calcularemos las pérdidas en porcentajes, con respecto a las pérdidas anteriores de la Tabla 5.

$$S/.3\ 843.00 \rightarrow 100 \%$$

$$S/.1\ 914.00 \rightarrow x \%$$

$$x = \frac{S/.1\ 914.00 * 100\%}{S/.3\ 843.00} = 49.80 \%$$

Como podemos apreciar, lograríamos reducir las pérdidas aproximadamente un 50.20% con respecto a las pérdidas actuales del molino.

Tomando en cuenta los datos obtenidos, podemos calcular nuestro periodo de recuperación.

Tabla 8: Periodo de recuperación de la inversión total realizada, para el nuevo sistema de control.

MESES	GANACIA	PERIODO DE RECUPERACIÓN
0	-10450	-21950
1	6510	-15440
2	6510	-8930
3	6510	-2420
4	6510	4090
5	6510	10600
6	6510	17110
7	6510	23620
8	6510	30130
9	6510	36640
10	6510	43150
11	6510	49660
12	6510	56170
PERIODO DE RECUPERACIÓN		3.371735791

Fuente: [Elaboración Propia]

De acuerdo a la Tabla 7, la inversión inicial para este proyecto, se recuperará en 1,61 meses.

Utilizando los datos de la inversión necesaria, para la implementación del nuevo sistema de control, mostrados en la tabla 3; y con los datos del ahorro que proporcionará en forma de ganancia, dicho sistema de control, se analizará el VAN y TIR de la inversión.

Para el cálculo de VAN y TIR, utilizaremos las ganancias mensuales que se generarán, de acuerdo a los datos obtenidos de la Tabla 7. Es decir:

$$S/.6\ 510.00 \rightarrow 1mes$$

Tabla 9: VAN y TIR del proyecto

	TIPO DE INTERES	0%	1%	2%	3%	4%	10%	14%	20%	19%	22%
	VAN	767600.00	720796.16	677722.87	638030.09	601404.69	432211.84	354200.81	270143.06	281147.22	250411.06
	TIR	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
		RENTABLE	RENTABLE	RENTABLE	RENTABLE	RENTABLE	RENTABLE	RENTABLE	RENTABLE	RENTABLE	RENTABLE
DATOS		TIPO DE INTERES									
PERIODOS	FLUJO DE CAJA	0%	1%	5%	9%	10%	14%	20%	25%	30%	35%
0	-21950	-21950.00	-21950.00	-21950.00	-21950.00	-21950.00	-21950.00	-21950.00	-21950.00	-21950.00	-21950.00
1	-15440	-15440.00	-15287.13	-14704.76	-14165.14	-14036.36	-13543.86	-12866.67	-12352.00	-11876.92	-11437.04
2	-8930	-8930.00	-8754.04	-8099.77	-7516.20	-7380.17	-6871.35	-6201.39	-5715.20	-5284.02	-4899.86
3	-2420	-2420.00	-2348.83	-2090.49	-1868.68	-1818.18	-1633.43	-1400.46	-1239.04	-1101.50	-983.59
4	4090	4090.00	3930.41	3364.85	2897.46	2793.53	2421.61	1972.42	1675.26	1432.02	1231.37
5	10600	10600.00	10085.54	8305.38	6889.27	6581.77	5505.31	4259.90	3473.41	2854.89	2363.94
6	17110	17110.00	16118.39	12767.75	10202.13	9658.15	7795.09	5730.10	4485.28	3544.78	2826.49
7	23620	23620.00	22030.80	16786.29	12920.95	12120.79	9439.43	6591.91	4953.47	3764.23	2890.30
8	30130	30130.00	27824.55	20393.17	15121.23	14055.87	10562.34	7007.28	5054.98	3693.62	2731.05
9	36640	36640.00	33501.41	23618.47	16870.07	15538.94	11267.09	7101.08	4917.74	3455.14	2460.09
10	43150	43150.00	39063.13	26490.36	18227.03	16636.19	11639.45	6968.97	4633.20	3130.02	2146.07
11	49660	49660.00	44511.44	29035.17	19244.88	17405.53	11750.42	6683.64	4265.76	2770.96	1829.51
12	56170	56170.00	49848.02	31277.56	19970.39	17897.49	11658.59	6299.84	3859.97	2410.93	1532.85
13	62680	62680.00	55074.57	33240.54	20444.88	18156.16	11412.11	5858.32	3445.87	2069.50	1267.04
14	69190	69190.00	60192.74	34945.65	20704.86	18219.89	11050.33	5388.97	3043.01	1757.26	1036.03
15	75700	75700.00	65204.16	36412.99	20782.53	18121.98	10605.30	4913.34	2663.46	1478.92	839.63
16	82210	82210.00	70110.44	37661.35	20706.21	17891.29	10102.92	4446.57	2314.01	1235.47	675.44
17	88720	88720.00	74913.17	38708.24	20500.81	17552.78	9563.99	3998.90	1997.80	1025.62	539.94
18	95230	95230.00	79613.93	39570.03	20188.16	17127.95	9005.06	3576.94	1715.51	846.82	429.31
19	101740	101740.00	84214.26	40261.97	19787.38	16635.30	8439.17	3184.55	1466.23	695.93	339.74
20	108250	108250.00	88715.69	40798.29	19315.14	16090.67	7876.46	2823.60	1248.04	569.59	267.76
21	114760	114760.00	93119.73	41192.23	18785.99	15507.58	7324.68	2494.50	1058.47	464.49	210.27
22	121270	121270.00	97427.86	41456.13	18212.54	14897.53	6789.64	2196.68	894.81	377.57	164.59
23	127780	127780.00	101641.55	41601.50	17605.71	14270.24	6275.54	1928.83	754.28	306.03	128.47
24	134290	134290.00	105762.26	41639.02	16974.92	13633.87	5785.32	1689.25	634.17	247.40	100.01
RESULTADOS	VAN	1404250.00	1174564.03	592681.93	310852.52	265608.79	142271.21	52697.05	17298.48	-2081.24	-13260.59
	TIR	29.31%	29%	29%	29.31%	29%	29%	29%	29%		
		RENTABLE	RENTABLE	RENTABLE	RENTABLE	RENTABLE	RENTABLE	RENTABLE	RENTABLE	NO RENTABLE	NO RENTABLE

Fuente: [Elaboración propia]

Como podemos apreciar en la Tabla 9, la empresa recuperará la inversión, del nuevo sistema de control, aproximadamente en el primer año de inversión, Con un VAN de S/. 145 790.00 soles, y con un TIR del 62.30 por ciento, demostrando así que el proyecto es rentable. Cabe resaltar que el cálculo del VAN y TIR se ha realizado a 2 años.

8.3 Trabajo futuro o aplicaciones

- Se recomienda hacer un análisis de la misma índole, pero esta vez, controlando no solo la temperatura, si no también, la humedad, pues en el trabajo realizado, se controló la temperatura, tomando como parámetro guía, la humedad, pero el control se realizó, directamente con la temperatura, más no con la humedad.
- Otra implementación que se puede realizar, es añadir un actuador más, pues se podría controlar aún más el sistema, si de la misma manera que controlamos la distribución del calor, a lo largo de la temperatura, también, controlaremos la cantidad de combustible que ingresa al horno, para así disminuir, mucho más rápido los incrementos de temperatura que puedan surgir.
- Siguiendo con la implementación de un actuador más, también se sugiere añadir más parámetros de control, realizando así un control mucho más preciso, y versátil.

IX. CONCLUSIONES

- Luego de realizar el análisis correspondiente, en el molino SUDAMERICA; se diagnosticó que el porcentaje de quebrado de arroz, debido al excesivo calor presente durante el proceso de secado de arroz, es de entre el 5 al 6 % del lote total de ingreso para el proceso. Representando así una pérdida considerable para la empresa.
- Tras conocer el estado situacional del molino SUDAMERICA, se establecieron los parámetros de diseño, para el sistema de control de temperatura de proceso de secado de arroz del molino.
- Luego de conocer los parámetros de diseño del sistema de control, se realizó la programación correspondiente, utilizando la lógica difusa, con sus respectivas reglas de control; para la programación del algoritmo de control, se utilizó el comando “fuzzy logic”, que nos proporciona el programa MATLAB, herramienta que nos permite programar de forma sintetizada la reglas de control; a la par se realizó el código de programación, directamente en MATLAB, validando así los resultados obtenidos. Luego de realizar la programación, a través de la herramienta SIMULINK, se simularon diferentes situaciones en las que la temperatura del grano era, deficiente, óptima, y demasiado elevada; para mostrar que el programa respondió en forma correcta frente a diferentes situaciones.
- Una vez realizada la programación y simulación del sistema de control, utilizando lógica difusa; se seleccionaron los componentes y dispositivos, que permitirán controlar el proceso de control, utilizando la programación realizada.
- Por último se realizó la evaluación económica del proyecto, considerando el coste de la instalación de los equipos y la disminución en las pérdidas que el nuevo sistema de control ofrece.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bibliografía

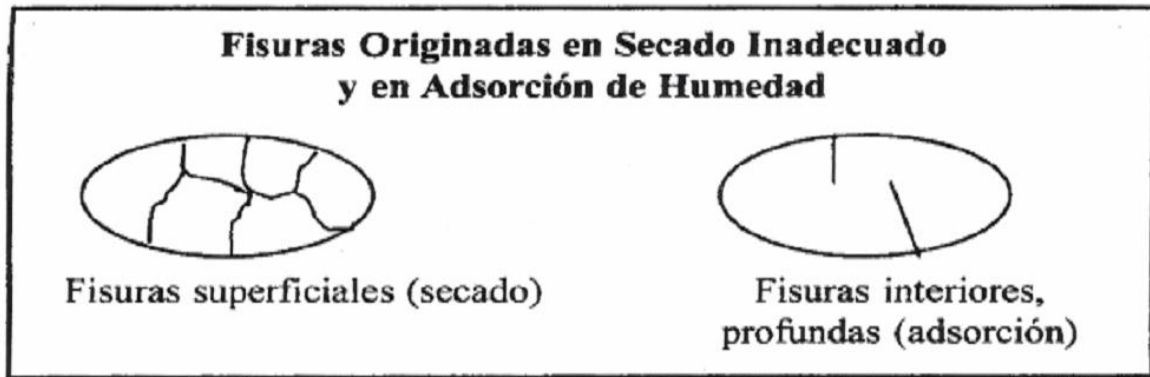
- [1] R. G. L. Paz, «Diseño del Sistema de Control de Temperatura de un Invernadero,» Lima, 2016.
- [2] P. p. Cruz, INTELIGENCIA ARTIFICIAL CON APLICACIONES A LA INGENIERÍA, Mexico: Alfaomega, 2010.
- [3] J. G. Gómez, «Conjuntos y Sistemas Difusos,» E.T.S.I. Informática, Málaga.
- [4] S. Martinez, «Diseño simplificado de controladores fuzzy MIMO con estructuras SISO,» Universidad Nacional de Jujuy, Argentina.
- [5] R. C. Dorf, Sistemas de Control Moderno, Madrid: Pearson Educacion, 2005.
- [6] S. K. R, «Control Mediante Lógica Difusa».
- [7] M. A. P. Cisneros, «SISTEMAS DE LÓGICA DIFUSA,» Universidad de Guadalajara, Guadalajara.
- [8] D. G. V. M. Castaño, «LA LÓGICA DIFUSA EN INGENIERIA: PRINCIPIOS Y APLICACIONES,» Universidad Autónoma de Mexico, Querétaro, 2006.
- [9] R. B. GÓMEZ, «DISEÑO DE SISTEMA AUTOMÁTICO DE CONTROL Y MONITORES DE TEMPERATURA EN EL PROCESO DE SECADO DE ARROZ,» Universidad de Salle, Bogotá DC, 2005.
- [10] C. A. Smith, CONTROL AUTOMÁTICO DE PROCESOS, TEORÍA Y PRÁCTICA, Mexico: Limusa, S.A., 1991.
- [11] J. I. García, «Modelamiento, Calibración y control difuso para el proceso de secado de arroz de arveja usando lecho fluidizado,» *El hombre y la Maquina*, nº 46, p. 9, 2015.
- [12] A. B. M. d. Brio, «Redes Neuronales y sistemas difusos,» RA-MA, 2002.
- [13] I. L. A. L. ING. ARQUÍMIDES JESÚS MUÑOZ ZAMBRANO, «Sistema Automatizado de Secado de Arroz,» Universidad Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, 2011.
- [14] «ROCKWELL AUTOMATION,» [En línea]. Available: https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/pp/1769-pp010_-es-e.pdf. [Último acceso: 16 Octubre 2017].

- [15] «ROCKWELL AUTOMATION,» [En línea]. Available:
https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/td/knx-td001_-en-p.pdf. [Último acceso: 14 Octubre 2017].
- [16] «SISTEMAS MECÁNICOS GAES,» [En línea]. Available:
http://www.grupogaes.com/media/plg_vmcustom_files/cfakepathgaeshiwinservomotor es0_101_0.pdf. [Último acceso: 2017 Octubre 28].
- [17] «Tc Direct,» [En línea]. Available:
https://www.tcdirect.es/Default.aspx?level=2&department_id=230/15. [Último acceso: 20 Octubre 2017].
- [18] «Google imagenes,» [En línea]. Available:
https://www.google.com.pe/search?q=cable+ethernet&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwihwZSXyMbAhXD1lkKHc1mDMgQ_AUIDigB&biw=2133&bih=1041&dpr=0.9#imgrc=_CeQjqbX0lsZJM: [Último acceso: 20 Agosto 2018].
- [19] «Google imágenes,» [En línea]. Available:
https://www.google.com.pe/search?biw=2133&bih=1041&tbn=isch&sa=1&ei=GXGuXI69Ksnn5gKApqHQAQ&q=cable+10+awg&oq=cable+10+awg&gs_l=img.3..015j0i7i30j0i30j0i5i30i3.9294.11625..11795...0.0..0.145.556.0j4.....1....1.gws-wiz-img.....0i67j0i10j0i7i5i30.h0MdbDl. [Último acceso: 20 Agosto 2018].
- [20] «dastecrl,» [En línea]. Available:
https://www.dastecsl.com.ar/uploads/productos/imko/trime-gw_humedad-en-granos-y-semillas_imko.pdf?v146. [Último acceso: 22 Octubre 2017].
- [21] «Cálculo del coeficiente de transmisión de calor K de cerramientos,» de *Condiciones térmicas en los edificios*, NBE CT-79, p. 15.
- [22] Superbrix, *Secadora de Torre para Granos*, Barranquilla: Superbrix.
- [23] M. G. R. B. B. Ing. María Luisa Pinto Salamanca, «Determinación de los parámetros para el servomotor NXT Lego Mindstoms con Técnicas de Identificación de Sistemas».
- [24] «Consumer,» 22 Junio 2008. [En línea]. Available:
<http://frutas.consumer.es/sandía/propiedades>.
- [25] «Rockwell Automation,» [En línea]. Available:
https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/sg/1769-sg001_-en-p.pdf. [Último acceso: 25 Octubre 2017].

- [26] A. Pinillos, «Slideshare,» 9 Septiembre 2015. [En línea]. Available: <https://www.slideshare.net/cormoran/secadora-de-granos-suncue-modelo-phs320-maz-trigo-arroz>. [Último acceso: 10 Octubre 2017].
- [27] «VIGNOLA,» [En línea]. Available: <http://www.vignola.cl/assets/plc-siemens-s7-300.pdf>. [Último acceso: 16 Octubre 2017].

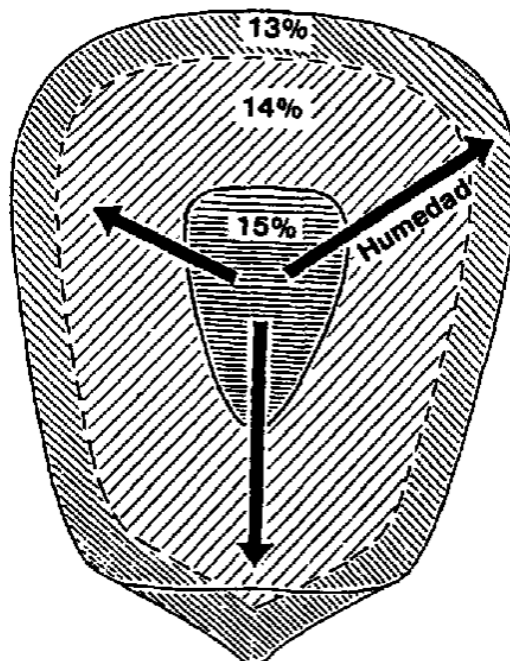
XI. ANEXOS

Anexo 1: Fracturas y fisuras del grano de arroz



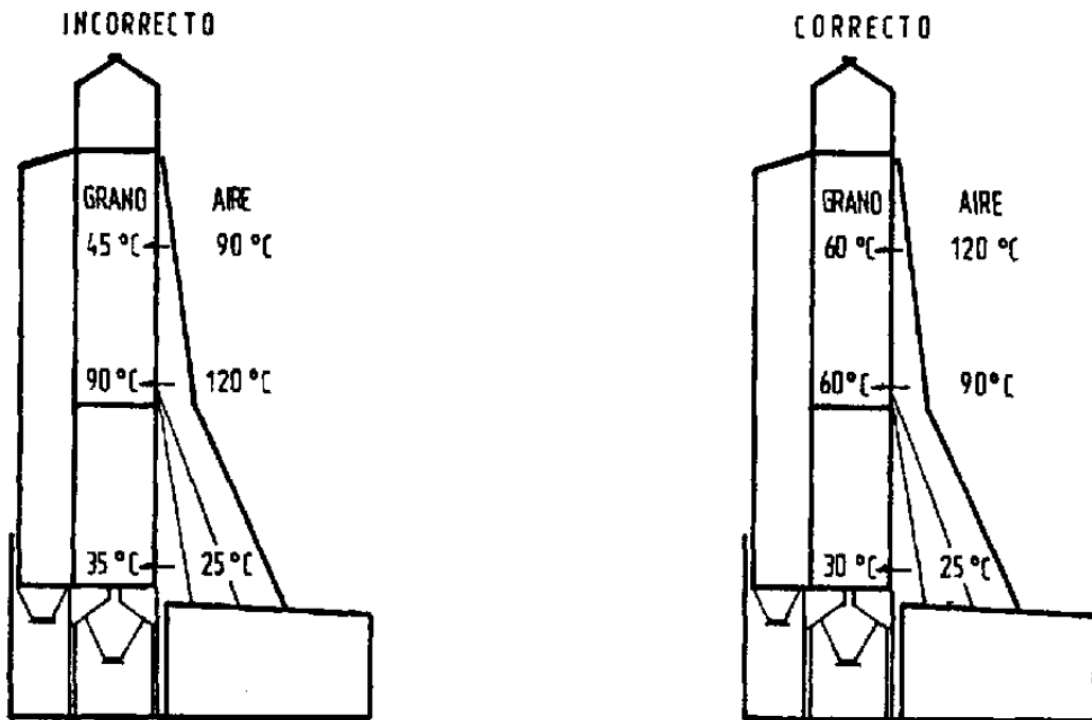
Fuente: [7]

Anexo 2: Proceso de pérdida de humedad del grano de arroz, durante el proceso de secado



Fuente: [24]

Anexo 3: Gradientes de temperatura de las torres de secado

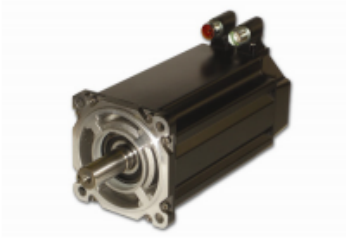


Fuente: [24]

Anexo 4: Ficha técnica del servomotor

Kinetix Rotary Motion Specifications

MP-Series Low Inertia Motors



MP-Series (Bulletin MPL) low-inertia high-output brushless servo motors use innovative design characteristics to reduce motor size while delivering significantly higher torque. These compact and highly-dynamic brushless servo motors are designed by Allen-Bradley to meet the demanding requirements of high-performance motion systems.

MP-Series Low Inertia Motor Features

Attribute	Value
Main characteristics	<ul style="list-style-type: none"> • High torque to size ratio • Smart Motor Technology • Hiperface (Stegmann) encoder protocol • Low rotor inertia
Features	<ul style="list-style-type: none"> • 200V and 400V-class windings • Single-turn and multi-turn absolute feedback • Incremental and resolver feedback options • High-energy rare-earth magnets • Shaft-end threaded hole • DIN connectors, rotates 180° • Standard IEC 72-1 mounting dimensions
Motor type	Brushless AC synchronous servo motors
Environmental rating	<ul style="list-style-type: none"> • IP50 minimum, without shaft seal (standard). • IP66 with optional shaft seal and use of environmentally sealed cable connectors.
Certifications	Bulletin MPL rotary motors are UL Recognized components to applicable UL and CSA standards. CE marked for all applicable directives. Refer to http://ab.rockwellautomation.com for more information.
Continuous stall torque	0.26...163 N-m (2.3...1440 lb-in)
Peak stall torque	0.74...278 N-m (6.6...2460 lb-in)
Rated speed	Up to 8000 rpm
Motor rated output	0.16...18.6 kW
Compatible servo drives	<ul style="list-style-type: none"> • Kinetix 5500⁽¹⁾ • Kinetix 5700⁽²⁾ • Kinetix 6200/6500 • Kinetix 6000 • Kinetix 300/350 • Kinetix 2000 • Kinetix 7000 • Ultra3000
Typical applications	<ul style="list-style-type: none"> • Packaging • Converting • Material handling • Electronic assembly • Automotive

(1) Requires the 2198-H2DCK (series B or later) Hiperface-to-DSL feedback converter kit.

(2) Requires the 2198-K57CK-D15M universal feedback converter kit.

Fuente: [15]

Anexo 5: Datos del Servo-Motor

Kinetix Rotary Motion Specifications

Technical Specifications - MP-Series Low Inertia Motors

MP-Series Low Inertia Motor (200V-class) Performance Specifications

Motor Cat. No.	Rated Speed rpm	Speed, max rpm	Continuous Stall Torque N·m (lb·in)	Peak Stall Torque N·m (lb·in)	Motor Rated Output kW	Rotor Inertia ⁽¹⁾ kg·m ² (lb·in·s ²)	Motor Weight, approx ⁽¹⁾ kg (lb)
MPL-A1510V	8000	8000	0.26 (2.3)	0.77 (6.8)	0.16	0.000074 (0.000065)	1.0 (2.2)
MPL-A1520U	7000	7000	0.49 (4.3)	1.58 (14)	0.27	0.000013 (0.00012)	1.2 (2.6)
MPL-A1530U	7000	7000	0.90 (8.0)	2.80 (25)	0.39	0.000023 (0.00020)	1.6 (3.4)
MPL-A210V	8000	8000	0.55 (4.9)	1.50 (13.5)	0.37	0.000015 (0.00013)	1.4 (3.1)
MPL-A220T	6000	6000	1.61 (14.2)	4.74 (42)	0.62	0.000039 (0.00035)	2.0 (4.4)
MPL-A230P	5000	5000	2.10 (18.6)	8.20 (73)	0.86	0.000063 (0.00056)	2.6 (5.7)
MPL-A310P	4750	5000	1.58 (14)	3.61 (32)	0.73	0.000044 (0.00039)	2.7 (5.8)
MPL-A310F	3000	3000	1.58 (14)	3.61 (32)	0.46		
MPL-A320P	4750	5000	3.05 (27)	7.91 (70)	1.3	0.000078 (0.00069)	3.7 (8.0)
MPL-A320H	3350	3500	3.05 (27)	7.91 (70)	1.0		
MPL-A330P	5000	5000	4.18 (37)	11.1 (98)	1.8	0.00012 (0.0010)	4.6 (10)
MPL-A420P	5000	5000	4.74 (42)	10.2 (90)	2.0	0.00026 (0.0023)	4.3 (9.4)
MPL-A430P	5000	5000	5.99 (53)	19.8 (175)	2.2	0.00038 (0.0033)	5.5 (12)
MPL-A430H	3500	3500	6.21 (55)	19.8 (175)	1.8		
MPL-A4530K	4000	4000	8.13 (72)	20.3 (180)	2.5	0.00040 (0.0036)	7.3 (16)
MPL-A4530F	2800	2800	8.36 (74)	20.3 (180)	1.9		
MPL-A4540C	1500	1500	10.2 (90)	27.1 (240)	1.5	0.00052 (0.0046)	8.6 (19)
MPL-A4540F	3000	3000	10.2 (90)	27.1 (240)	2.6		
MPL-A4560F	3000	3000	14.1 (125)	34.4 (305)	3.0	0.00078 (0.0067)	11.82 (26)
MPL-A520K	3500	4000	10.7 (95)	24.3 (215)	3.5	0.000783 (0.0069)	9.8 (21.5)
MPL-A540K	4000	4000	19.4 (172)	48.6 (430)	5.5	0.00147 (0.013)	15.0 (33)
MPL-A560F	3000	3000	26.8 (237)	61.0 (540)	5.3	0.00213 (0.019)	20.2 (44.5)

(1) Refer to MP-Series Low Inertia Motor Brake Specifications on [page 80](#) for brake rotor inertia and brake motor weight.

Fuente: [15]

Anexo 6: Ficha técnica del driver Kinetix 6000

Explicación de números de catálogo

Kinetix 6000 Los números de catálogo y la descripción de variadores (Boletín 2094) figuran en estas tablas.

IMPORTANTE En toda esta publicación, cuando el número de catálogo de un módulo IAM o AM está seguido por -x, por ejemplo 2094-BMP5-x, la variable (x) indica que el módulo variador puede o no incluir la función de desconexión de par segura.

Tabla 3 - Números de catálogo de variadores Kinetix 6000

Módulos de eje integrados (230 V)	N.º de cat. (con la función de desconexión de par segura)	N.º de cat. (sin la función de desconexión de par segura)
Kinetix 6000, IAM, 200 V, convertidor de 3 kW, inversor de 5 A	2094-AC05-MP5-S	2094-AC05-MP5
Kinetix 6000, IAM, 200 V, convertidor de 3 kW, inversor de 9 A	2094-AC05-M01-S	2094-AC05-M01
Kinetix 6000, IAM, 200 V, convertidor de 6 kW, inversor de 15 A	2094-AC09-M02-S	2094-AC09-M02
Kinetix 6000, IAM, 200 V, convertidor de 11 kW, inversor de 24 A	2094-AC16-M03-S	2094-AC16-M03
Kinetix 6000, IAM, 200 V, convertidor de 23 kW, inversor de 49 A	2094-AC32-M05-S	2094-AC32-M05
Módulos de eje integrado (460 V)		
Kinetix 6000, IAM, 400 V, convertidor de 6 kW, inversor de 4 A	2094-BC01-MP5-S ⁽¹⁾	2094-BC01-MP5
Kinetix 6000, IAM, 400 V, convertidor de 6 kW, inversor de 9 A	2094-BC01-M01-S ⁽¹⁾	2094-BC01-M01
Kinetix 6000, IAM, 400 V, convertidor de 15 kW, inversor de 15 A	2094-BC02-M02-S ⁽¹⁾	2094-BC02-M02
Kinetix 6000, IAM, 400 V, convertidor de 28 kW, inversor de 30 A	2094-BC04-M03-S ⁽¹⁾	2094-BC04-M03
Kinetix 6000, IAM, 400 V, convertidor de 45 kW, inversor de 49 A	2094-BC07-M05-S ⁽²⁾	2094-BC07-M05
Módulos de eje (230 V)		
Kinetix 6000, AM, 200 V, 5 A	2094-AMP5-S	2094-AMP5
Kinetix 6000, AM, 200 V, 9 A	2094-AM01-S	2094-AM01
Kinetix 6000, AM, 200 V, 15 A	2094-AM02-S	2094-AM02
Kinetix 6000, AM, 200 V, 24 A	2094-AM03-S	2094-AM03
Kinetix 6000, AM, 200 V, 49 A	2094-AM05-S	2094-AM05
Módulos de eje (460 V)		
Kinetix 6000, AM, 400 V, 4 A	2094-BMP5-S ⁽¹⁾	2094-BMP5
Kinetix 6000, AM, 400 V, 9 A	2094-BM01-S ⁽¹⁾	2094-BM01
Kinetix 6000, AM, 400 V, 15 A	2094-BM02-S ⁽¹⁾	2094-BM02
Kinetix 6000, AM, 400 V, 30 A	2094-BM03-S ⁽¹⁾	2094-BM03
Kinetix 6000, AM, 400 V, 49 A	2094-BM05-S ⁽²⁾	2094-BM05

(1) Puede configurar la clasificación de corriente inversora pico de este módulo IAM o AM de 460 V (series B y C) en el 250% de la corriente inversora continua.

(2) Puede configurar la clasificación de corriente inversora pico de este módulo IAM o AM de 460 V (series B y C) en el 200% de la corriente inversora continua. Consulte [Especificaciones de mejoramiento de pico](#) en la [página 73](#), para obtener más información sobre el rendimiento del variador en el modo de pico mejorado.

Tabla 4 - Números de catálogo de componentes de variadores Kinetix 6000

Componentes de variador	N.º de cat.
Módulo de interfaz de alimentación integrado (IPIM), 400 V, 15 kW, 24 A (valor eficaz)	2094-SEPM-B24-S
Módulo de derivación Kinetix 6000, 200/400 V, 200 W	2094-BSP2
Módulo de tapa ciega Kinetix 6000, 200/400 V	2094-PRF

Fuente: [15]

Anexo 7: Ficha Técnica del PLC CompactLogix 5370 L2

Especificaciones del controlador CompactLogix 5370 L2

	1769-L24ER-QB1B	1769-L24ER-QBFC1B	1769-L27ERM-QBFC1B
Memoria de usuario	750 KB	750 KB	1 MB
Tareas del controlador	32	32	32
Programas por tarea	100	100	100
Control de movimiento integrado	--	--	Eje de lazo de posición de CIP Motion de 4 ejes
Tamaño de formato	115 mm de ancho x 118 mm de alto x 105 mm de profundidad	140 mm de ancho x 118 mm de alto x 105 mm de profundidad	
Homologaciones	cULH (Clase I División 2), KCC/UL (UL 508), ULH (Clase I y II, División 2 y Clase III, Divisiones 1 y 2)/ATEX, CE, C-Tick/homologación naval y GOST-R		
Módulos expansores locales	4	4	4
E/S incorporadas	16 entradas digitales 16 salidas digitales	16 entradas digitales/16 salidas digitales, 4 entradas analógicas universales, 2 salidas analógicas, 4 canales HSC	
Puntos de E/S de expansión locales	128	128	128
Adiciones de módulos de comunicación	DeviceNet con 1769-SDN o de otros fabricantes		
Tarjeta de memoria Flash	Clasificación industrial y tarjeta de memoria Secure Digital (SD) certificada (1 y 2 opciones); todos los controladores se envían con tarjeta de 1 GB		
Servovariadores (lazo CIP Motion)	--	--	4
Nodos IP de E/S Ethernet	8	8	16
Ejes virtuales	100	100	100
Retroalimentación solamente, par, velocidad, Vhz (variadores de CIP Motion máx.)	--	--	16
Ejes/ms	--	--	2
Compatibilidad con Kinematics	--	--	sí
Software/Firmware	RSLogix 5000 V20 y firmware RSLinx Classic V2.59 v20.1x o posterior		

Fuente: [14]

Anexo 8: Datos técnicos del PLC CompactLogix 5370 L2

CompactLogix Power Supplies

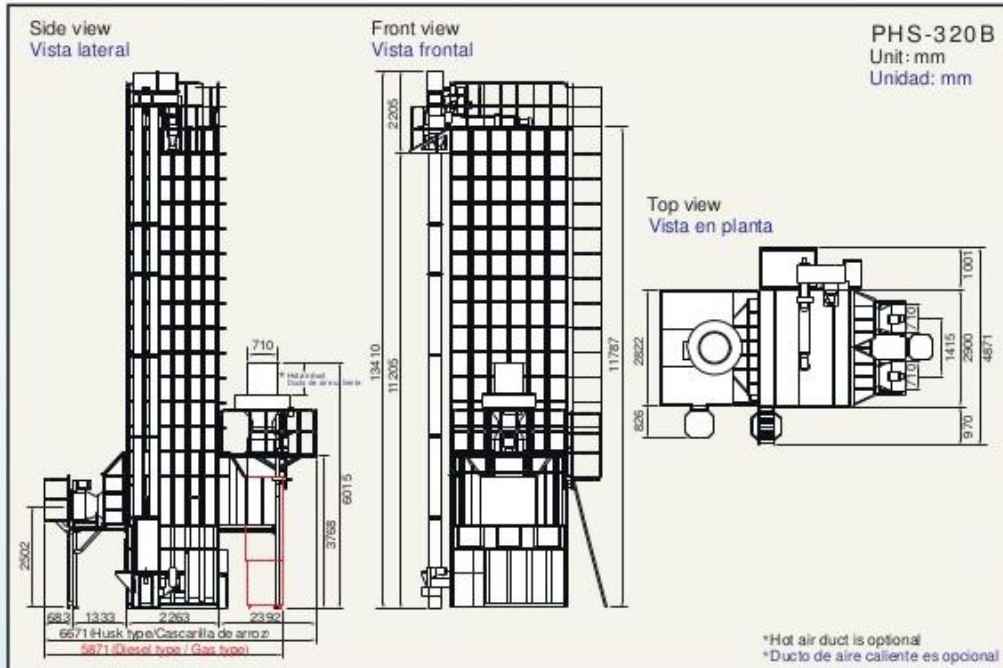
Select power supplies based on the controller and the number of additional I/O banks.

For a	Select
CompactLogix 5370 L3 controller	<ul style="list-style-type: none"> One 1769 power supply for the controller and local I/O modules. One 1769 power supply for each additional bank of I/O modules.
CompactLogix 5370 L2 controller	No power supply as it is integrated to the controller package.
CompactLogix 5370 L1 controller	No power supply as it is integrated to the controller package.
CompactLogix 5380 controller	None
Compact GuardLogix 5380 controller	<p>External power supplies must be used to transfer MOD power and SA power to the system. The external power supplies are connected to a MOD power RTB and an SA power RTB that is installed on the controller.</p> <p>IMPORTANT: When you use Compact GuardLogix 5380 controllers, you must use SELV/PELV-rated power supplies for MOD power and SA power. Additionally, you can only use DC SA power with Compact GuardLogix 5380 controllers.</p>
CompactLogix 5480	<p>None</p> <p>External power supplies must be used to transfer MOD power and SA power to the system. The external power supplies are connected to a MOD power RTB and an SA power RTB that is installed on the controller.</p> <p>External uninterruptible power supply can be used to provide power to the UPS RTB that is installed on the controller. You can connect an external uninterruptible power supply (UPS) to the UPS RTB to save the program if power is lost.</p> <p>IMPORTANT: The UPS lets the controller save the program but not the state of the program.</p> <p>The following RTBs ship with the controller:</p> <ul style="list-style-type: none"> 5069-RTB4-SCREW RTB - Connects MOD power 5069-RTB6-SCREW RTB - Connects SA power 5069-L4UPSRTB - Connects uninterruptible power <p>We recommend that you use 1606 switched mode uninterruptible power supplies from Rockwell Automation with a CompactLogix 5480 controller, for example, the 1606-XLS240-UPS power supply.</p>

Fuente: [25]

Anexo 9: Datos técnicos de la máquina secadora

Dimensions Dimensión



Specification Especificación

Item	Model	PHS-320	PHS-320G	PHS-320B
Handling Capacity Capacidad de secado (kgs)	Paddy 1 liter= 560g Arroz 1 litro = 560g Wheat 1 liter= 680g Trigo 1 litro = 680g Corn (Animal feed) 1 liter= 690g Maíz (Consumo Animal) 1 litro = 690g		7800 ~32000 9600 ~38800 9600 ~39400	
Dimension Dimensión LxWxH (mm)		5871 x 4871 x 13410		6671 x 4871 x 13410
Net weight(kg) Peso Neto (Kg)		6100		6115
Burner Quemador	Diesel burner Quemador Diesel	Gas burner Quemador Gas		Connected to SUNCUE Biomass Furnace (optional) Horno de Biomasa Suncue(Opcional)
	Type: Gun type, Double nozzle, Spray burner Tipo pistola, 2 Boquilla Ignition: High voltage automatic ignition Ignición automática de alto voltaje Max. Combustion : 45 Liter/hour Combustión Max : 45 Liter/hour Fuel Kerosene or Premium diesel Combustible Diesel o Keroseno	Thermal power Energía térmica 450kW m ³ /hr NG 45.3 LPG 17.6		Paddy, wheat (ambient temp +10~40°C) Arroz, Trigo (Temp. Ambiente +10~40°C) 560,000 ~390,000 Kcal/hr Corn ~Animal feed (ambient temp +65°C) 560 thousand kcal/hr Maíz(Consumo Animal) (Temp. Ambiente +65°C) 560,000 Kcal/hr
Power Potencia		13.65 kW (1.8 1/4 HP)		17 kW (22.6 HP)
Electricity Electricidad		3 Phase Fase , 220V/ 380V/ 415V/ 440V, 50/60Hz		
Function (Paddy) Función (Arroz)	Loading(Aprox.) Carga(Aprox.)	55 min		
	Unload(Aprox.) Descarga(Aprox.)	50 min		
	Drying Rate Tasa de Secado	0.5~1.5 %/hr		
Safety devices Dispositivo de seguridad		Thermo-over Relay,Air Pressure Switch,Full Load Buzzer, Timer,Control Fuse,Rotary valve sensor, Over-heat sensor, Burner flame sensor Relé Térmico,Interruptor de Presión de Aire, Alarma de Carga LlENA, Temporizador,Fusible,Sensor de Rotación, Sensor de Sobrecalentamiento,Sensor de Ullama		Thermo-over Relay,Air Pressure Switch, Full Load Buzzer,Timer,Control Fuse, Rotary valve sensor Relé Térmico,Interruptor de Presión de Aire, Alarma de Carga LlENA, Temporizador, Fusible,Sensor de Rotación

- ① The required thermal energy listed above is for reference only. Actual data will differ by grain variety, impurity rate, and drying condition.
 ① La energía térmica listada es solo para referencia. Los datos reales varían dependiendo de la variedad de los granos, impurezas y contenido de humedad.
 ② Drying rate listed is for reference only. Actual data will differ by ambient temperature, relative humidity, grain variety, hot air temperature, moisture rate before and after drying.
 ② La tasa de secado listada es solo para referencia. Los datos reales varían dependiendo de la temperatura de aire ambiente, humedad relativa, variedad de grano, temperatura de aire caliente y humedad contenida antes y después del secado.
 ③ Please apply low hot air temperature for drying paddy to prevent high breakage rate.
 ③ Favor de utilizar temperatura baja de aire caliente para secar arroz, para prevenir alto porcentaje de rotura.
 ④ Specifications and color are subject to change without prior notice.
 ④ Especificaciones y color están sujetas a cambios sin previo aviso.

SUNCUE

SUNCUE COMPANY LTD.
 No.398, Mueheng Rd., Wufeng Dist., Taichung City 413, Taiwan (R.O.C.)
 TEL: +886-4-2339-7171 FAX: +886-4-2330-2939
 www.suncue.com E-mail:suncue@ms10.hinet.net

AGENT

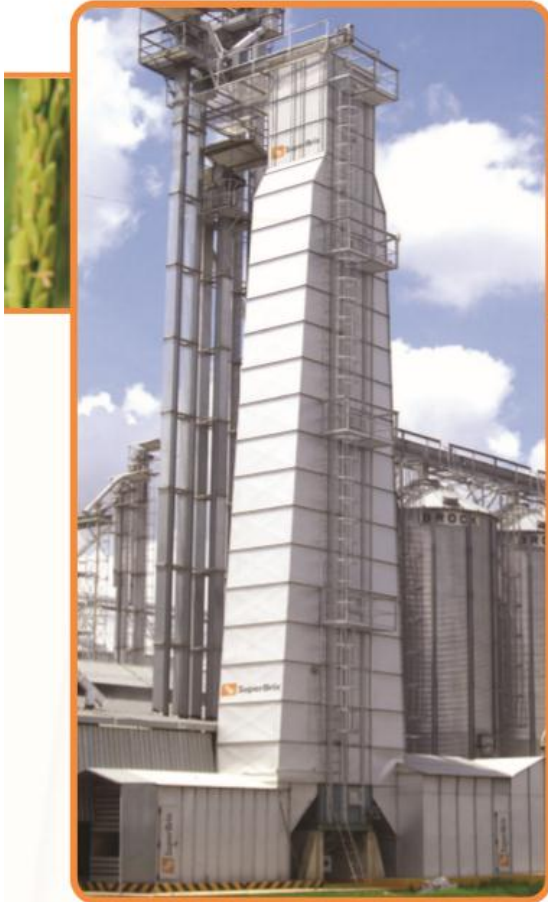
DP031304ES

Fuente: [22]

Anexo 10: Ficha técnica de la secadora

Secadora de Torre para Granos

Modelo SBT



Aplicaciones:

Arroz, maíz, trigo, soya, sorgo y otros granos y cereales húmedos.

La Secadora de Torre SuperBrix SBT está diseñada para secar el grano, proporcionándole una larga vida de almacenamiento y un proceso de molienda más eficiente.

Alta eficiencia de evaporación de humedad con un delicado manejo del grano!



Fuente: [26]

Anexo 11: Ficha técnica de la secadora

Secadora de Torre para Granos

Modelo SBT



MÁS CAPACIDAD

El nuevo ventilador centrífugo genera un alto volumen de aire de secado. Su construcción especial permite que todo el grano que entre en la secadora este en contacto con el aire de secado.

SECADO HOMOGÉNEO

El diseño LSU (Louisiana State University) asegura a todo el grano su secado en un mismo nivel de humedad permitiendo un rendimiento óptimo en los sucesivos procesos de molienda.

RECOLECCIÓN DE POLVO

El aire de secado es dirigido hacia el exterior de la planta lo que facilita la instalación de un sistema recolector de polvo.

INSTALACIÓN A LA INTEMPERIE

Los forros o cubiertas de aireación son fabricados en lámina galvanizada, lo que permite la instalación y operación a la intemperie bajo cualquier condición climática. Esta diseñada para trabajo pesado, esta secadora permite largos períodos de trabajo sin necesidad de mantenimiento.

FUENTES DE ENERGÍA

La secadora puede ser utilizada con diferentes fuentes de energía como quemador de gas, quemador de diesel, y quemador de cascarilla.

FÁCIL MANTENIMIENTO

La construcción de baffles o caballetes ayuda a evitar la acumulación de impurezas en el interior de la secadora. Sus puertas modulares de secado permiten un fácil acceso a su interior.

*Capacidad

	SBT 10	12.5 MTH		SBT 10	10 MTH
	SBT 15	18.5 MTH		SBT 15	15 MTH
	SBT 20	25 MTH		SBT 20	20 MTH
Maíz/Sorgo	SBT 25	31 MTH	Arroz	SBT 25	25 MTH
	SBT 30	37.5 MTH		SBT 30	30 MTH
	SBT 35	43.5 MTH		SBT 35	35 MTH
	SBT 40	50 MTH		SBT 40	40 MTH
	SBT 45	56 MTH		SBT 45	45 MTH

Dimensiones
H x L x A
(m)

SBT 10	2,30 x 9,58 x 8,69
SBT 15	2,30 x 10,18 x 11,90
SBT 20	2,30 x 10,18 x 13,98
SBT 25	2,30 x 14,45 x 17,22
SBT 30	2,30 x 14,45 x 18,30
SBT 35	2,30 x 14,45 x 20,46
SBT 40	2,30 x 14,45 x 22,62
SBT 45	2,30 x 14,45 x 24,88

Fuente: [26]

Anexo 12: Ficha técnica del sensor de humedad

Technical Data:	
Power supply:	10V..24V DC
Power:	2,5W
Measuring range:	
Probe GR, WS2, GS1, GS2	0..45 Gew.% gravimetric, based on wet mass
Probe WS3	0..70 Gew.% gravimetric, based on wet mass
Standard deviation:	range 0..20 Gew. %: ± 0,3 Gew. % range 20..45 Gew. %: ± 0,5 Gew. % range 45..70 Gew. %: ± 1,0 Gew. %
Repeating accuracy:	± 0,1%
Transducer temperature range:	-10°C..60°C advanced temperature range on request!
Probe temperature range:	0..127°C; short-time up to 150°C
Measurement interval:	0,5s with internal averaging from 5s...20min.
Interface:	IMP232 MICRONET and RS485
Analog output:	0/4...20mA = 0 .. 100% grav. moisture 0/4...20mA = 0 .. 100°C (max. working resistance: 500 Ω)
Probe cable-length:	standard 2,5m
Case:	weatherproof, robust aluminium diecast IP65
Probe body:	waterproof sealed PEEK IP68

Fuente: [20]