

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE  
CONTROL AUTOMÁTICO PARA EL PROCESO DE SECADO DE  
PASTAS EN LA EMPRESA AGROINDUSTRIA Y COMERCIO S.A.  
PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO INDUSTRIAL**

**AUTOR**

**BENITES CASTAÑEDA, RONY JOEL**

**Chiclayo, 9 de octubre de 2018**

**PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA EL PROCESO DE SECADO DE PASTAS EN LA EMPRESA AGROINDUSTRIA Y COMERCIO S.A. PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD**

PRESENTADA POR:

**BENITES CASTAÑEDA, RONY JOEL**

A la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el título de:

**INGENIERO INDUSTRIAL**

APROBADA POR:

---

Ing. Juarez Marchena, Edwin  
PRESIDENTE

---

Ing. Querevalú Morante, Alexander  
SECRETARIO

---

Ing. Sánchez Pérez, Joselito  
ASESOR

## **DEDICATORIA**

A Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por darme la fuerza necesaria para poder llegar hasta este punto de culminar mis estudios.

A mis padres, porque mediante sus consejos, sus valores, me impulsaron a ser una persona de bien.

A mi esposa por el apoyo incondicional, la comprensión en todo momento para no desmayar en este proyecto tan valioso de ser un profesional.

A mis educadores, por su gran apoyo y motivación constante para la culminación de nuestros estudios profesionales.

## **AGRADECIMIENTOS**

A los docentes de la escuela de Ingeniería Industrial USAT, por la excelente preparación brindada a lo largo de mi carrera universitaria.

Al Ing. Joselito Sánchez Pérez por su apoyo constante y por todos los conocimientos brindados.

A la empresa Agroindustria y Comercio S.A. por la oportunidad que me dio para realizar este proyecto.

## **PRESENTACIÓN**

Al pasar los años han surgido nuevos conocimientos, nuevas tecnologías, las cuales son aplicadas actualmente por diferentes empresas que quieren resaltar su competitividad en el mercado nacional o internacional.

La presente investigación lleva el nombre de **Propuesta de Implementación de Sistema de Control Automatizado en el Proceso de Secado de Pastas Alimenticias**, con el fin de aumentar la productividad en la empresa Agroindustria y Comercio S.A. utilizando equipos de control con variables estandarizadas a nivel de instrumentación, así como el uso de un controlador lógico programable PLC, que nos permitirá realizar secuencias cíclicas de ventilación, así como el control de procesos de temperatura y humedad, los cuales forman parte de mi formación profesional.

**Autor: Rony Joel Benites Castañeda**

## RESUMEN

El objetivo de este proyecto consiste en realizar la propuesta de Implementación de un Sistema de Control Automatizado por PLC en el proceso de secado de pastas alimenticias, con el fin de obtener un producto de calidad, que cumpla con las especificaciones técnicas establecidas

La principal dificultad a resolver es la cantidad de producto resquebrajado que existe en la producción de fideos a diario, así como la cantidad de producto devuelto por los clientes por mala presentación del mismo, disminuyendo la productividad en un 98.1 %. con un impacto económico anual de S/.74 592.00 .

Esta deficiencia se debe al control manual de secado existente, donde no existen datos de las variables físicas utilizadas, ya que solo manejan tiempos y experiencias de los trabajadores. Teniendo actualmente una productividad mano de obra 81,25 kg/horas hombre , producto de la deficiencia del proceso de secado, siendo la productividad requerida de 95.25 kg/horas. hombre

Para ello se aplicó la metodología de Acosta y Sandoval. (2003), el cual se realizó un diseño de sistema de control adoptando un modelo matemático de la planta (sistema a controlar) incluyendo el modelo de los dispositivos involucrados en el sistema, como son el controlador y los elementos de realimentación, controlando simultáneamente las variables internas y externas. A la vez monitorear y supervisar mediante la PC los históricos de las variables medidas (temperatura y humedad), lo cual tiene como resultado un control más preciso, que permite una mejor calidad del producto a un menor tiempo de secado. Teniendo en cuenta valores de un secador de baja temperatura los cuales trabajan con valores de 45°C - 50°C y un rango entre 40% a 80% humedad relativa (La Rosa, y otros 2014)

Para lo cual se realizó el diagnóstico actual del proceso de secado de pastas, identificando sus principales problemas, así mismo se determinó las variables de control a utilizar, para luego diseñar un sistema de control utilizando un PLC ( Controlador lógico Programable), lo cual nos permitió tener un control de las variables físicas, mediante un lazo cerrado, donde se propone mejorar en 99.8% la productividad de pastas alimenticias, finalizando con el análisis de costo/ beneficio de la propuesta, donde se realizará una inversión de S/. 69 653.00 la cual será financiada por un banco local con una tasa de interes referencial de 12% , obteniendo un VAN de S/. 246,200.36 y un TIR de 87% . Por lo que podemos decir que la propuesta es rentable, obteniendo que por cada Nuevo sol invertido, la empresa gana S/. 5,41 . El periodo de recuperación es de 1 año, 2 meses y 7 días.

**PALABRAS CLAVES:** Secado de pastas, secador, sistema de control, variables físicas (temperatura, humedad), Controlador lógico Programable (PLC)

## ABSTRACT AND KEYWORDS

The objective of this project is to carry out the proposal of Implementation of an Automated Control System by PLC in the process of drying pasta, in order to obtain a quality product that meets the established technical specifications

The main difficulty to solve is the amount of cracked product that exists in the production of noodles on a daily basis, as well as the amount of product returned by customers for poor presentation of it, decreasing productivity by 98.1%. with an annual economic impact of S /.74 592.00.

This deficiency is due to the manual control of existing drying, where there are no data on the physical variables used, since they only handle times and experiences of the workers. Currently having a labor productivity of 81.25 kg / man hours, product of the deficiency of the drying process, with the required productivity of 95.25 kg / hour. man

To do this, apply the methodology of Acosta and Sandoval. (2003), which performs a control system design that adopts a mathematical model of the plant (control system) including the model of the devices in the system, such as the controller and the feedback elements, simultaneously controlling the internal variables And external. At the same time, monitor and monitor the historical variables of the measured variables (temperature and humidity) using the PC, which results in a more precise control, which allows a better quality of the product to a shorter drying time.

For which the current diagnosis of the pasta drying process was made, identifying its main problems, likewise the control variables to be used were determined, and then designing a control system using a PLC (Programmable Logic Controller), which allowed to have a control of the physical variables, by means of a closed loop, where it is proposed to improve in 99.8% the productivity of pasta, ending with the cost / benefit analysis of the proposal, where an investment of S /. 69 653.00 which will be financed by a local bank with a referential interest rate of 12%, obtaining a VAN of S /. 246,200.36 and TIR of 87%. So we can say that the proposal is profitable, obtaining that for each New Sun invested, the company earns S /. 5,41. The recovery period is 1 year, 2 months and 7 days.

**Keywords:** Drying of pastes, dryer, control system, physical variables (temperature, humidity), Programmable Logic Controller (PLC).

## ÍNDICE

<b>DEDICATORIA</b> .....	iii
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	iv
<b>PRESENTACIÓN</b> .....	v
<b>RESUMEN</b> .....	vi
<b>ABSTRACT AND KEYWORDS</b> .....	vii
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	14
<b>II. MARCO DE REFERENCIA DEL PROBLEMA</b> .....	16
2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	16
2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....	18
2.2.1 Secado de alimentos .....	18
2.2.2 Variables del proceso. ....	18
2.2.2.1 Temperatura.....	18
2.2.2.2 Humedad relativa.....	18
2.2.3 Elementos primarios de medición – sensores .....	19
2.2.3.1 Sensores de temperatura .....	19
2.2.3.2 Sensores de humedad.....	20
2.2.4 Sistema de control.....	21
2.2.4.1 Componentes básicos de sistemas de control.....	21
2.2.4.2 Tipos de sistemas de control .....	22
2.2.5 Controlador lógico programable (PLC) .....	26
<b>III. RESULTADOS</b> .....	28
3.1 DIAGNÓSTICO DE SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA.....	28
3.1.1 La Empresa.....	28
3.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN. ....	31
3.2.1 Productos .....	31
3.2.2 Materiales e insumos: .....	33
3.2.2.1 Materiales .....	33
3.2.2.2 Insumos: .....	33
3.2.3. Proceso de producción.....	35
3.2.4 Sistema de producción.....	38
3.2.4.1 Proceso de secado actual de pastas alimenticias .....	38
3.2.5. Análisis para el proceso de producción.....	40
3.2.6. Indicadores actuales de producción y productividad. ....	42

3.3. IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS EN EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN Y SUS RESPECTIVAS CAUSAS.....	46
3.3.1.- Diagnóstico por causas:.....	47
3.4 DESARROLLO DE PROPUESTA DE MEJORAS EN EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN. ....	67
3.4.1. Diseño de un sistema de control automatizado en la etapa de secado de pastas alimenticias. .	67
3.4.1.1. Determinar sistema de control a utilizar para el control del proceso de secado de pastas alimenticias. ....	68
3.4.1.2 Determinación y programación de Controlador Lógico Programable. (PLC). ....	79
3.4.1.3 Determinación de sensor de temperatura para el proceso de control de secado de pastas alimenticias .....	91
3.4.1.4. Determinación de sensor de humedad para el proceso de control de secado de pastas alimenticias .....	92
3.4.1.5 Determinación de válvula de control automática para el ingreso de agua caliente a cabina de secado .....	95
3.4.1.6 Determinación de flujo de aire para cabina de secado .....	97
3.4.1.7 - Determinación de extracción de humedad de cabina de secado.....	99
3.4.1.8. Sistema de control eléctrico para la inversión de giro de los motores ventiladores.....	102
3.4.1.9 Diagrama de Sistema de control por PLC para la sincronización de todos los elementos de control.....	105
3.4.2 Nuevos indicadores de producción y productividad .....	110
3.4.3. Cuadro Comparativo de Indicadores .....	113
3.5 ANÁLISIS COSTO BENEFICIO .....	114
3.5.1. Inversión Fija tangible .....	114
3.5.2 Inversión intangible. ....	115
3.5.3 Capital de trabajo.....	116
3.5.4. Evaluación económica financiera .....	118
<b>IV. CONCLUSIONES .....</b>	<b>119</b>
<b>V. RECOMENDACIONES : .....</b>	<b>120</b>
<b>VI.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>121</b>
<b>VII. ANEXOS: .....</b>	<b>124</b>
7.1.- Características Básicas de PLC Modicon 221 .....	124
7.2.- Dimensionado de Pantalla de supervisión HMI_MAGELIS serie 5000.....	125
7.3.- Dimensionado de válvulas de flujo .....	126
7.4.- Plano estructural de secador de bandejas .....	127
7.5.- Conexiones de equipos externos a secador de bandeja.....	128
7.6.- Expecificaciones Técnicas de los equipos a utilizar en proyecto.....	129

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:Características de sondas de resistencia.....	19
Tabla 2:Valores de acciones de control .....	26
Tabla 3:Humedad de fideo seco .....	31
Tabla 4:Composición de Alimentos Industrializados (100 gr. de alimento) .....	32
Tabla 5: Máquinas y Equipos para Producción .....	34
Tabla 6:Datos de Temperatura y humedad en secador N°1 .....	39
Tabla 7:Productividad materia Prima .....	42
Tabla 8:Productividad Mano de Obra.....	43
Tabla 9:Medición de temperatura en el área de secado .....	48
Tabla 10:Productividad M. de obra requerida vs Productividad M. de obra actual .....	49
Tabla 11:Producción requerida y Producción real 2016 .....	51
Tabla 12:Cursograma Analítico de rotación de carretillas.....	53
Tabla 13:Costo mensual por tiempo utilizado en rotación de producto - 2016.....	54
Tabla 14:Sueldo Básico de Operarios de Producción .....	54
Tabla 15:Reproceso generado por mal control de ciclo de secado .....	56
Tabla 16:Pérdida económica por reproceso .....	57
Tabla 17:Posición de Válvula tipo palanca.....	58
Tabla 18:Reproceso generado por control manual de temperatura .....	60
Tabla 19:Costo por reproceso generado por producto trizado .....	61
Tabla 20:Humedad relativa del producto final en los secadores estáticos .....	63
Tabla 21:Pérdida económica por baja humedad del producto (S/)... ..	65
Tabla 22:Impacto económico en área de secado de fideos .....	66
Tabla 23:Indicadores de la situación actual de producción.....	66
Tabla 24:Guía de selección de un sistema de control. ....	68
Tabla 25:Reglas de sintonización de Ziegler – Nichols basada en respuesta.....	72
Tabla 26:Sustitución de parámetros “L” y “t” obtenidos.....	72
Tabla 27:Constantes obtenidas para las ganancias de controlador.....	72
Tabla 28:Tiempo de respuesta de variables obtenidas de sistema de control PID .....	76
Tabla 29:Marcas y modelos PLC .....	79
Tabla 30:Características Técnicas- PLC TM221CE40R .....	79
Tabla 31:Características Físicas de PLC Modicom- M221 .....	80
Tabla 32:Características Técnicas - Módulo entradas analógicas TM3TM3 .....	81
Tabla 33:Características Técnicas - Módulo salidas analógicas TM3AQ4.....	82
Tabla 34:Diagrama de Espacio – Tiempo de motores ventiladores .....	85
Tabla 35:Temperatura máxima en cabina de secado .....	91
Tabla 36:Diferentes tipos de sensores de temperatura. ....	91
Tabla 37:Características Técnicas de sensor PT100 .....	92
Tabla 38:Humedad Relativa promedio en cabina de secado.....	93
Tabla 39:Diferentes tipos de sensores de humedad relativa.....	93
Tabla 40:Características técnicas de sensor E+E Sensor HCT01-00D .....	94
Tabla 41:Especificaciones técnicas de válvula de control .....	96
Tabla 42:Temperatura para el aire y agua en el producto.....	97

Tabla 43:Factor de carga de compuertas .....	100
Tabla 44:Características Técnicas de compuerta de control. ....	100
Tabla 45:Características técnicas de Extractor de aire.....	101
Tabla 46:Capacidad de corriente de conductores eléctricos .....	104
Tabla 47:Producción mejorada – mano de obra.....	110
Tabla 48:Indicadores antes y después de la propuesta.....	113
Tabla 49:Bienes tangibles .....	114
Tabla 50:Depreciación de Inversión fija.....	115
Tabla 51:Bienes Intangibles .....	116
Tabla 52:Capital de trabajo .....	116
Tabla 53:Inversión total del proyecto .....	116
Tabla 54:Cálculo del VAN y TIR del proyecto a realizar.....	117
Tabla 55:Evaluación de VAN y TIR .....	118
Tabla 56:Periodo de recuperación .....	118

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diferentes tipos de termocuplas .....	20
Figura 2: Elementos de sistema de control a lazo abierto .....	22
Figura 3: Control todo o nada con banda diferencial .....	22
Figura 4: Sistema de control a lazo cerrado .....	23
Figura 5: Control Proporcional .....	24
Figura 6: Diagrama de bloques de un proceso por realimentación .....	25
Figura 7: Acciones de PID .....	26
Figura 8: Controlador Lógico Programable (P.L.C) .....	27
Figura 9: Organigrama de la empresa .....	29
Figura 10: Diagrama pictórico de elaboración de fideos .....	30
Figura 11: Pastas alimenticias tipo rosca .....	31
Figura 12: Temperatura vs humedad – Secador N°1 .....	38
Figura 13: Diagrama de bloques del proceso de elaboración .....	40
Figura 14: Diagrama de Operaciones .....	41
Figura 15: Diagrama de Ishikawa .....	46
Figura 16: Operario ingresando producto a secador .....	47
Figura 17: Operario de secado, hidratándose .....	47
Figura 18: Controlador de secado supervisando el producto .....	48
Figura 19: Temperatura ambiente vs Hora de medición .....	49
Figura 20: Gráfico de productividad de mano de obra .....	50
Figura 21: Operario retirando producto del secador .....	52
Figura 22: Rotación de carretillas en interior de secado .....	52
Figura 23: Formato para control de rotación del producto .....	55
Figura 24: Registro de hora de rotación del producto .....	55
Figura 25: Manipulación de válvula de agua caliente .....	58
Figura 26: Producto trizado/resquebradizo .....	59
Figura 27: Producto trizado/quebradizo en almacén .....	59
Figura 28: Medición de humedad de producto .....	62
Figura 29: Observaciones en cabina de secado .....	62
Figura 30: Humedad del producto 10.1% .....	63
Figura 31: Gráfico de humedad en el producto final .....	64
Figura 32: Vectores de Entrada y Salida para medición de datos .....	69
Figura 33: Datos de temperatura en interior de secador .....	69
Figura 34: Identificador de sistema de MATLAB .....	70
Figura 35: Función de transferencia de planta .....	70
Figura 36: Programación en Matlab .....	71
Figura 37: Gráfica de obtención de parámetros "L" y "t" con curva de reacción .....	71
Figura 38: Diagrama de bloques en Simulink- control proporcional (P) .....	73
Figura 39: Parámetros de ganancia de control proporcional (P) en Simulink .....	73
Figura 40: Gráfica obtenida en Simulink con control proporcional (P) .....	73
Figura 41: Diagrama de bloques en Simulink- control proporcional integral .....	74
Figura 42: Parámetros de ganancia proporcional integral (PI) en Simulink .....	74
Figura 43: Gráfica obtenida en Simulink de control proporcional integral (PI) .....	74

Figura 44: Diagrama de bloques en Simulink- Control PID.....	75
Figura 45: Parámetros de ganancia proporcional integral derivativo (PID).....	75
Figura 46: Gráfica obtenida en Simulink con control PID.....	75
Figura 47: Acción de control de Humedad ON-OFF con Histéresis.....	77
Figura 48: Simulación de Control ON-OFF de Humedad Relativa - Arian PID.....	78
Figura 49: Partes básicas del PLC .....	80
Figura 50: Módulo de extensión – Entradas analógicas TM3TM3.....	81
Figura 51: Módulo de extensión – Salidas analógicas TM3AQ4.....	82
Figura 52: Programación Inversión de giro de motores ventiladores.....	84
Figura 53: Control interno PID.....	85
Figura 54: Programación entrada de señal- Control PID .....	86
Figura 55: Programación consigna y parámetros - Control PID .....	86
Figura 56: Programación salida analógica- Control PID .....	87
Figura 57: Programación Control PID en PLC.....	88
Figura 58: Configuración de entrada analógica en PLC Modicom 221 .....	88
Figura 59: Configuración de salida analógica en PLC Modicom 221 .....	89
Figura 60. Programación Ladder, para sistema de extracción de humedad .....	90
Figura 61:Termoresistencia PT100 .....	92
Figura 62: Sensor de humedad ambiental.....	94
Figura 63: Válvula Proporcional EV260B.....	95
Figura 64: Dimensionamiento de válvula de control .....	96
Figura 65: Tipos de alaves para compuerta .....	99
Figura 66: Compuerta JK actuador eléctrico .....	101
Figura 67: Extractor trifásico semi industrial .....	101
Figura 68: Selección disyuntor termomagnético .....	102
Figura 69: Selección de contactor electromagnético .....	103
Figura 70: Sistema de fuerza – Arranque directo con inversión de giro de motor trifásico .....	104
Figura 71: Diagrama eléctrico de Sistema de control por PLC.....	105
Figura 72: Elección de Pantalla HMI en plataforma SOMACHINE .....	106
Figura 73: Configuración de panel de gráficos en Vijeo Designer .....	107
Figura 74: Pantalla principal de HMI .....	108
Figura 75: Variables BOOL en pantalla HMI_ MAGELIS .....	108
Figura 76: Variables INT/integer en pantalla HMI_ MAGELIS .....	109
Figura 77: Pantalla de Supervisión y control de secador N°1 .....	109

## I. INTRODUCCIÓN

Las pastas alimenticias, también llamados fideos, es uno de los alimentos a base de cereales más tradicionales como es la sémola de trigo, y se comercializan frescas o, también secas. La producción mundial de pastas alimenticias, actualmente alcanza los 14 millones de toneladas de pastas y está liderada por Italia con 3,5 millones de toneladas anuales (25%), seguido por Estados Unidos con 2 millones de toneladas (15%). Por lo tanto con el desarrollo de la producción, se diseñaron sistemas que controlen la temperatura, humedad y tiempo de secado a través de la climatización variable de una zona acondicionada para tal efecto (A.Acosta 2003)

En la empresa de Alimentos Agroindustria y Comercio S.A., se encuentra ubicada en la Región Lambayeque, la misma que se dedica a la fabricación de pastas alimenticias, cuenta con una línea de producción de pastas secas, tiene un proceso de secado discontinuo, utilizando cámaras de secado tipo estacionario/estático, o también llamado secador de bandejas, con una producción aproximada de 390 kg/hora de pastas secas. Teniendo 3 tipos de productos a la venta: Rosca Fina (31R), Rosca gruesa (32R), Rosca cinta (40-R).

Con la evolución del mercado de pastas alimenticias, se tiene la necesidad de controlar los procesos de producción en especial del secado del producto, con el fin de afrontar la competencia actual. Por tanto la automatización en la industria ha pasado de ser una herramienta deseable a una herramienta indispensable para competir en el mercado globalizado de los procesos industriales, lo cual permite tener un producto acorde a las expectativas de los clientes.

Por tanto la investigación de este proyecto está basado en la mejora de la productividad del área de secado de pastas alimenticias, utilizando un sistema de control automático, para reducir los reprocesos y mejorar la calidad del producto.

La mejora de la productividad en las industrias, hoy en día es de suma importancia para la realización de las operaciones de manera organizada y óptima, lo cual generan un factor positivo en la producción.

La empresa Agroindustria y Comercio S.A., actualmente no cuenta con indicadores de control de las principales variables para el control de secado como son: La temperatura y la humedad relativa, dicho control y operación de estas variables se realiza de forma manual, mediante la experiencia de los operarios. Estas dificultades en el control de las variables físicas del secado generan un margen de “error significativo”, que se evidencia en la baja productividad, así como en la calidad del producto.

La presente investigación tiene como finalidad, mejorar la productividad, proponiendo la implementación de un Sistema de Control Automático por PLC que permita reducir las mermas durante el proceso de secado, reduciendo los costos operacionales y mejorando la eficiencia y/o rendimiento.

Para ello se aplicará la metodología de Acosta y Sandoval. (2003), el cual realiza un diseño de sistema de control adoptando un modelo matemático de la planta (sistema a controlar) incluyendo el modelo de los dispositivos involucrados en el sistema, como son el controlador y los elementos de realimentación, controlando simultáneamente las variables internas y externas. A la vez monitorear y supervisar mediante la PC los históricos de las variables medidas (temperatura y humedad), lo cual tiene como resultado un control más preciso, que permite una mejor calidad del producto a un menor tiempo de secado.

¿La implementación de un sistema de control automático, en el proceso de secado de pastas, mejorará la productividad en la Empresa Agroindustria y Comercio S.A.?

Para esta problemática encontrada, se plantea el siguiente objetivo principal:

Proponer la implementación de un sistema de control automático, en el proceso de secado de pastas, mejorará la productividad en la Empresa Agroindustrial y Comercio S.A. para llegar a realizar dicho objetivo es necesario cumplir los siguientes objetivos específicos:

- ✓ Diagnosticar situación actual del proceso de secado de pastas alimenticias.
- ✓ Determinar las variables de control que se usan en el proceso de secado.
- ✓ Diseñar sistema de control de lazo cerrado por PLC (Controlador lógico programable) para el proceso de secado de pastas.
- ✓ Evaluar costo/beneficio con respecto al cambio de sistema de control automatizado y el proceso generado por un mal proceso de secado actual.

## II. MARCO DE REFERENCIA DEL PROBLEMA

### 2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

La Rosa et al. (2014) *en su investigación Modelado matemático del efecto de la temperatura y humedad del aire sobre la velocidad de secado de pastas libres de gluten*” tiene como objetivo modelar numéricamente el proceso de transferencia simultánea de energía y materia durante el secado de pastas libres de gluten aptas para celíaco, para ello el proceso se realizó en una estufa de aire forzado a velocidad constante, diseñada y construida “ad hoc”, con sistemas independientes de control de humedad relativa del aire y de temperatura que permite medir la pérdida de peso “in situ” de manera continua. Se ensayaron cuatro condiciones de proceso diferentes: dos temperaturas (30°C y 50°C) y dos humedades relativas (40 y 80%) manteniendo constante la velocidad del aire en 0.5 m/s. estudiando el efecto de variables de proceso como la temperatura y humedad del aire de secado, resultando un 50% inferior el tiempo de proceso de las pastas libres de gluten con respecto a las pastas de harina de trigo.

Para ello se utilizó el método de elementos finitos para la resolución de las ecuaciones diferenciales a derivadas parciales a través del software ComsolMultiphysics. Para las simulaciones se consideró un sistema bidimensional y se alimentaron las propiedades físicas del sólido y del fluido calefactor para cada condición de proceso llegando a la conclusión que el modelado matemático resulta una herramienta adecuada para predecir tiempos de proceso y analizar el efecto de parámetros como temperatura, velocidad y humedad del aire etc. en los tiempos secado.

(Ramirez, Arenas y Correa 2014), en su publicación “ *Evaluación Psicrométrica de un deshidratador de bandeja para alimentos* “, realiza una evaluación del proceso de deshidratación de los alimentos, teniendo un sistema de secado mediante aire caliente, utilizando como instrumento de medición un termo-higrómetro digital, el cual hace los reportes de humedad y temperatura. Antes de ello realiza la determinación de peso inicial, ubicación sobre la bandeja de secado, programación del sensor para recolección de datos, ubicación de la bandeja de secado con el producto en el deshidratador, graduación de termostato a 60 °C. Tiempo promedio de deshidratación 2 horas. Con dicha información se puede estudiar el comportamiento de diferentes productos durante la deshidratación. El sensor se ubicó en la entrada y la salida de la cámara para evaluar el comportamiento del secado de las alimentos.

Al colocar el producto sobre una malla, la velocidad es mayor y presenta mayor Humedad relativa del aire a la salida, reteniendo mayor proporción de agua por kilogramo de aire, por que el aire tiene contacto directo sobre las dos caras, a diferencia cuando se coloca sobre bandeja, donde el aire solo tiene contacto directo sobre una superficie.

En conclusión, Se pudo demostrar que con la ayuda de un termo-higrómetro digital y el software diseñado se puede estudiar el comportamiento del secado diferentes productos, durante la deshidratación, conociendo las variables fundamentales del proceso como: reducción de peso, temperatura, velocidad de secado, variación de % de humedad.

Roda (2012), *en su artículo "Innovation in drying process of pasta"* pretende mantener el secado de pastas adecuadamente; esto significa que, además de ser un producto seco para el consumo, la pasta tiene que ser "estable": su contenido de humedad interna debe ser uniforme, por tanto tiene como objetivo evitar que la superficie exterior de la pasta se seque demasiado rápido, ya que esto traería problemas de mala apariencia y baja resistencia del producto final. Para ello quiere utilizar una etapa de presecado, proporcionando así, una mejor estabilidad de la forma de producto, manteniendo la capilaridad del mismo, obteniendo como resultado: Un producto de una buena calidad, manteniendo los tres componentes en equilibrio funcional: la temperatura del aire, humedad del aire, y los flujos de ventilación.

En conclusión, la calidad de la pasta, depende de la aplicación de herramientas apropiadas, tales como termo-resistencias para medir la temperatura y psicrómetro, un instrumento que permite determinar la humedad relativa, o mediante el uso de sondas resistivas capacitivas para controlar la humedad relativa y la temperatura, debido a que estos dos parámetros, como se ha mencionado, son de crucial para lograr este proceso.

Villa, Passamai y Bravo (2012), *en su investigación "Análisis de la cinética de secado de pastas obtenidas con mezclas de harinas a partir de un modelo de evaporación"*, estudia el comportamiento mecánico de las pastas varía con el contenido de humedad y la temperatura de secado y es comúnmente expresado con un Módulo de Young efectivo. Esta resistencia mecánica es influenciada por el secado y el nivel de estrés obtenido debe ser mucho menor que su valor límite. Por tanto tiene como objetivo utilizar un modelo desarrollado por Passamai y Saravia aplicado al secado de pimientos bajo la premisa de que el secado se trata fundamentalmente de un proceso de evaporación de agua, con una resistencia interna acorde con el producto que se seca.

Para ello utiliza la siguiente metodología: El primer paso en la producción de las muestras de pastas fue la mezcla de los ingredientes en un mezclador de paletas. El agua destilada se añadió gradualmente a la mezcla resultando una masa de 50% de contenido de humedad en base seca. Después de 15 minutos de mezcla, la masa se laminó en una pequeña sobadora de laboratorio y los tallarines cortados se envasaron en bolsas impermeables y se colocaron en refrigerador para estabilizarlos durante 24 horas a 4°C y 80% de humedad relativa.

Las muestras de pastas de 90mm de largo x 6mm de ancho x 2mm de espesor fueron colocadas en el soporte del secadero experimental para cada experiencia de secado. Se toman las lecturas con los sensores de humedad y temperatura. Los niveles deseados de cada variable se establecen por ajuste manual, fijando las condiciones de secado. Como respaldo del sensor electrónico de humedad, se utiliza un termómetro de mercurio para medir la temperatura de bulbo húmedo. Una vez fijadas las variables de secado, se procede a tarar el soporte en una balanza digital de precisión. Obteniendo como resultado la mejora en el tiempo modelado el cual solo difiere en 22 minutos en laboratorio con los datos experimentales con respecto a un proceso de 7 horas.

Por tanto se concluye con una excelente aproximación del modelo con los resultados reales para dicho secado de pastas. Las modificaciones introducidas con respecto al modelo se relacionaron con el uso de la humedad libre en base seca para todos los cálculos y la adecuación del término de conductancia global por tratarse de un producto muy diferente al pimiento. Los errores relativos promedio entre los datos modelados y experimentales son bajos comparados con otros modelos estudiados, pues no superan el 11%, lo que permitió validar aceptablemente el modelo para secado de pastas alimenticias.

## **2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

### **2.2.1 Secado de alimentos**

El secado se refiere a la eliminación de humedad en una sustancia, las operaciones de secado pueden clasificarse según se trate de un proceso continuo o intermitente ( o bien por lotes). Estos términos pueden aplicarse específicamente desde el punto de vista de la sustancia que esta secando. Así, la operación denominada secado por lotes, generalmente en un proceso de semilotes, en donde una cierta cantidad de sustancia que se va a secar se expone a una corriente de aire que fluye continuamente, en la cual se evapora y a la que se transfiere la humedad. La deshidratación es la eliminación de agua de un sólido, sin embargo esta puede ser parcial o total.

Por lo general se usa el termino deshidratación, cuando se consigue la pérdida de agua por medio de sistemas mecánicos.

Método de operación: es decir por lotes o continuo opera intermitente o cíclicamente en condiciones de estado no estacionario: el secador se carga con el producto, que permanece en el equipo hasta que se seca, entonces, el secador se descarga y se vuelve a cargar con un nuevo lote. (Castells 2012).

### **2.2.2 Variables del proceso.**

#### **2.2.2.1 Temperatura.**

La temperatura del aire determina cuánto calor el cuerpo pierde hacia el aire, principalmente por convección. La temperatura del aire basta para calificar el confort térmico siempre y cuando la humedad y la velocidad del aire y el calor radiante no influyan mucho en el clima interior. <sup>1</sup> La temperatura también afecta al valor de la humedad relativa del aire y por lo tanto la capacidad del mismo de extraer humedad. También aumenta la velocidad de las moléculas de agua y favorece el proceso de vaporización. <sup>2</sup>

#### **2.2.2.2 Humedad relativa.**

Es la relación entre la cantidad de vapor de agua contenida en el gas y la máxima cantidad que puede contener a la misma temperatura. Si se aumenta la temperatura, aumenta la capacidad del gas de contener vapor de agua, lo que quiere decir que puede absorber mayor cantidad de vapor de agua de la sustancia. Igualmente si se extrae vapor de agua del gas, se baja su humedad relativa y aumenta la capacidad de sacar vapor del compuesto. <sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> «Confort Térmico», Arquitectra & Energia, 10 de marzo 2015, consultado 05 de julio 2017 <http://www.arquitecturayenergia.cl/home/el-confort-termico/>

<sup>2</sup> «Secado Térmico», Agrowaste, Febrero 2013, consultado 05 de julio 2017, <http://www.agrowaste.eu/wp-content/uploads/2013/02/SECADO-TERMICO.pdf>

## 2.2.3 Elementos primarios de medición – Sensores

### 2.2.3.1 Sensores de temperatura.

#### A) Termómetro de resistencia. – Pt100

Este elemento consiste en un arrollamiento de hilo muy fino del conductor adecuado bobinado entre capas de material aislante y protegido con un revestimiento de vidrio o cerámica

Un Pt100 es un sensor de temperatura. Consiste en un alambre de platino que a 0°C tiene 100 ohms y que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia eléctrica. Un Pt100 es un tipo particular de RTD (Dispositivo Termo Resistivo).

La relación entre estos factores puede verse en la expresión lineal siguiente:

$$R_t = R_0 (1 + \alpha t)$$

$R_0$  = resistencia en ohmios a 0° C

$R_t$  = resistencia en ohmios a  $t$ ° C

$\alpha$  = coeficiente de temperatura de la resistencia cuyo valor entre 0° y 100° C es de 0,003850  $\Omega \cdot \Omega^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$  en la Escala Práctica de Temperaturas Internacional (IPTS-68).

Los materiales que forman el conductor de la resistencia deben poseer las siguientes características: A. Creus Solé (1997)

**Tabla 1: Características de sondas de resistencia**

Metal	Resistividad $\mu\Omega/\text{cm}$	Coficiente temp. $\Omega/\Omega, ^\circ\text{C}$	Intervalo útil de temp. $^\circ\text{C}$	$\varnothing$ mín. de hilo mm	Coste relativo	Resis. sonda a 0° C, ohmios	Preci- sión $^\circ\text{C}$
Platino	9,83	0,00385	— 200 a 950	0,05	Alto	25, 100, 130	0,01
Níquel	6,38	0,0063 a 0,0066	— 150 a 300	»	Medio	100	0,50
Cobre	1,56	0,00425	— 200 a 120	»	Bajo	10	0,10

Fuente: Libro de Instrumentación Industrial (Creus 1997)

#### B) Termocupla

Las termocuplas son el sensor de temperatura más común utilizado industrialmente. Una termocupla se hace con dos alambres de distinto material unidos en un extremo (soldados generalmente). Al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño (efecto Seebeck) del orden de los milivolts el cual aumenta con la temperatura.

Existen una infinidad de tipos de termocuplas, en la tabla aparecen algunas de las más comunes, pero casi el 90% de las termocuplas utilizadas son del tipo J ó del tipo K. Las termocuplas tipo J se usan principalmente en la industria del plástico, goma (extrusión e inyección) y fundición de metales a bajas temperaturas (Zamac, Aluminio). Arian, control & instrumentation (2016)

Los tipos de termocuplas que existen aparecen en la siguiente figura N°1

Tc	Cable + Aleación	Cable - Aleación	°C	Rango (Min, Max) mV	Volts Max
J	Hierro	cobre/nickel	(-180, 750)	42.2	
K	Nickel/cromo	Nickel/alumnio	(-180, 1372)	54.8	
T	Cobre	cobre/nickel	(-250, 400)	20.8	
R	87% Platino 13% Rhodio	100% Platino	(0, 1767)	21.09	
S	90% Platino 10% Rhodio	100% Platino	(0, 1767)	18.68	
B	70% Platino 30% Rhodio	94% Platino 6% Rhodio	(0, 1820)	13.814	

**Figura 1: Diferentes tipos de termocuplas**  
Fuente: Arian, control & instrumentation (2016)

### 2.2.3.2 Sensores de humedad

Existen al menos 2 métodos para medir la humedad relativa del aire, el primero es usando un psicrómetro, y el segundo es usando sensores capacitivos.

#### A) Psicrómetro:

Básicamente consiste en dos termómetros exactamente iguales, uno de los cuales indica la temperatura del aire y el otro, con el depósito humedecido mide el enfriamiento producido por la evaporación del agua. Es conveniente que los termómetros vayan graduados en fracciones de grado con el fin de alcanzar la mayor exactitud. Ponce Carrera C. (2002).

#### B) Sensores capacitivos:

Son pequeños condensadores que contienen un material higroscópico (material que puede captar la humedad del ambiente) como dieléctrico colocado entre un par de electrones. La mayoría de sensores usan un plástico o polímero como material dieléctrico, con una constante dieléctrica típica dentro de un rango que varía de 2 a 15. Cuando no existe humedad en el sensor, la capacitancia está determinada por la geometría y la constante dieléctrica del mismo. En un ambiente con temperatura normal, la constante dieléctrica del vapor del agua tiene un valor cercano a 80, valor mucho más grande que la constante dieléctrica del sensor. Ponce Carrera C. (2002)

## 2.2.4 Sistema de control.

Los sistemas de control tienen como objetivo que las señales de salida sean capaces de ser gobernadas por las directrices marcadas por las señales de entrada, con independencia de las perturbaciones. Por ejemplo, en el control automático sobre la climatización de una casa, el termostato servirá para que el usuario seleccione la temperatura deseada (entrada); la temperatura de las habitaciones serán las salidas y las pérdidas de calor por transmisión o las aperturas de las ventanas, las perturbaciones. El objetivo será que la temperatura de las habitaciones se mantenga al valor deseado.

Las señales no necesariamente deben de ser de naturaleza eléctrica. Pueden ser temperaturas, velocidades, presiones, etc. Sin embargo debido a que la tecnología actual se basa en el procesamiento eléctrico de señales, muchas de estas emplean transductores para convertir señales de cualquier naturaleza a otras de tipo eléctrico. (Miranda 2012).

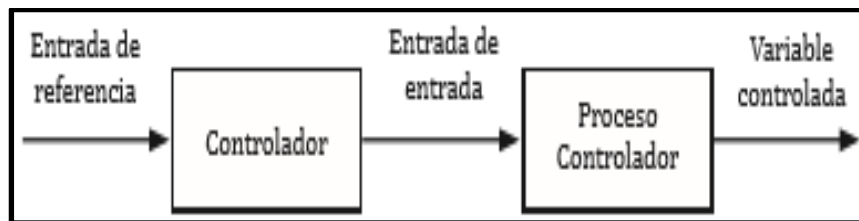
### 2.2.4.1 Componentes básicos de sistemas de control.

- **Planta:** Se designa como planta a cualquier objeto físico que ha de ser controlado (como horno, reactor químico). En forma general, la planta es la instalación de un sistema destinada a realizar un proceso determinado.
- **Proceso:** Es una operación progresivamente continua, caracterizada por una serie de cambios graduales con tendencia a producir un resultado final de un objetivo determinado. Por tanto en adelante se llamará proceso a todo lo que se vaya a controlar.
- **Sistema:** Conjunto de elementos interconectados y organizados en interacción dinámica operando con un objetivo determinado.
- **Entrada:** Se entiende como entrada o estímulo una señal de excitación que se aplica a un sistema de control. Hay de referencia y de perturbación.  
La referencia es aquella que se aplica a voluntad del usuario con el fin de encontrar una respuesta deseada.  
La perturbación es una señal de entrada no deseada y no previsible que afecta adversamente el valor de la salida del sistema, pudiendo tener origen externo o interno.
- **Salida:** Es la respuesta de un sistema a un estímulo dado (variable controlada).
- **Control:** Se define como la regulación en forma predeterminada de la energía suministrada al sistema, buscando un comportamiento deseado del mismo. (Paz 2011).

### 2.2.4.2 Tipos de sistemas de control.

Los más comunes son los sistemas de control a lazo abierto y los sistemas de control a lazo cerrado.

**A) Sistema de control a lazo abierto:** Es aquel sistema de control en el que la salida no es afectada por la señal de entrada. La salida no se realimenta para compararla con la entrada. Los elementos de un sistema de control a lazo abierto usualmente está dividido en 2 partes: el controlador y el proceso controlado (Paz 2011). Ver Figura N°2.

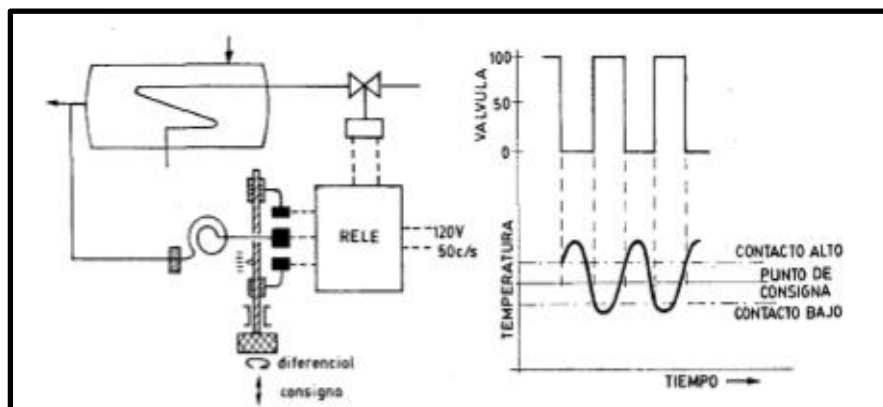


**Figura 2: Elementos de sistema de control a lazo abierto.**  
Fuente: Sistemas automáticos de control (Paz 2011).

#### A.1) Control Todo o Nada ( control ON-OFF).

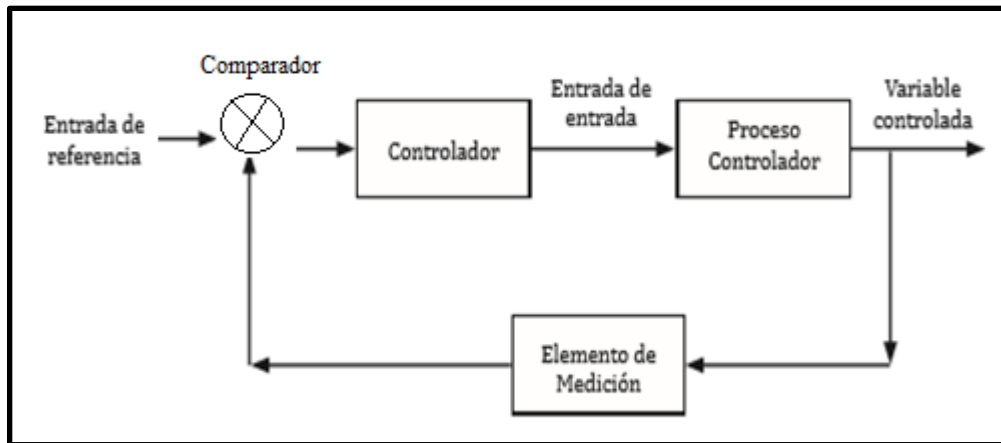
Este tipo de control se emplea usualmente con una banda diferencial o zona neutra (también llamado histéresis) en la que el elemento final de control permanece en su última posición para valores comprendidos dentro de la banda diferencial. Los ajustes de control se basan en variar el punto de consigna y la gama diferencial.

En este tipo de control el elemento final de control se mueve rápidamente entre una de las dos posiciones fijas a la otra, para un valor único de la variable controlada. (Creus 1997).



**Figura 3: Control todo o nada con banda diferencial**  
Fuente: Libro de instrumentación Industrial (Creus 1997)

**B) Sistema de control a lazo cerrado (control realimentado):** En el sistema de control a lazo cerrado, el controlador se alimenta de la señal de error de desempeño, la cual representa la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación con el fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado. El término lazo cerrado siempre indica una acción de control realimentado para reducir el error del sistema (Paz 2011). Ver Figura N°4.



**Figura 4: Sistema de control a lazo cerrado**

Fuente: Sistemas automáticos de control (Paz 2011)

### B.1) Tipos de acciones de control en PID

#### ✓ Acción Proporcional

Su nombre deriva del hecho de que la salida del controlador es proporcional a la diferencia entre el set point y la variable medida. Este se puede conseguir haciendo la señal de control proporcional al error (Anstrom y Hagglund 2009).

$$u = K(y_{sp} - y) = Ke,$$

$y_{sp}$  = Set point

$y$  = Variable de proceso

$e$  = Error

$K$  = Ganancia del controlador

La ganancia del controlador proporcional es la relación entre la variación en la señal de la salida y el error que la produce (diferencia entre la variable y el set point). Muchos controladores neumáticos y electrónicos emplean en lugar de ganancia la denominada banda proporcional, que es la inversa de la ganancia (Creus 1997).

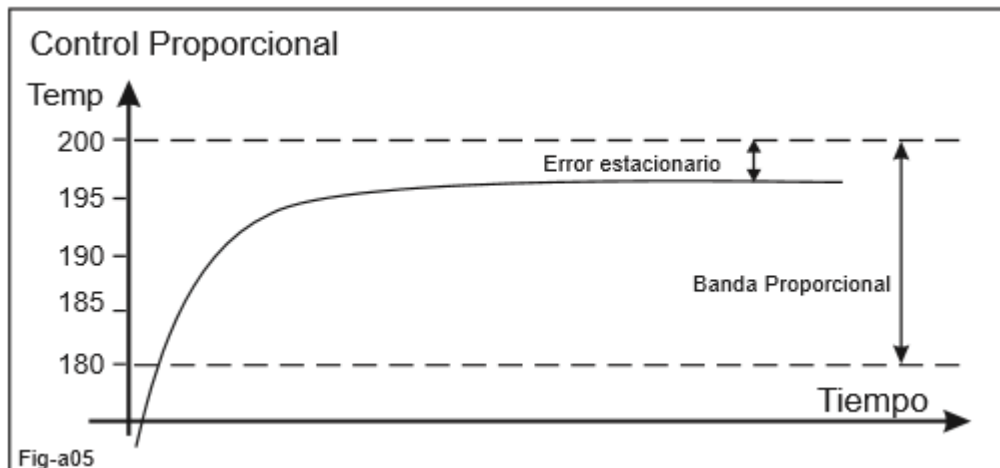
$$BP \% = \frac{100 \%}{K}$$

#### ✓ Banda Proporcional (BP).

Es el porcentaje de variación de la variable controlada necesaria para provocar una carrera completa del elemento final de control. El valor de la banda proporcional, se expresa usualmente en tanto por ciento de su campo de medida total.

#### ✓ Offset .

También llamado error estacionario. Característica indeseable del controlador proporcional.



**Figura 5:Control Proporcional**

Fuente: Control PID\_conceptos básicos (ARIAN Control & Instrumentación 2010)

### ✓ Control Proporcional integral

En el control integral, el elemento final se mueve de acuerdo con una función integral en el tiempo de la variable controlada.

El tiempo de acción integral  $T_i$ , en minutos equivale a “minutos por repetición de la acción proporcional”. También se acostumbra a expresar la acción integral en “repeticiones por minuto”, que es el número de veces por minuto que se repite la acción proporcional y que es recíproco matemático de minutos por repetición. (Creus 1997).

$$u(t) = k_i \int_0^t e(\tau) d\tau,$$

$K_i$ = Ganancia integral

$u_0$ = Salida de control constante

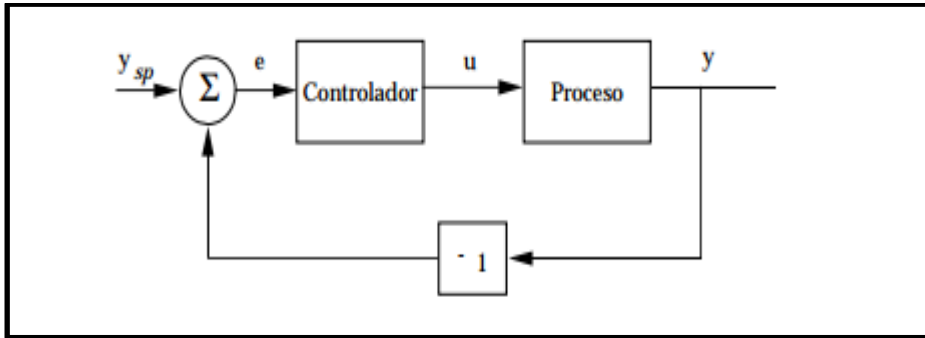
$e_0$ = Error constante

(Anstrom y Hagglund 2009)

### ✓ Control Proporcional Integral Derivada – PID.

El controlador PID es una implementación simple de la idea de realimentación. Tiene la capacidad de eliminar errores en estado estacionario mediante la acción integral, y puede anticipar el futuro con la acción derivativa. Los controladores PID o incluso los controladores PI, son suficientes para muchos problemas de control que se encuentran en gran número de industrias.

El control PID, se combina a menudo con cierta capacidad lógica, funciones secuenciales, selectores y bloques de funciones sencillos para así construir los complicados sistemas de automatización utilizados en la producción de energía, transporte y procesos de fabricación. (Anstrom y Hagglund 2009).



**Figura 6: Diagrama de bloques de un proceso por realimentación.**

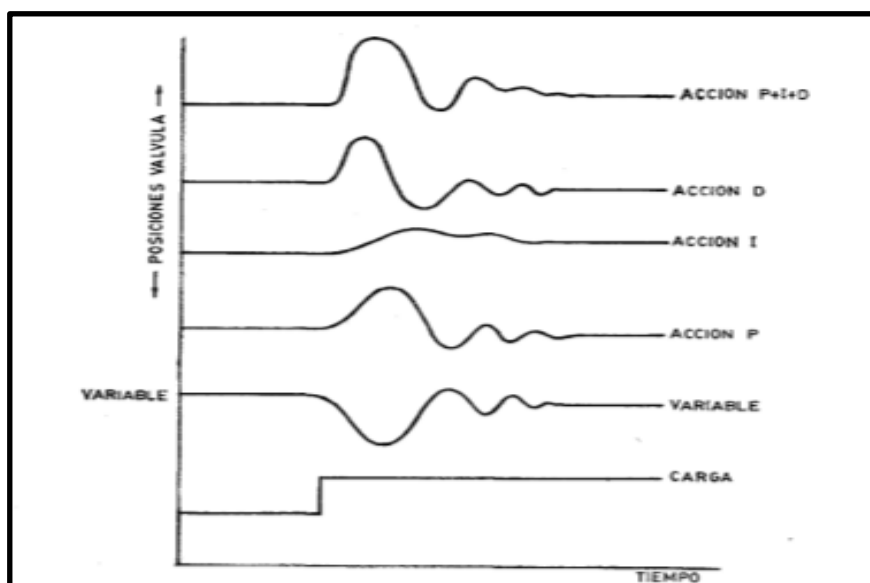
Fuente: Control PID avanzado (Anstrom y Hagglund 2009)

Por tanto un refinamiento adicional consiste en dotar al controlador de una capacidad anticipativa utilizando una predicción de la salida basada en una extrapolación lineal.

$$u(t) = K \left( e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right).$$

La acción de control es la suma de tres términos que representan el pasado por acción integral del error ( el termino I), el presente ( termino P) y el futuro por una extrapolación lineal del error ( termino D). el término  $e + td \frac{de(t)}{dt}$ , es una predicción lineal del error  $td$ , unidades de tiempo en el futuro.

Los parámetros del controlador se llaman: Ganancia proporcional K, tiempo integral  $T_i$  y el tiempo derivativo  $T_d$ . (Anstrom y Hagglund 2009).



**Figura 7: Acciones de PID**

**Fuente:** Libro de Instrumentación Industrial (Creus 1997)

**Tabla 2: Valores de acciones de control**

	% Banda proporcional ( Ganancia)		Tiempo integral ( min/rep)	Tiempo derivativo (minutos)
Presión	20	5	-	-
Caudal	80-250	1,25-0,4	0,5-15	-
Nivel	50-100	2-1	-	-
Temperatura	20-50	5-2	0,5-15	0,5-3

**Fuente:** Libro de Instrumentación Industrial (Creus 1997)

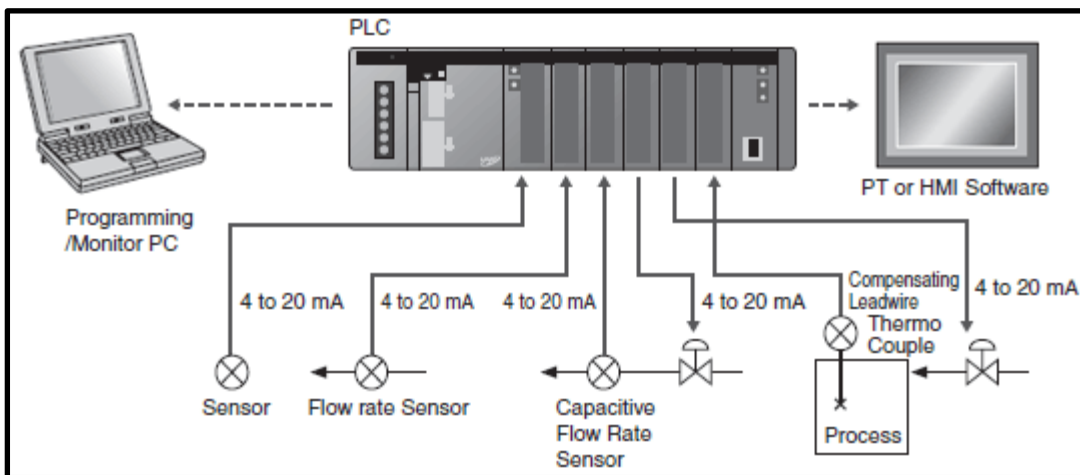
Elaboración propia

### 2.2.5 Controlador lógico programable (PLC)

Un PLC – Programable Logic Controller (Controlador Lógico Programable) es un dispositivo digital electrónico con una memoria programable para el almacenamiento de instrucciones, permitiendo la implementación de funciones específicas como ser: lógicas, secuenciales, temporizadas, de conteo y aritméticas; con el objeto de controlar máquinas y procesos.

También se puede definir como un equipo electrónico, el cual realiza la ejecución de un programa de forma cíclica. La ejecución del programa puede ser interrumpida momentáneamente para realizar otras tareas consideradas más prioritarias, pero el aspecto más importante es la garantía de ejecución completa del programa principal. Estos controladores son utilizados en ambientes industriales donde la decisión y la acción deben ser tomadas en forma muy rápida, para responder en tiempo real. Los PLC son utilizados donde se requieran tanto controles lógicos como secuenciales o ambos a la vez.

El PLC por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución del hardware y software amplía constantemente este campo, para poder satisfacer las necesidades que se detectan en el espectro de sus posibilidades reales. Su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones en donde es necesario un proceso de maniobra, control y señalización. Por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industriales de cualquier tipo a transformaciones industriales, o control de instalaciones, entre otras. Sus reducidas dimensiones, la extremada facilidad de su montaje, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, la modificación o alteración de los mismos. (Automación Micromecánica S.A.I.C., 2016).



**Figura 8: Controlador Lógico Programable (P.L.C.)**

**Fuente:** Empresa Genera Tecnologías.

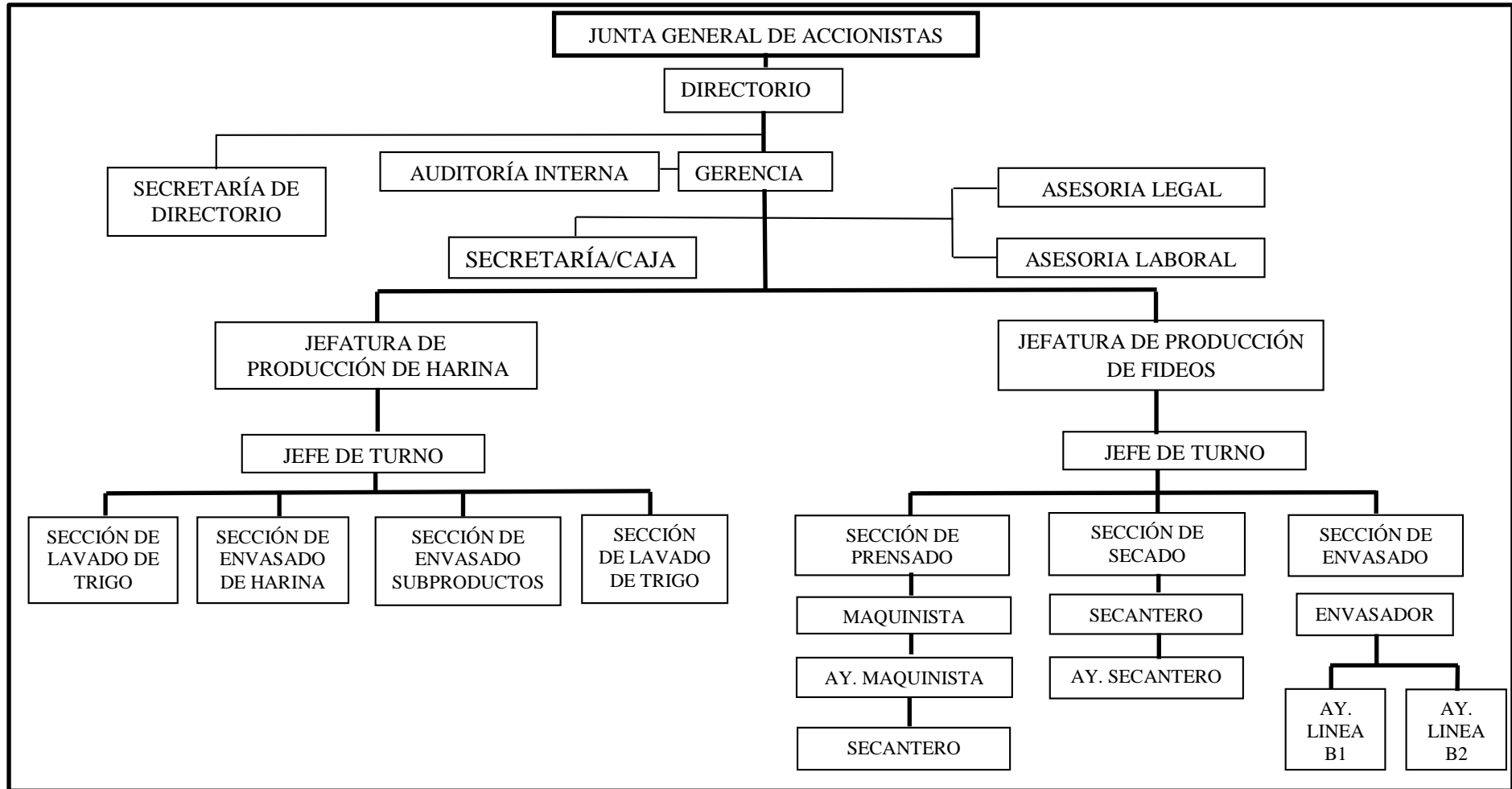
### **III. RESULTADOS**

#### **3.1 DIAGNÓSTICO DE SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA**

##### **3.1.1 La Empresa**

- RUC: 20487800831
- Razón Social: Agroindustria y Comercio S.A.
- Tipo Empresa: Sociedad Anónima
- Condición: Activo.
- Fecha Inicio Actividades: 01/10/2011.
- Actividad Comercial: Productiva.
- CIU: 1079 – Elaboración de otros productos alimenticios.

### ORGANIGRAMA GENERAL DE LA EMPRESA



**Figura 9: Organigrama de la empresa**

**Fuente:** Empresa Agroindustria y Comercio S.A.

### Diagrama Pictórico del Proceso Productivo de Pastas Alimenticias

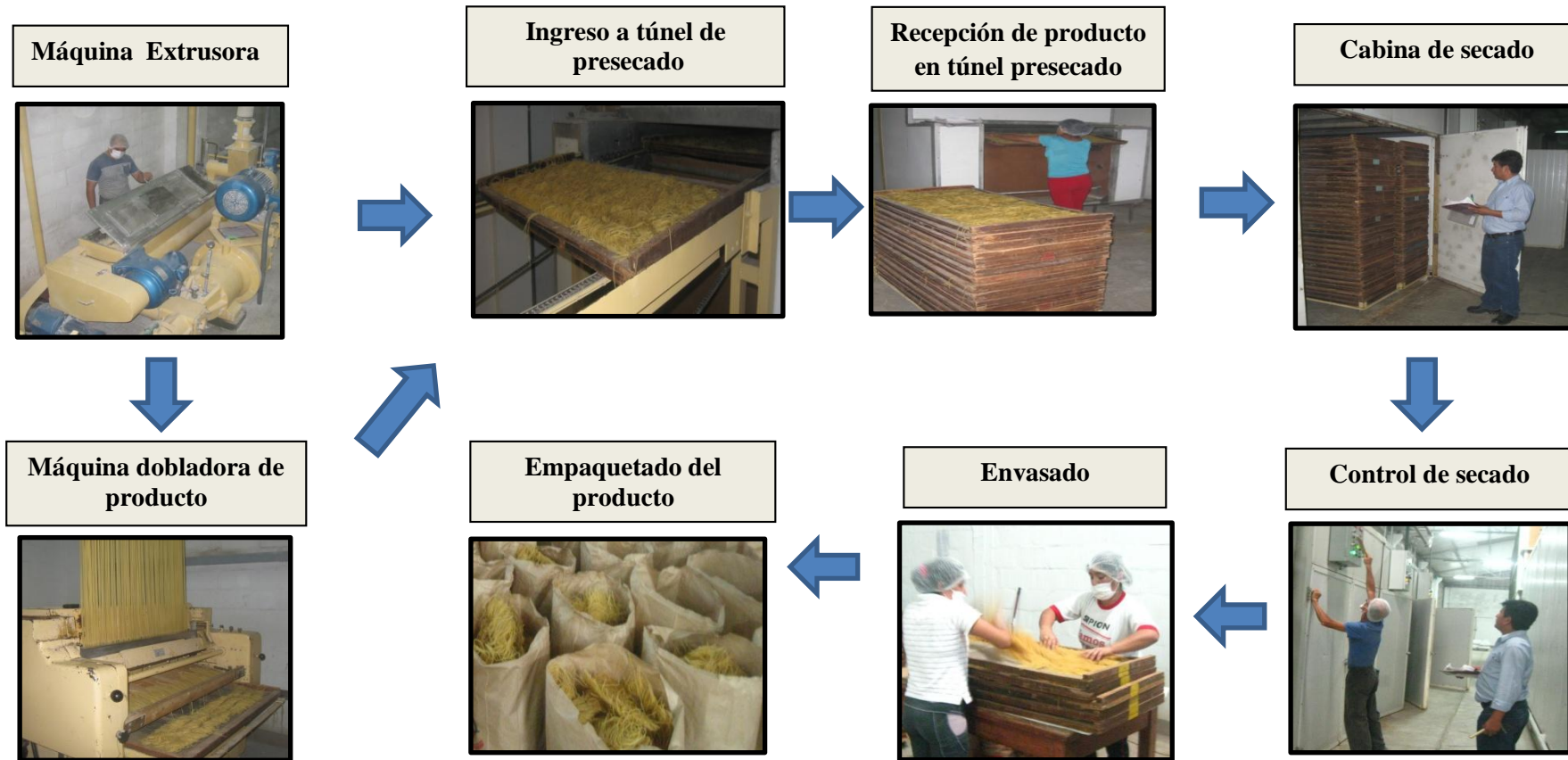


Figura 10: Diagrama pictórico de elaboración de fideos

### 3.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN.

#### 3.2.1 Productos

##### a. Descripción del Producto:

**Pasta alimenticia.-** Es el producto no fermentado compuesto de harina de trigo, agua potable y formada por el mezclado, amasado y prensado de la masa. Esta se realiza por extrusión, la cual consiste en forzar la masa a través de moldes con agujeros de varios diseños que imparten su forma a la pasta, obteniendo tiras que se enrollan en madejas con sección circular, como se muestra en la figura N°6.

El contenido de agua, que se adiciona en el momento del amasado es de 16-18%, con respecto a las materias primas secas, consiguiéndose entonces una masa con 30-32% de humedad en el producto moldeado, el cual pasará por una etapa de secado y se obtendrá un producto terminado seco con un máximo de humedad de 15% de agua con respecto a la masa. Ver tabla N° 3.

El producto tiene que cumplir con las normas mínimas con respecto a su composición, según lo establecido por el ministerio de salud, así como del centro nacional de alimentación y nutrición, ver tabla N°4.



**Figura 11: Pastas alimenticias tipo rosca**  
Fuente: Empresa Agroindustria y Comercio S.A.

**Tabla 3: Humedad de fideo seco**

<b>Tipos de fideos</b>	<b>Humedad Máxima</b> %	<b>Acidez titulable</b> máxima
Secos	15,0	0,45
frescos	35,0	0,65

Fuente: Norma Técnica peruana NTP 206.010:1981

**Tabla 4: Composición de Alimentos Industrializados (100 gr. de alimento)**

Cód.	Alimento	Descripción	Energ kcal	Agua g	Prot g	Grasa g	CH <sub>2</sub> O g	Fibra g	Ceniza g
217	Pan	Tipo hamburguesa o hot-dog	323	24,0	9,2	5,0	59,7	0,5	2,1
218	Pan	Tipo tolete	325	22,0	11,3	2,9	62,3	0,4	1,5
219	Pan de camote	Con harina de trigo	291	29,5	7,5	2,1	59,4	0,7	1,5
220	Pan de gluten	De trigo	382	9,7	35,3	4,8	49,7	0,3	0,5
221	Pan de molde	Con leche	317	25,8	10,0	5,1	57,2	0,4	1,9
222	Pan de molde	Tostada	383	7,5	11,8	2,3	77,2	0,6	1,2
223	Pan de soya	Con harina de trigo	310	27,7	12,1	5,9	51,8	1,5	2,5
224	Pan de yema	Con saborizante	307	28,6	7,0	4,4	58,9	0,3	1,1
225	Pan integral	De trigo	270	34,9	9,3	3,0	50,7	1,3	2,1
<b>Pastas</b>									
226	Fideos	Precocido, frito con aceite	441	11,9	10,9	19,5	57,0	0,5	0,7
227	Fideos frescos	Relleno con carne	267	36,0	19,0	3,5	39,6	0,0	1,9
228	Fideos frescos	Relleno con carne y verduras	227	45,3	12,0	2,7	38,2	0,2	1,8
229	Fideos secos	Rosca, largo, corto, pastina, bologna	364	11,0	10,9	0,5	77,1	0,4	0,5
230	Fideos secos	Enriquecido con hierro y vitaminas	371	9,3	10,9	0,3	79,0	0,3	0,5

**Fuente: Tabla de Composición de Alimentos Industrializados**

Elaboración propia a partir de Ministerio de salud, Instituto nacional de salud, centro nacional de alimentación y nutrición.

#### **b. Desecho:**

**Masa inicial.-** Es el producto generado en el arranque de producción de pastas alimenticias, siempre se realiza el prensado de masa en vacío (sin colocación de molde), con la finalidad de retirar cualquier impureza existente en la cámara del cilindro principal. Este producto que se desecha tiene un peso aproximado de 5 – 10 kg, esto se da en cada arranque de producción. ( Elaboración propia)

**Masa en cambio de molde.-** Producto que se genera cada vez que se cambia molde o se limpie el filtro porta molde (diario), ya que en este se retiene partículas extrañas (tallos de planta de trigo, hilos de amarre, etc.). Este producto se desecha cada 24 horas y tiene un peso aproximado de 2 kg.

**Pasta alimenticia fermentada.-** Producto generado por un mal proceso de secado, la cual no llega a cumplir con los parámetros estándar de secado, generando acidez en el mismo, este producto no es apta para la venta al público.

#### **c. Desperdicios:**

**Pasta alimenticia reseco/ trizado.-** Producto generado por un mal proceso de secado. Estos son fideos trizados y quebradizos, los cuales pueden ser vendidos. Este producto que se desperdicia diariamente oscila entre 20 – 40 kg, en muchos casos se reprocessa, volviéndolo al mismo en fideo molido.

### **3.2.2 Materiales e insumos:**

#### **3.2.2.1 Materiales**

##### **a. Materiales Directos**

- Harina
- Agua

##### **b. Materiales Indirectos:**

- Bolsas de papel
- Cinta engomada

#### **3.2.2.2 Insumos:**

##### **Mano de Obra**

La Empresa Agroindustria y Comercio S.A., realiza sus actividades de producción en 02 turnos, contando para ello con 09 trabajadores en planta por turno. Siendo los siguientes puestos de trabajo:

- ✓ Supervisor de turno (01)
- ✓ Control de calidad (01)
- ✓ Maquinista (01)
- ✓ Ayudante de maquinista (01)
- ✓ Tunelero (01)
- ✓ Secanero/Controlador de secado (01)
- ✓ Ayudantes de envasado (02)

##### **Maquinaria y equipos**

Dentro de la maquinaria y equipos principales que se utiliza para la producción de pastas alimenticias, se separa en 05 etapas importantes:

##### **Procesamiento:**

Silo de harina, exclusiva, dosificador de agua, mezcladora, motor principal, motor transversal, cuchilla, ventilador de moldes.

##### **Moldeado de fideo:**

Máquina dobladora de pastas, motores ventiladores, variador de velocidad, bastidores de madera.

##### **Pre secado:**

Motores ventiladores, radiadores de agua caliente, motor transportador de bastidores, válvulas manuales tipo bola, tablero eléctrico de control.

##### **Secado:**

Cuarto de secado, motores ventiladores, radiadores de agua caliente, válvulas manuales tipo bola, tablero eléctrico de control.

##### **Envasado:**

Balanza electrónica.

**Tabla 5: Máquinas y Equipos para Producción de pastas alimenticias**

<b>N°</b>	<b>MAQUINA Y / O EQUIPO</b>	<b>CANTIDAD</b>
<b>PROCESAMIENTO</b>		
01	Silo de harina	01
02	Motor exclusiva	01
03	Dosificador de agua	01
04	Mezcladora	01
05	Motor principal	01
06	Motor transversal	01
07	Motor cuchilla	01
08	Ventilador de molde	01
<b>SERVICIOS</b>		
09	Motor compresor	01
10	Bomba de vacío	01
11	Bomba de agua	01
<b>MOLDEADO DE PASTA</b>		
12	Máquina dobladora de pasta	01
13	Variador de velocidad	01
14	Bastidores de madera	1200
<b>PRESECADO</b>		
15	Radiadores de agua caliente	08
16	Motores ventiladores	08
17	Motor transportador de bastidores	01
18	Válvulas de control manual	08
19	tablero eléctrico de control	01
<b>SECADO</b>		
20	Cuarto de secado	10
21	Radiadores de agua caliente	12
22	Motores ventiladores	12
23	Válvulas de control manual	12
24	Tablero eléctrico de control	06
<b>ENVASADO</b>		
25	Balanza electrónica	01

**Fuente: Empresa Agroindustria y Comercio S.A.**  
Elaboración propia.

### **3.2.3. Proceso de producción**

El proceso comienza cuando la harina ingresa a producción, desde tolvas de silo de molino de almacenamiento a silo de almacenamiento de harina (tolva) por medio de una bomba soplante, llevándola hasta la línea de producción de pastas alimenticias a continuación describiremos el proceso de producción:

#### **a.- Silo de harina**

Este equipo es de acero inoxidable y tiene una capacidad de almacenaje de 1800 a 2000 kg. de harina, la cual es llenada a través del impulso por una bomba soplante de tornillo, el cual es activado por unos sensores que se encuentran en el propio silo, estos son tres: Uno de seguridad, nivel mínimo (Este tiene como finalidad dar la señal de que el silo necesita reabastecerse de harina) y el nivel máximo (su finalidad es dar la señal de que el silo ha completado su abastecimiento), los cuales nos muestran por intermedio de unas lámparas en qué nivel se encuentra en cualquier momento de la producción.

El silo cuenta con una electroválvula la cual está conectada a los pistones por medio de unas mangueras de 1/4 pulgadas, ésta se pone en marcha después de haber recibido la señal de los sensores, también cuenta con 2 pares de microswitch los cuales funcionan conjuntamente con la electroválvula y los pistones.

Los pistones son activados (electro neumáticamente) por una compresora de aire, estos se abren cuando el silo necesita abasteciéndose de harina y se cierran al terminar el ciclo de abastecimiento y son activados por orden de los sensores de nivel dando paso a la harina para que siga abasteciéndose al silo siguiente, estos son lubricados por medio de un filtro de aceite o equipo de mantenimiento neumático. (Elaboración propia)

#### **b.- Vibrador**

Este equipo tiene por finalidad de no dejar que la harina se quede pegada a las paredes del silo, con el fin de establecer una dosificación constante y homogénea de harina a la exclusiva, la cual alimentará al dosificador, este equipo consta de un motor que lleva un par de levas la cual se gradúan para generar una determinada vibración al silo.

#### **c.- Exclusa**

Este equipo tiene la finalidad de alimentar la harina al dosificador, su movimiento es transmitido por un motor reductor el cual se une a una cadena de transmisión, la cual mueve a la exclusiva propiamente dicha.

#### **d.- Dosificador**

Este equipo es accionado por un motor reductor el cual mueve un gusano sin fin y así dosifica harina a la mezcladora, la cantidad de dosificación de harina es regulada por un potenciómetro, que regula la velocidad del motor y por ende la cantidad de harina requerida para formar la masa. El caudalímetro, trabaja de manera paralela con el dosificador, el cual permite el ingreso de agua para el amasado, siendo este graduable según la cantidad de flujo que se requiera para el amasado.

La dosificación de agua es dada por un sistema de baterías de tanques con una capacidad de 1100 l, los cuales son distribuidos, 4 en la zona de equipos auxiliares y 2 en la plataforma superior, los 4 que son los A y B, cada vez que lo necesiten, sabiéndose esto por medio de unos sensores de nivel que hacen actuar la bomba automáticamente para su llenado y el prendido de una lámpara indicando que está llenando.

#### **e. Mezcladora**

Este equipo es una batea de acero inoxidable, tiene la finalidad de mezclar homogéneamente el agua con la harina dosificada, esta mezcla permanece en ella por el tiempo de 10 a 15 minutos, haciendo una masa homogénea y granulada, luego entrará continuamente al gusano transversal, esta mezcladora es accionada por un motor reductor que mueve dos ejes, a la vez estos cuentan con un conjunto de paletas que son ellos los que hacen el amasado propiamente dicho.

#### **f. Motor sinfín transversal**

Es un gusano sin fin el cual es accionado por un moto-reductor de 7.5 HP, el cual tiene como finalidad de dosificar masa de la mezcladora al gusano principal. Se regula la velocidad con un potenciómetro el cual trabaja conjuntamente a un variador de velocidad, el cual gradúa la velocidad del gusano de acuerdo a una cantidad de HZ que se requiera.

#### **g. Motor sinfín principal**

Este tiene la finalidad de alimentar la masa compacta y libre de moléculas de aire por una bomba de vacío al cabezal, el cual pasará por un molde ya sea de canuto (pequeño, mediano o grande), caracol, codo liso, codo rayado, conchita, etc.; este es movido por un motor de 40 HP el cual también es regulado su velocidad por un variador, el cual trabaja a una frecuencia deseada según el tipo de fideo a producir, a su vez esta transmitirá una presión el cual es captado por un manómetro, este marca la presión del cabezal. Normalmente la presión de trabajo está entre 1000 a 1400 psi según el tipo de molde a utilizar.

Aquí se encuentra adicionalmente un termómetro que marca la temperatura del cabezal y un vacuómetro que marca la presión del vacío.

#### **h. Ventilador de molde**

Trabaja un motor trifásico de 1 Hp de potencia con impulsor de aire, que tiene como función ventilar el fideo que sale del molde con el fin de darle consistencia y que no se peguen entre sí.

#### **i. Dobladora de Pastas**

Máquina mecánica con control de velocidad mediante variador de frecuencia, consta de tres juegos de paletas de acero inoxidable con los cuales se realiza el doblado de la pasta fresca que sale del molde, la cual deposita en 06 líneas horizontales en bandejas de madera con malla de nylon, llamados bastidores.

#### **j. Túnel de presecado**

Tiene una distancia de 10 metros, recubierta con plancha de fibra de vidrio, Consta en su interior de 08 de motores ventiladores de 0.5 Hp, cada uno con su batería de radiadores por donde se transporta agua caliente. El transporte de las bandejas por el interior del túnel se realiza mediante cadenas, las cuales son transmitidas por un moto-reductor de 1.5 Hp / 150 rpm, teniendo un tiempo de recorrido de 15 minutos.

El control de temperatura se realiza mediante válvulas manuales en cada entrada de agua caliente a los radiadores, cuenta con un termómetro en la parte superior del túnel y la extracción de humedad se realiza mediante un extractor de humedad.

#### **k. Secador de bandejas**

Consta de un compartimiento donde se coloca los anaqueles o bandejas con pasta alimenticia presecada, en cada gabinete ingresan 6 carretillas con 30 bandejas cada una, siendo un total de 180 bandejas con producto a secar.

Cuenta con un tablero eléctrico para el control de motor ventilador y su respectivo cambio de giro (flujo de aire en ambos sentidos) el cual trabaja junto con un radiador por donde fluye agua caliente, que permite generar aire caliente dentro del compartimiento y pueda secar el producto. Consta de dos ventanillas en la parte frontal del secador el cual se regula manualmente para el ingreso de aire fresco, y no genere saturación en el compartimiento. La temperatura en interior del secador es de 35 °C a 40 °C y es controlada mediante válvulas manuales.

El tiempo de duración de secado es entre 16 – 20 horas, lo cual se controlada hasta el final del procesos de secado mediante el criterio de experiencia que tiene el secanero.

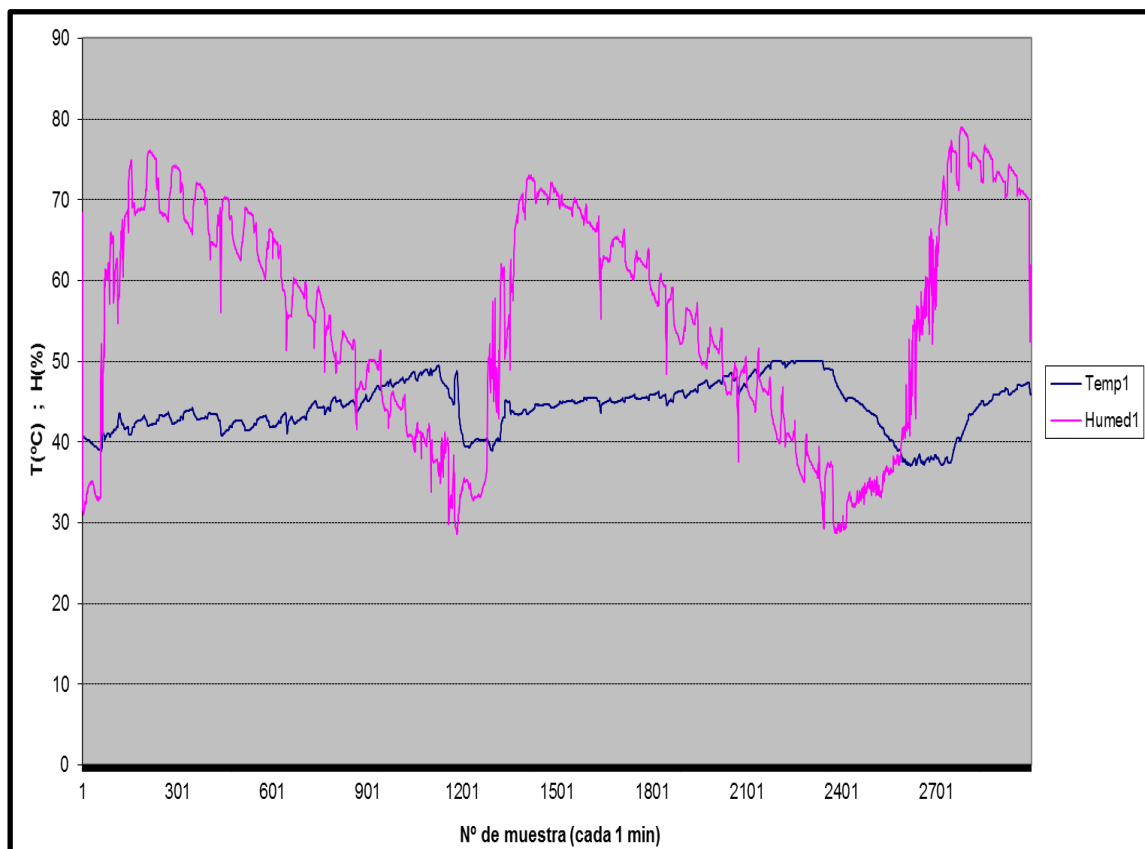
### 3.2.4 Sistema de producción

El sistema de producción actual es DISCONTINUO o también llamado por lotes, teniendo en cuenta que el proceso de secado inicia de la siguiente manera: La primera operación inicia cuando el secador de bandejas se llena con producto a secar (06 carretillas con producto húmedo), después de un tiempo determinado concluye el proceso de secado respectivo (20 horas a 24 horas), para recién pasar el producto al área de envasado final del producto.

#### 3.2.4.1 Proceso de secado actual de pastas alimenticias

Este proceso es controlado manualmente por el operario encargado del área, asumiendo como criterio la experiencia del mismo, para controlar la temperatura, humedad y tiempo de secado, recurriendo a los elementos sensitivos de la persona (ver, tocar, oler).

Por tanto se realizó un monitoreo de las variables de temperatura y humedad dentro del secador, utilizando instrumentos de medición digital (sensor de temperatura y sensor de humedad), dichos valores fueron registrados mediante un software de registro de datos en un cuadro de Excel, obteniendo los siguientes resultados. Ver Figura N° 12.



**Figura 12: Temperatura vs humedad – Secador N°1**

Fuente: Agroindustria y Comercio S.A.

**Parámetros básicos de secado:**

Siendo los parámetros actuales de secado, los siguientes: Ver tabla N°6

- ✓ Temperatura Promedio inicio de secado: 40 °C – 42 °C
- ✓ Humedad relativa Promedio inicio de secado: 65% - 75%
- ✓ Tiempo de secado Promedio: 18 – 20 Horas

**Tabla 6: Datos de Temperatura y humedad en secador N°1**

Tiempo (h)	Tiempo (min)	Temperatura de ambiente (°C)	Humedad de ambiente (%H.R)	Humedad de producto (%H.R)
0	0	42.3	68.3	24% - 26%
4	240	42.3	74	21% - 24%
8	480	41.8	68.1	19% - 21 %
12	720	44	55.4	16% -19%
16	960	47.9	40.9	14% - 16%
17	1020	48.4	41.3	12% - 14%
18	1080	46.6	39.5	9% - 12%

**Fuente: Empresa Agroindustria y Comercio S.A.**

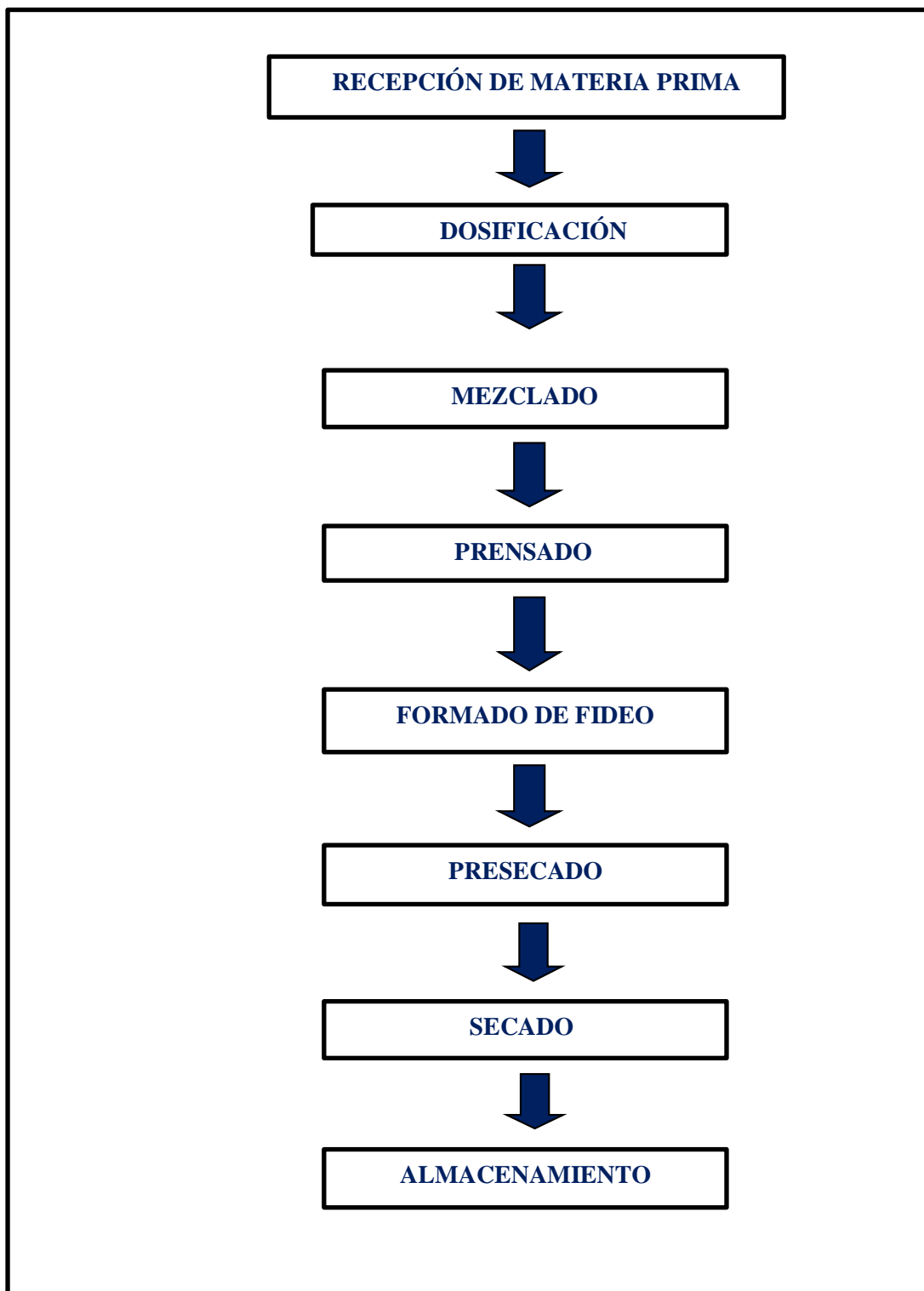
El proceso actual de secado es muy antiguo donde se realiza mucho trabajo manual con controles de variables realizados por la experiencia del operario, tal como lo indica en su investigación “Modelling of high quality pasta drying: mathematical model and validation” Migliori et al (2005).

Este tipo de secado es de baja temperatura tipo LT, con una temperatura promedio de 40 °C y 50°C en un tiempo de secado promedio de 20 horas, siendo este tipo el de mayor tasa de absorción de agua, según la investigación “ Effects of Drying Conditions on Pasta Quality” Zhang et al. (2011).

Por lo tanto para desarrollar un sistema de control de la producción, es indispensable desarrollar un modelo global capaz de simular el proceso de secado. Cabe aclarar que, dicho proceso de secado se basa, además de la acción del aire caliente, fundamentalmente en su baja humedad, lo que crea el potencial impulsor de la humedad desde el producto hacia dicho aire, resultando en una disminución de la humedad de la muestra (Villanueva y Gelinás, 2007).

### 3.2.5. Análisis para el proceso de producción.

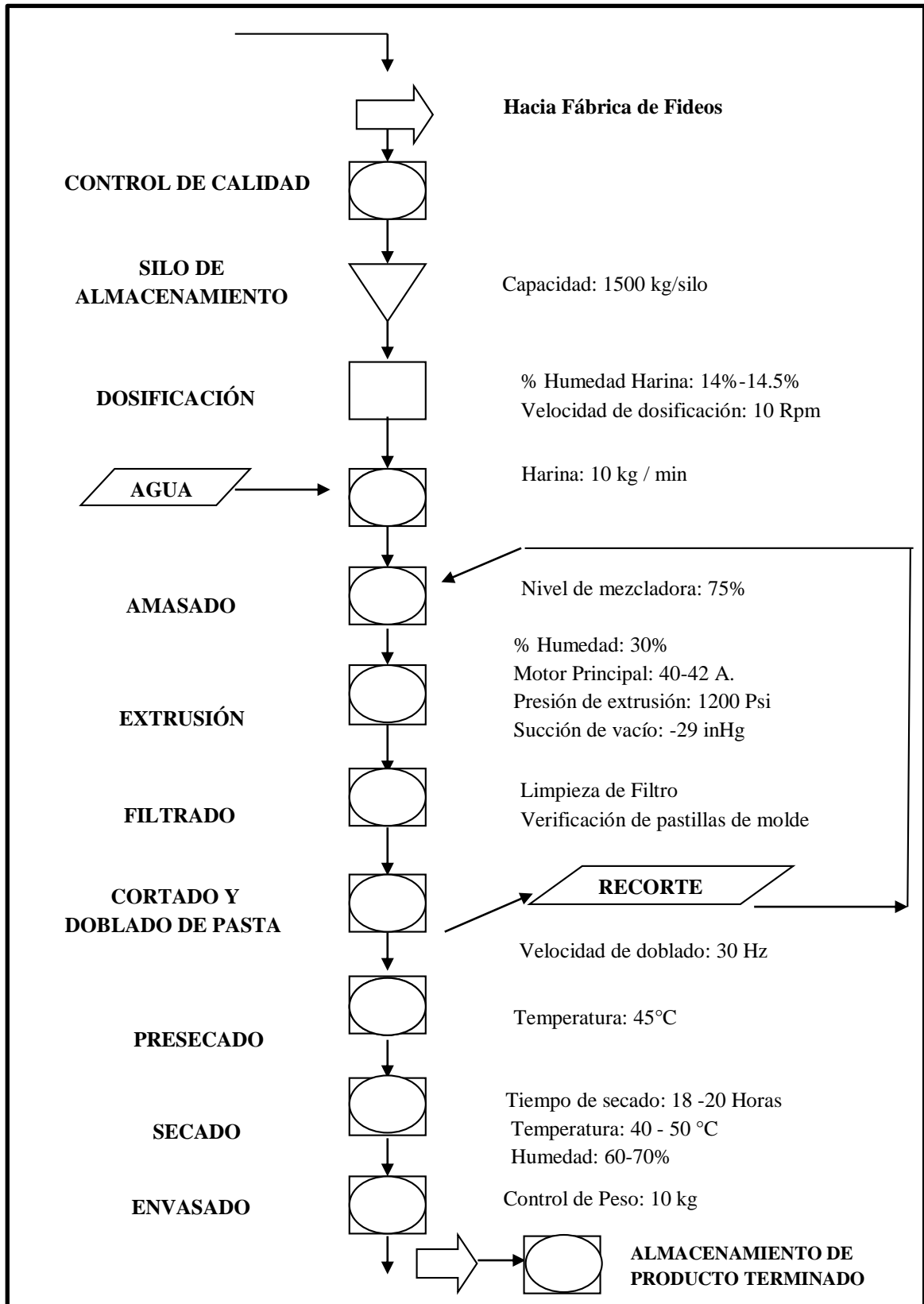
#### A. Diagrama de Flujo de proceso de elaboración de Pastas alimenticias.



**Figura 13: Diagrama de bloques del proceso de elaboración.**

**Fuente:** Empresa Agroindustria y Comercio S.A.

**B. Diagrama de Operaciones del proceso de elaboración de pastas alimenticias.**



**Figura 14: Diagrama de Operaciones**  
Fuente: Empresa Agroindustria y Comercio S.A.

### 3.2.6. Indicadores actuales de producción y productividad.

#### A. Productividad:

##### ✓ Productividad de Materia Prima:

$$P. \text{ materia Prima} = \frac{\text{Producto terminado seco } (\frac{kg}{h})}{\text{Harina de trigo empleado } (\frac{kg}{h})} \times 100\%$$

$$P. \text{ materia Prima} = \frac{390 \text{ kg/h}}{400 \text{ kg/h}} \times 100 = 97.5\%$$

Con respecto a la materia prima. La productividad que existe entre la cantidad de materia prima empleada es de 400 kg/h de harina fideera para producir 390 kg/h de fideos secos, obteniendo como resultado 97.5%.

% Humedad relativa de Harina fideera = 14.5 % CODEX STAN 152-1985

% Humedad relativa de producto terminado= 12% NTP 206.010:1981

% H.R de Harina Fideera – %H.R Pasta alimenticia seca = 14.5% - 12% = 2.5 %

Producción de pastas secas requerida= 400 kg – 10 kg = 390 kg

Producción de pastas secas actual kg/h = ( 9144 kg/día ) / 24 h. = 381 kg/h

**Tabla 7:Productividad materia Prima**

	<b>Producción requerida</b>	<b>Producción actual</b>
Producto terminado (kg/h)	390	381
Harina Fideera ( kg/h)	400	400
<b>Productividad materia Prima</b>	<b>97.5%</b>	<b>95.25%</b>

Fuente: Empresa Agroindustria y Comercio S:A

Con respecto al producto terminado. La productividad que existe entre la cantidad de fideos requeridos es de 390 kg/h de los cuales actualmente se está obteniendo 381 kg/h de fideos secos, obteniendo como resultado 95.25% de productividad, existiendo una pérdida por diversos factores de 2.25% de la producción total.

✓ **Productividad de Mano de Obra:**

$$P. \text{ mano de obra} = \frac{\text{Produc. diaria requerida } (\frac{kg}{\text{día}})}{\text{Total de operarios/día}}$$

$$P. \text{ mano de obra} = \frac{9360 \text{ kg/día}}{16 \text{ operarios}} = 585 \frac{kg}{\text{operario. día}}$$

$$\text{Producto final requerido} = 390 \frac{kg}{h} * 24 h = 9\ 360 \text{ kg/día}$$

$$\text{Producto final envasado actual} = 381 \frac{kg}{h} * 24 h = 9\ 144 \text{ kg/día}$$

**Tabla 8:Productividad Mano de Obra**

	<b>Producción requerida</b>	<b>Producción actual</b>
Producto terminado seco (kg/día)	9360	9144
Total de operarios	16	16
<b>Productividad mano de obra - kg/operario*día</b>	<b>585</b>	<b>571.5</b>

Fuente: Empresa Agroindustria y Comercio S:A

Con respecto a la mano de obra que interviene en el proceso de elaboración de pastas alimenticias, la productividad muestra la relación entre la producción diaria requerida 9360 kg/día de fideo seco y el total de operarios que participan (16 en total) ,08 colaboradores por turno, dando como resultado 585 kg/operario. Día. Siendo actualmente 571.5 kg/operario\*día por tanto no se está aprovechando al máximo al personal respectivo.

✓ **Productividad económica:**

$$P. \text{ económica} = \frac{381 \text{ kg/h}}{S/.640 + 180,0} = S/.0,46 \text{ kg}$$

La productividad respecto al capital muestra la relación entre la producción actual con los costos necesarios para su fabricación como los gastos de producción directos y consumo de suministros; en este caso sería 381 kg/h entre la suma de los costos de insumos, por lo que se necesitan S/. 0,46 para producir un kilogramo por hora.

**B. Capacidad: Diseñada, Real, Utilizada, Ociosa**

✓ **Capacidad diseñada:**

$$\text{Capacidad diseñada} = 14500 \frac{\text{kg}}{\text{día}} = 604.1 \text{ kg/h}$$

✓ **Capacidad real:**

$$\text{Capacidad real} = 12000 \frac{\text{kg}}{\text{día}} = 500 \text{ kg/h}$$

La capacidad real de la planta es la producción que la empresa espera alcanzar a través de la combinación de su producto, programación y estándares de calidad, siendo ésta de 500 kg/h.

✓ **Capacidad utilizada:**

$$\text{Capacidad utilizada} = 9144 \frac{\text{kg}}{\text{día}} = 381 \text{ kg/h}$$

La capacidad empleada es la producción actual siendo ésta de 384 kg/h.

✓ **Capacidad ociosa:**

$$\text{Capacidad ociosa} = 500 \frac{\text{kg}}{\text{h}} - 381 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 119 \text{ kg}$$

La capacidad ociosa representa la cantidad que se está dejando de producir, es decir la diferencia entre la capacidad real y la capacidad utilizada, siendo ésta de 119 kg/h.

### C. Producción

Respecto a la producción de producto terminado de fideo en presentación de bolsas por 10 kg, se tiene una entrada de 390 kg/h fideos producidos con una salida de 381 kg/h fideos secos, siendo una producción total de 9144 kg/día lo cual equivale a 914 bolsas/día.

$$\text{Entrada} = 390 \text{ kg/h}$$

$$\text{Salida} = 381 \text{ kg/h}$$

$$\text{Producto final} = 381 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 24 \text{ h} = 9144 \text{ kg/día}$$

$$\text{Producto final} = \frac{9144 \frac{\text{kg}}{\text{día}}}{10 \text{kg}} = 914 \text{ bolsas/día}$$

#### Productividad Producto terminado:

$$P. \text{ producto terminado} = \frac{381 \text{ kg/h}}{390 \text{ kg/h}} * 100 = 97.7\%$$

Con respecto al producto terminado. La productividad que existe entre la cantidad de fideos producidos es de 390 kg/h de los cuales actualmente se está obteniendo 381 kg/h de fideos secos, obteniendo como resultado 97.7%. existiendo una pérdida por diversos factores de 2.3% de la producción total.

#### Productividad Mano de obra-área de envasado (actual):

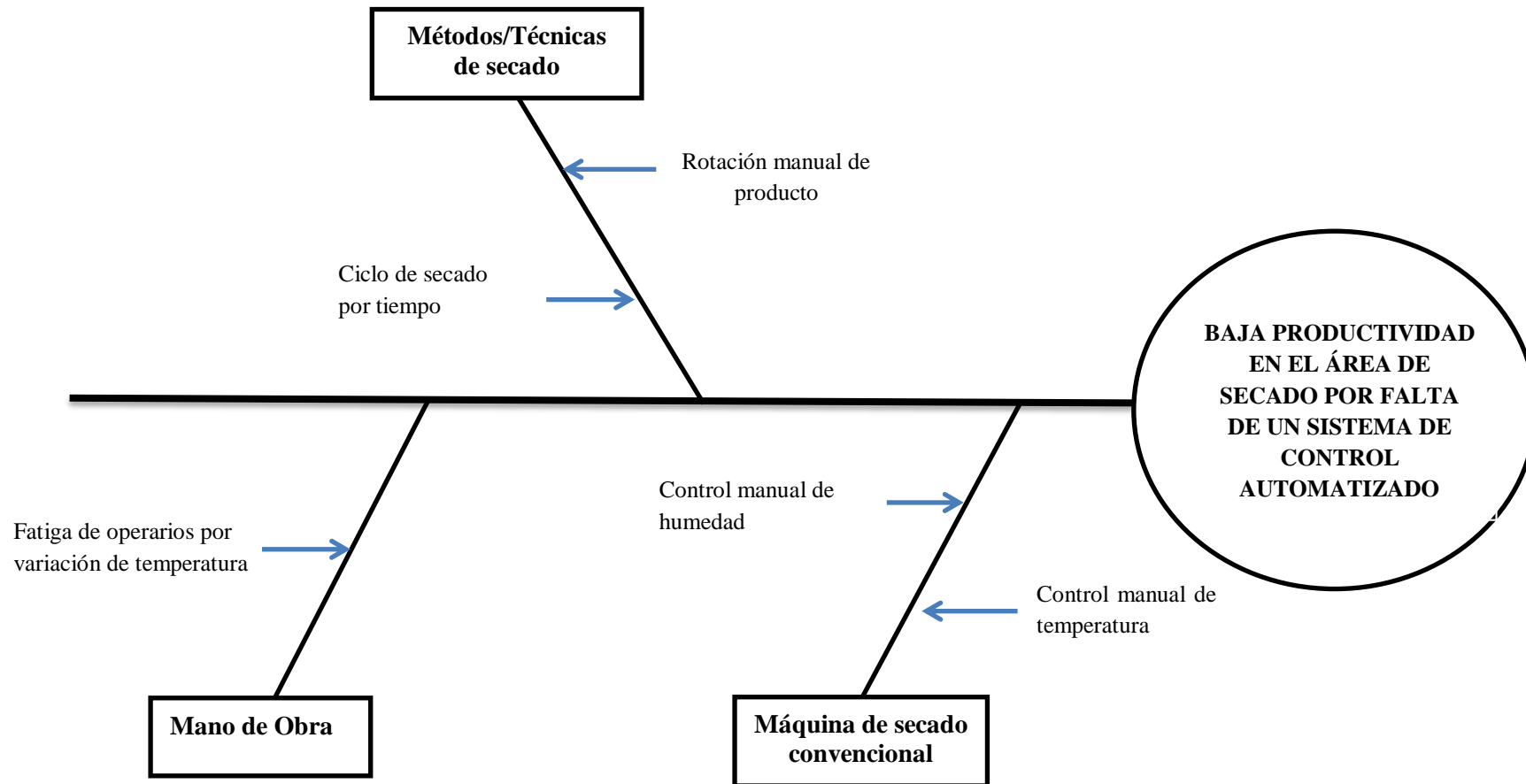
Indicador actual de Productividad – mano de obra (turno A).

$$P_{\text{mano de obra}} = \frac{3900 \text{ kg}}{12 \text{ horas} * 4 \text{ operarios}} = 81.25 \frac{\text{kg}}{\text{horas}} \text{ hombre}$$

#### Productividad Mano de obra-área de envasado (requerido):

$$P_{\text{mano de obra}} = \frac{4572 \text{ kg}}{12 \text{ horas} * 4 \text{ operarios}} = 95.25 \frac{\text{kg}}{\text{horas}} \text{ hombre}$$

### 3.3. IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS EN EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN Y SUS CAUSAS



**Figura 15: Diagrama de Ishikawa**  
FUENTE: Agroindustria y comercio S.A.

### 3.3.1.- Diagnóstico por causas:

#### A) Mano de obra:

A. **Causa:** Fatiga del trabajador en la etapa de secado por cambio de temperatura.

#### **Evidencias:**

El área de secado es la más crítica de todas las operaciones que existen dentro de proceso productivo. Cuenta con dos operarios, uno es el responsable de secado (controlista de secado) y un ayudante de secado, los cuales desertan del puesto comúnmente por la fatiga que les genera la temperatura en el ambiente de trabajo la cual fluctúa entre 38°C y 45°C.

Sus labores son de 12 horas continuas, teniendo como funciones principales: transportar el producto en carretillas al secador (ver figura N° 16), luego realizar la rotación del mismo cada 04 horas por un espacio de 15 a 20 minutos, y luego retirar el producto seco del secador estático, exponiéndose al cambio de temperatura cada cierto tiempo, lo cual genera al trabajador deshidratación, esto conlleva a retrasar el trabajo por motivos de hidratación al operario controlista de secado (beber agua) como se muestra en la figura N°17.



**Figura 16: Operario ingresando producto a secador**

Fuente: Empresa Agroindustria y Comercio S.A.



**Figura 17: Operario de secado, hidratándose**

Fuente: Empresa Agroindustria y Comercio S.A.

Teniendo en cuenta que el control de secado no es constante, el controlista de secado es responsable del área de envasado junto a su ayudante, por tanto los operarios (02) de secado realizan la supervisión y control manual del producto envasado, como se muestra en la figura N°18. Esto genera cansancio y fatiga en los operarios, ya que cada cierto tiempo tienen que ingresar al área de mayor temperatura para el transporte y rotación del producto mermando su desenvolvimiento y generando una baja productividad en el envasado por cansancio.



**Figura 18: Controlador de secado supervisando el producto**

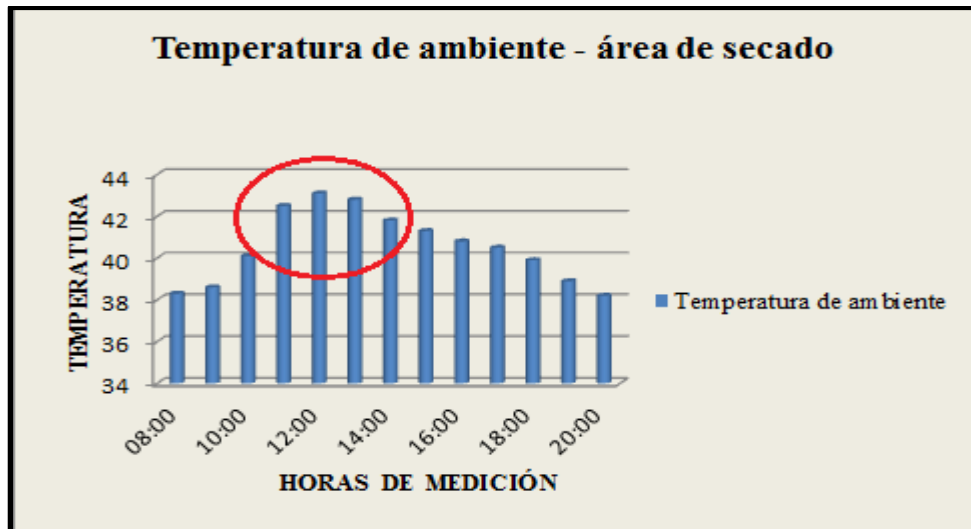
**Fuente:** Empresa Agroindustria y Comercio S.A.

Para evidenciar la fatiga en los operarios por exceso de temperatura, al realizar las operaciones de transporte y control del secado, se realiza las mediciones de temperatura en el turno A, desde las 8:00 a.m. hasta las 8:00 p.m. Ver tabla N°9, y se pudo evaluar que entre las 11:00 a.m. y 2:00 p.m. la temperatura se encuentra en los puntos más altos, notándose mejor en el gráfico que relaciona la hora de medición y la temperatura tomada en el área de secado. Ver figura N°19.

**Tabla 9:Medición de temperatura en el área de secado**

<b>Fecha: 29 de Octubre 2016</b>	
<b>Área: Secado de Pastas Alimenticias</b>	
<b>Hora</b>	<b>Temperatura de ambiente externo (°C)</b>
08:00	38.3
09:00	38.6
10:00	40.1
11:00	42.5
12:00	43.1
13:00	42.8
14:00	41.4
15:00	41.3
16:00	40.8
17:00	40.5
18:00	39.9
19:00	38.9
20:00	38.2

**Fuente:** Empresa Agroindustria y Comercio S.A



**Figura 19: Temperatura ambiente vs Hora de medición**

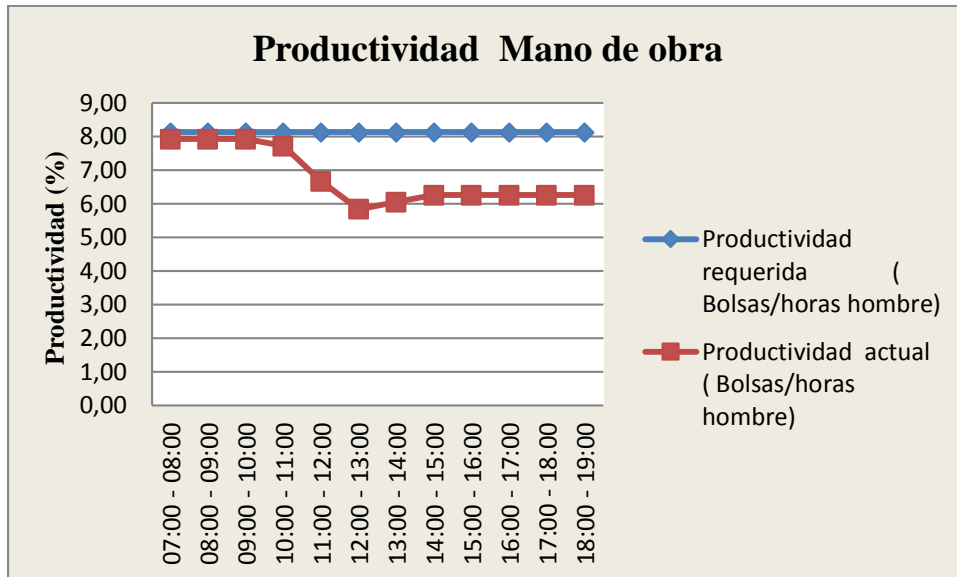
Fuente: Agroindustria y Comercio S.A.

Se realizó un seguimiento de la producción por hora, en el turno A ( 07:00 a.m. hasta 7:00 p.m.) donde se pudo notar el rendimiento de los trabajadores, siendo las primeras horas de máxima eficiencia, ya que llegan el 100 % del rendimiento requerido, luego conforme va pasando el tiempo, los 02 operarios de secado (el controlador de secado y ayudante), realizan más esfuerzo físico , ya que transportan las carretillas( ingreso y salida) y realizan la rotación del producto cada 4 horas, durante todo el turno disminuyendo con el tiempo su rendimiento, producto de la fatiga por el exceso de temperatura. Ver tabla N°10.

**Tabla 10:Productividad M. de obra requerida vs Productividad M. de obra actual**

Fecha	Hora de trabajo	Producción realizada ( kg)	Producción requerida (kg)	Productividad requerida ( Bolsas/horas hombre)	Productividad actual ( Bolsas/horas hombre)
08/10/2016	07:00 - 08:00	380	390	8.13	7.92
08/10/2016	08:00 - 09:00	380	390	8.13	7.92
08/10/2016	09:00 - 10:00	380	390	8.13	7.92
08/10/2016	10:00 - 11:00	370	390	8.13	7.71
08/10/2016	11:00 - 12:00	320	390	8.13	6.67
08/10/2016	12:00 - 13:00	280	390	8.13	5.83
08/10/2016	13:00 - 14:00	290	390	8.13	6.04
08/10/2016	14:00 - 15:00	300	390	8.13	6.25
08/10/2016	15:00 - 16:00	300	390	8.13	6.25
08/10/2016	16:00 - 17:00	300	390	8.13	6.25
08/10/2016	17:00 - 18:00	300	390	8.13	6.25
08/10/2016	18:00 - 19:00	300	390	8.13	6.25
		3900	4680		<b>81.25</b>

Fuente: Empresa Agroindustria y Comercio S.A.



**Figura 20: Gráfico de productividad de mano de obra**  
**Fuente:** Agroindustria y Comercio S.A.

En la figura N°20, se puede apreciar como la productividad va descendiendo conforme pasa las horas, esto se debe a que los operarios de secado se fatigan producto de la exposición a temperaturas elevadas, dentro de la cabina de secado, al realizar las rotaciones del producto.

Por tanto la productividad actual es de 81,25 kg/horas hombre, siendo mucho menor a la productividad requerida 95.25 kg/horas hombre.

**Indicador actual de Productividad – mano de obra (turno A).**

$$P_{\text{Mano obra}} = \frac{\text{Producción diaria}}{12 \text{ horas} * 4 \text{ operarios}}$$

$$P_{\text{Mano obra}} = \frac{3900 \text{ kg}}{12 \text{ horas} * 4 \text{ operarios}} = 81.25 \frac{\text{kg}}{\text{horas hombre}}$$

**Impacto económico:**

El impacto económico en este caso se da en el rendimiento de los operarios del área de secado, pues los cambios de temperatura a los que son expuestos en cada rotación del producto, genera fatiga y cansancio, lo cual merma en el rendimiento final de la producción.

En la siguiente tabla N°11, se puede observar que la programación mensual de producción es de 780 bolsas x 10 kg (21840 kg de fideos) mensuales, perdiendo un aproximado de 0.025% mensual de su producción programada, esto debido al bajo rendimiento de los operarios por cansancio, teniendo que parar la máquina hasta que exista abastecimiento de carretillas Dejando de producir anualmente aproximadamente 260 bolsas x 10 kg. Siendo un total de 2 600 kg. de fideos. Por tanto el costo anual por baja productividad debido a la mano de obra actualmente es de 6,600 nuevos soles.

También es importante recalcar que el cambio de temperatura (choque térmico)es perjudicial para la salud de los operarios, pudiendo demandar pagos por descanso médicos, a la vez sufrir una sanción económica por exponer a los trabajadores a cambios bruscos de temperatura, afectando la salud de los trabajadores.

Siendo esta sanción económica entre 6 a 10 UIT lo que equivaldría a un desembolso de la empresa de S/. 37150,00 Nuevos soles.

**Tabla 11:Producción requerida y Producción real 2016**

Mes	Días de producción	Producción Programada (bolsas x10 kg)	Producción Real (bolsas x 10 kg)	Productividad Mano de obra	Producción no ejecutada (bolsas x 10 kg)	Perdida por producción no ejecutada (s/.)
Febrero	28	21840	21800	81.10	40	1 200,00
Marzo	28	21840	21820	81.18	20	600,00
Abril	28	21840	21790	81.06	50	1 500,00
Mayo	28	21840	21840	81.25	0	0.00
Junio	28	21840	21800	81.10	40	1 200,00
Julio	28	21840	21800	81.10	40	1 200,00
Agosto	28	21840	21810	81.14	30	900,00
Setiembre	28	21840	21810	81.14	30	900,00
Octubre	28	21840	21830	81.21	10	300,00
					<b>260</b>	<b>6 600,00</b>

**Fuente: Empresa Agroindustria y Comercio S.A.**

Elaboración propia.

## B) Métodos - Técnicas de secado:

### a) Causa: Rotación manual de producto

#### Evidencias:

Esta causa es una de las más críticas en el área de secado, pues en esta etapa se tiene que abrir las puertas de secador estático para girar las carretillas (figura N° 21) con el fin de homogenizar el secado de todas las bandejas que se encuentran en el interior del mismo.

Esta acción genera un desfase en el control de secado, ya que existe un cambio brusco de temperatura, y pérdida de humedad relativa en el ambiente, pues en muchos casos se tiene que apagar el motor ventilador para realizar esta actividad. El operario realiza la rotación respectiva de las carretillas dentro del secador, el cual tendrá un tiempo de duración entre 5 a 10 minutos, como se muestra en la figura N° 22.



**Figura 21: Operario retirando producto del secador**  
Fuente: Agroindustria y Comercio S.A.



**Figura 22: Rotación de carretillas en interior de secado**  
Fuente: Agroindustria y Comercio S.A.

En el siguiente curso grama analítico (Ver Tabla N° 12) se puede evidenciar el tiempo que demora el operario en realizar la rotación de las carretillas dentro del secador, tomando como punto de inicio el área de envasado, puesto de trabajo donde se desempeña como jefe de área y controlador de secado, ya que la operación de rotación se realiza cada 4 horas.

**Tabla 12:Curso grama Analítico de rotación de carretillas**

CURSOGRAMA ANALÍTICO DE ROTACIÓN DE CARRETILLAS									
Diagrama no.01 Hoja: 01 de 01				Resumen					
Producto: pastas alimenticias				Actividad		Actual	Propuest o		
Actividad: Rotación de carretillas				Operación					
Método: actual				Inspección					
				Espera					
				Transporte					
				Almacenamiento					
Lugar: Área de secado				Distancia (mts.)		44 m			
Operario (s): 02 Ficha no.01				Tiempo (hrs.-hom.)		19.9 min			
Compuesto por: Secanero				Costo		S/ 5,00			
Aprobado por: Jefe de producción				Mano de obra					
Fecha:02/11/2016				TOTAL					
Fecha:									
DESCRIPCIÓN	Cantidad	Distancia (m)	Tiempo (min)	Actividad					OBSERVACIONES
				○	□	◇	⇨	▽	
Transportarse hacia secador estático	1	8	0.50					x	
Cierra válvula de agua caliente			0.20	x					
Desenergiza interruptor manual de tablero eléctrico			0.10	x					
Abre puerta de secador estático			0.30	x					
Retira carretillas de secador estático		3	4					x	
Inspecciona producto de manea visual			0.80		x				
Retorna carretillas a secador		3	4					x	
Cierra puerta de secador estático			0.30	x					
Operario va desde área de envasado hacia el secador			0.20	x					
Energiza control manual de tablero eléctrico			0.50	x					
Apunta en cuaderno la rotación realizada		8	1				x		
Operario se va a vestuario cambiarse de polo		10	5					x	
Retorno al área de envasado		10	3					x	
TOTAL	1	42	19.9						

FUENTE: Empresa Agroindustria y Comercio S.A.

En el siguiente cursograma se puede analizar el tiempo efectivo utilizado operario para la rotación del producto (10.4 min.), así como el tiempo que pierde el operario transportándose en cada rotación realizada (9.5 min.).

La eficiencia en este tipo de actividad es muy crítica, pues casi el 50 % de tiempo el operario se la pasa transportándose, siendo ineficiente su labor, como demuestra el siguiente indicador.

$$Ef. \text{ rotación del producto} = \frac{\text{Tiempo efectivo utilizado}(\text{min})}{\text{Tiempo total requerido}(\text{min})}$$

$$Ef. \text{ rotación del producto} = \frac{10.4(\text{min})}{19.9(\text{min})} = 52.2\%$$

### Impacto económico:

En este caso el impacto económico se ve reflejado en el tiempo que el operario utiliza para realizar las rotaciones del producto dentro del secador. En el cursograma analítico se aprecia que esta actividad demanda un tiempo de 20 minutos por rotación, siendo 4 rotaciones que se realiza por cabina de secado, existiendo 10 secadores para pastas con el mismo proceso de secado. Teniendo en cuenta que el proceso dura entre 18 a 20 horas desde que inicia el secado.

El costo mensual por tiempo utilizado en la rotación del producto según tabla N°13, es de 1,400 nuevos soles. Este valor sale del salario diario del operario el cual es de S/. 45,00 por 12 horas, siendo este dato de S/. 3,75 soles / Hora, como muestra la tabla N°14. Por tanto el costo anual por tiempo de rotación de carretillas es de S/. 16,800 nuevos soles, lo cual la empresa estaría pagando por dicha actividad.

**Tabla 13: Costo mensual por tiempo utilizado en rotación de producto - 2016**

N° de Rotaciones x secador	T.utilizado x rotación (min)	T.total utilizado (min)	N° de secadores	Total de tiempo utilizado /diario (min)	T. total mensual (min)	Costo mensual del tiempo utilizado (S/.)
4	20	80	10	800	22400	1 400.00

**Fuente: Agroindustria y Comercio S.A.**

Elaboración propia.

**Tabla 14: Sueldo Básico de Operarios de Producción**

Puesto Laboral	Horas de Trabajo	Sueldo básico diario (S/.)	Costo por hora de Trabajo (S/.)
Maquinista	12	40	3.3
Ayudante de maquinista	12	30	2.5
Tunelero	12	30	2.5
Controlador de secado	12	45	3.75
Envasador 1	12	40	3.33
ayudante envasado	12	35	2.92

**Fuente: Agroindustria y Comercio S.A.**

Elaboración propia

b) **Causa:** Ciclo de secado por tiempo.

**Evidencias:**

En esta causa, se tuvo en cuenta la forma como se realiza el control de ciclo de secado del producto, el cual se inicia desde que se ingresa la última carretilla con producto a la cabina de secado, hasta la última rotación realizada por el operario. El control que se realiza es mediante tiempos supervisados y registrados por el operario responsable de secado, quien utiliza un formato de control de ciclo de secado del producto implementado por la empresa, como se muestra en la siguiente Figura N°23.

Esta operación inicia, cuando se ingresa el total del producto a la cabina de secado (08 carretillas), luego el operario responsable apunta cada ocurrencia según el tiempo que transcurre en el ciclo de secado como son: inicio de secado, rotaciones del producto, hora final de secado, observaciones, como se puede apreciar en la figura N°24.

FECHA	DATOS
TIPO DE PRODUCTO	
HORA DE INICIO	
1RA ROTACIÓN	
2DA ROTACIÓN	
3RA ROTACIÓN	
4TA ROTACIÓN	
FINAL DE SECADO	
OBSERVACIONES	

**Figura 23: Formato para control de rotación del producto**  
Fuente: Agroindustria y Comercio S.A.



**Figura 24: Registro de hora de rotación del producto**  
Fuente: Agroindustria y Comercio S.A.

Este tipo de secado por tiempo, mediante el control existente no garantiza que se cumpla con todas las operaciones destinadas a este proceso, mostrando deficiencias de factor humano como: Falta de rotación, rotación a destiempo, no activación de sistemas de control manual, que han generado reproceso en el producto final, en los 3 últimos años como se muestra en la tabla N° 13.

El no contar con indicadores visibles de temperatura del proceso de secado (termómetro), también afecta al producto final, así como la apertura de las puertas a la hora de realizar cada rotación del producto, pues existe pérdida de temperatura y humedad dentro de la misma, que no se recupera.

Con la propuesta de sistema de control automatizado en esta etapa, el producto no tendría que realizarse ninguna rotación del producto, y el control no sería por tiempos si no por variables físicas controladas por un sistema de control de manera automática.

**Tabla 15:Reproceso generado por mal control de ciclo de secado**

Año	Mes	Producción Anual (kg)	Reproceso generado (kg)	Reproceso total anual (kg)	Perdida de producción por cabina de secado (%)	Nº de Cabina de secado	Observaciones
2014	Abril	2 620 800	600	1400	75	2	Válvula de agua caliente cerrada
2014	Octubre		300		37.5	8	Faltó 3ra Rotación
2014	Diciembre		500		62.5	10	No se reguló válvula de agua caliente
2015	Mayo	2 620 800	450	1850	56.3	2	Faltó 2da Rotación
2015	Agosto		500		62.5	6	Motor ventilador apagado
2015	Setiembre		600		75	2	Válvula de agua caliente cerrada
2015	Octubre		300		37.5	8	Faltó 3ra Rotación
2016	Febrero	2 184 000	600	950	75	10	Motor ventilador apagado
2016	Abril		350		43.8	2	Faltó 2da Rotación

**Fuente:Empresa Agroindustria y Comercio S.A.**

Elaboración propia a partir de control de calidad .

### **Indicador actual de pérdida de producto Anual en ciclo de secado por tiempo**

Este indicador se obtiene de los reprocesos generados en el año 2015, producto de un mal control de secado del producto, siendo este valor de 1850 kg de reproceso ENTRE la producción anual, siendo el la perdida por reproceso de 0.053%.

$$Rto\ ciclo\ de\ secado = \frac{Producto\ reproceso\ anual(kg)}{Producción\ anual\ (kg)}$$

$$Rto\ ciclo\ de\ secado = \frac{1\ 850(kg)}{2620800\ (kg)}=0.053\%$$

## Impacto económico:

Por tanto el impacto económico que genera esta causa está reflejado en el reproceso generado por el mal control de secado por tiempos. Siendo la pérdida económica más alta en el año 2015, con errores cometidos en 4 meses distintos, por faltas de supervisión y control de parte del operario de secado, al realizar operaciones básicas en el ciclo de secado, lo cual generó 1850 kg de fideo reprocesado, teniendo en cuenta que actualmente el kilo de fideos en el mercado cuesta S/.3.00 nuevos soles, haciendo un total de S/.5, 550, 00 nuevos soles lo que la empresa deja de producir anualmente. Tal como muestra la tabla N°16.

**Tabla 16: Pérdida económica por reproceso**

Año	Reproceso generado (kg)	Pérdida económica (S/.)
2014	600	4 200,00
2014	300	
2014	500	
2015	450	5 550,00
2015	500	
2015	600	
2015	300	
2016	600	2 850,00
2016	350	

**Fuente: Empresa Agroindustria y Comercio S.A.**

## C) Máquina de secado convencional:

**A. Causa:** Control manual de temperatura en interior de cabina de secado

### Evidencias:

Este control se realiza de forma manual, regulando una válvula tipo palanca ubicada en una tubería de fierro galvanizado, como se observa en la figura N°25, por donde pasa agua caliente a 90 °C que van hacia los radiadores instalados en la parte interior superior del secador sin tener acceso visible a la temperatura actual del proceso. Esta operación se realiza en cuatro etapas: (ver en la tabla N° 17)

- 1.- Cuando la cabina de secado esta sin producto en bandejas, el operario cierra la válvula tipo palanca, para evitar la pérdida de calor en el interior del ambiente.
- 2.- Cuando se llena la cabina de secado con producto, el operario realiza la apertura de la válvula tipo palanca al 100% para que ingrese agua caliente a los radiadores en el interior de la cámara de secado.

3.- Cuando el proceso de secado está en la 2da. Rotación, el operario regula la válvula tipo palanca dejando solo el 75 % de apertura, con el fin de reducir la cantidad de calor en el interior de la cabina de secado.

4.- Cuando el proceso está en la 4ta. Rotación, se regula la válvula tipo palanca al 25 % de apertura, pues ya el producto está terminando su ciclo de secado, y se tiene que bajar la temperatura en la cabina de secado. Terminado el ciclo de secado, se realiza el cierre total de la válvula (0%) se empieza a retirar al producto del interior para su envasado.



**Figura 25: Manipulación de válvula de agua caliente**

**Fuente:** Empresa Agroindustria y Comercio S.A.

**Tabla 17: Posición de Válvula tipo palanca**

Posición ABIERTA de válvula tipo palanca	Actividad en cabina de secado
100%	Inicia ciclo de secado
75%	2da Rotación
25%	4ta Rotación
0%	Final de ciclo de secado
	Sin Producto

**Fuente:** Agroindustria y Comercio S.A.

Elaboración propia

El control manual de temperatura, mediante válvulas tipo palanca, no cuenta con un indicador de temperatura (termómetro) dentro de la cabina de secado, la cual solo se trabaja con la posición de válvulas, antes mencionado, generando un producto quebradizo debido al encartonamiento del fideo, el cual genera una capa, que no permite retirar toda la humedad interna del mismo, generando un producto trizado o resquebrajado y débil, siendo los laterales de las bandejas que contiene el producto, las más afectadas. (ver figura N° 26).



**Figura 26: Producto trizado/resquebradizo**

**Fuente:** Empresa Agroindustria y Comercio S.A.

Todo producto que se encuentra trizado en las bandejas a la hora que sale de la cabina de secado, tiene que ser separado y envasado a granel para su remolienda, ver la Figura N°27, donde se aprecia el arrumado de producto trizado, el cual debe ser llevado para su procesamiento, generando mayor costo de fabricación.



**Figura 27: Producto trizado/quebradizo en almacén**

**Fuente:** Empresa Agroindustria y Comercio S.A.

En la siguiente tabla N° 18, se puede apreciar la producción mensual correspondiente al mes de octubre del 2016, y el reproceso generado por cada turno de trabajo, al escoger el producto trizado y separarlos para el reproceso, esto debido a un control manual de temperatura, siendo la pérdida de producción por fideo trizado de 1% aproximadamente.

**Tabla 18:Reproceso generado por control manual de temperatura**

<b>Día</b>	<b>Producción ( kg) A</b>	<b>Turno A</b>	<b>Turno B</b>	<b>Reproceso por fideo trizado (Kg)</b>
01/10/2016	7700	40	35	75
02/10/2016	7780	35	39	74
03/10/2016	7780	38	42	80
04/10/2016	7750	38	38	76
05/10/2016	7780	41	32	73
06/10/2016	7760	39	42	81
07/10/2016	7780	33	45	78
08/10/2016	7780	38	40	78
09/10/2016	7780	40	41	81
10/10/2016	7780	41	39	80
11/10/2016	7780	25	40	65
12/10/2016	7800	38	42	80
13/10/2016	7850	36	39	75
14/10/2016	7780	35	41	76
15/10/2016	7790	45	25	70
16/10/2016	7800	35	39	74
17/10/2016	7780	42	36	78
18/10/2016	7780	38	40	78
19/10/2016	7810	33	39	72
20/10/2016	7760	39	45	84
21/10/2016	7800	44	41	85
22/10/2016	7700	31	45	76
23/10/2016	7780	33	48	81
24/10/2016	7760	31	30	61
25/10/2016	7750	29	51	80
26/10/2016	7780	39	42	81
27/10/2016	7780	42	38	80
28/10/2016	7760	38	39	77
	<b>217710</b>			<b>2149</b>

**Fuente: Empresa Agroindustria y Comercio S.A.**

Elaboración propia

### **Impacto económico:**

En la siguiente tabla N° 19, se evaluó el impacto económico que genera el reproceso por la falta de control de temperatura automático, obteniendo un producto trizado como parte de la selección a la hora de envasar. Siendo uno de los puntos críticos, pues es donde se genera la mayor pérdida económica para la empresa.

La reproceso generado equivale al 1% de la producción anual, lo que significa una pérdida económica de S/. 58 769.40 Nuevos soles.

$$Rto\ volumen = \frac{Producto\ trizado\ (kg)}{Producción\ programada(kg)}$$

$$Rto\ volumen = \frac{19589.8\ (kg)}{1966590(kg)} = 0.99\%$$

**Tabla 19: Costo por reproceso generado por producto trizado**

Mes	Días de producción	Producción mensual (kg)	Reproceso mensual (kg)	Costo por reproceso (S./)
Febrero	28	218400	2184.0	6552.00
Marzo	28	218900	2200.0	6600.00
Abril	28	219200	2192.0	6576.00
Mayo	28	218420	2150.0	6450.00
Junio	28	218400	2184.0	6552.00
Julio	28	218680	2186.8	6560.40
Agosto	28	218480	2160.0	6480.00
Setiembre	28	218400	2184.0	6552.00
Octubre	28	217710	2149.0	6447.00
		<b>1966590</b>	<b>19589.8</b>	<b>58769.40</b>

**Fuente: Empresa Agroindustria y Comercio S.A.**  
Elaboración propia

**B. Causa:** Control manual de Humedad Relativa

**Evidencias:**

Esta causa es uno de los problemas más graves que existen para la baja productividad en la etapa de secado. El control manual de humedad empieza por la parte sensitiva del operario de secado, quien en todo momento utiliza el tacto, la visión y el gusto, para definir si el proceso de secado está dentro de los márgenes de humedad requeridos.

Para ello cuenta con 02 rejillas (ventanas) en la parte inferior del secador, el cual es regulado de manera manual por el controlista de secado. Teniendo cinco etapas bien definidas por el operario:

1ra etapa: El operario apertura las rejillas al 100% al iniciar el proceso de secado, ya que, en ese momento existe mayor humedad propia del producto húmedo que ingresa a secar.

2da etapa: Pasado las primeras 4 horas de secado del producto, el operario cierra las rejillas al 75% asumiendo que existe menos humedad dentro del secador.

3ra etapa: A las 8 horas de secado del producto, el operario cierra las rejillas al 50% para que mantenga la humedad dentro del secador, y así pueda secar el producto correctamente.

4ta etapa: A las 12 horas de secado del producto, el operario cierra al 25% las rejillas para que se mantenga la humedad dentro del secador y el producto no se reseque externamente.

5ta etapa: Cuando el producto ya está por secar según el control manual del operario dado por tiempo y las muestras realizadas en el laboratorio, se cierran totalmente las rejillas. Hasta que este sea retirado de la cámara de secado para su envasado.

El responsable de secado, revisa el producto que está por terminar su tiempo de secado y envía muestra del mismo, al laboratorio de calidad para realizar las mediciones de humedad, (ver figura N° 28). Antes de realizar el cierre total de las rejillas de entrada y salida de humedad.



**Figura 28: Medición de humedad de producto**

**Fuente:** Empresa Agroindustria y Comercio S.A.

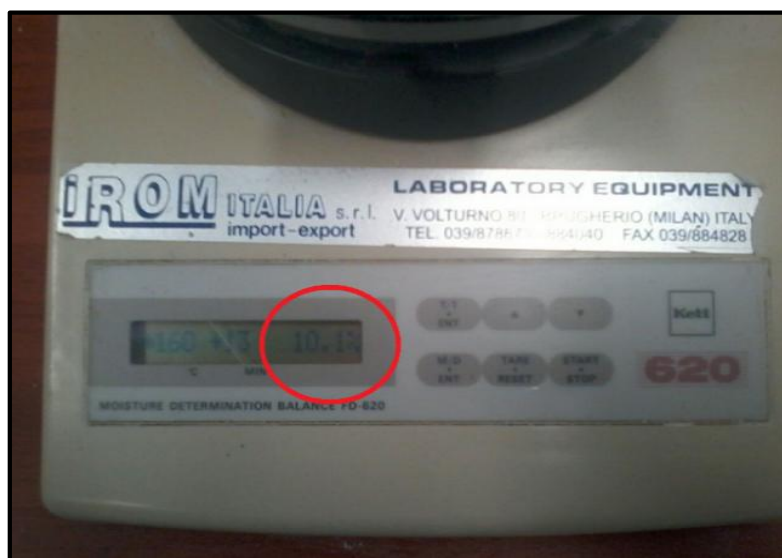
Teniendo luego el dato, se informa al responsable de secado para envasar o no el producto, en muchos casos le falta secar, y se le da más tiempo de secado, apuntando en el formato de control las observaciones encontradas. (ver la figura N° 29), esto ocasiona perder la homogeneidad del secado del producto y por ende se reseca , generando pérdidas económicas para la empresa.



**Figura 29: Observaciones en cabina de secado**

**Fuente:** Empresa Agroindustria y Comercio S.A.

En este caso se evidencia que el producto, tiene 10.1% de humedad final (Ver figura N°30), estando apto para envasar, pero con baja humedad el cual no llega al valor que define sus especificaciones técnicas (HR = 12.5%) lo que se evidencia en el peso del producto final, ya que al existir menos humedad del producto, también habrá menos peso del mismo, reduciendo su productividad debido a la baja humedad del producto.



**Figura 30: Humedad del producto 10.1%**

**Fuente:** Empresa Agroindustria y Comercio S.A.

En el siguiente cuadro (ver tabla N° 20), se verificó el control de humedad del producto que se realiza en la termo balanza por secador antes de pasar al área de envasado, quedando evidencia que la humedad del producto está por debajo de los valor específicos (12.5 %), mermando en la calidad y productividad del mismo. Se recogió información del controlador de secado, y bajo su experiencia comenta que el producto tiene que estar bien seco (muestreo por contacto) para que no se resquebraje el producto en la bolsa.

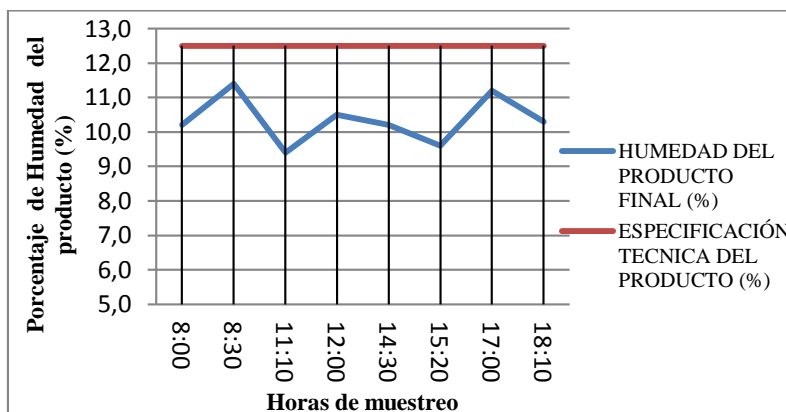
**Tabla 20: Humedad relativa del producto final en los secadores estáticos**

FECHA	HORA DE MUESTREO	HUMEDAD DEL PRODUCTO FINAL (%)	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DEL PRODUCTO (%)	SECADOR ESTÁTICO (N°)
08/10/2016	08:00	10.1	12.5	1
08/10/2016	08:30	11.4	12.5	1
08/10/2016	11:10	9.4	12.5	6
08/10/2016	12:00	10.5	12.5	6
08/10/2016	14:30	10.2	12.5	8
08/10/2016	15:20	9.6	12.5	8
08/10/2016	17:00	11.2	12.5	10
08/10/2016	18:10	10.3	12.5	10

**Fuente:** Agroindustria y Comercio S.A.

Elaboración propia.

Como se puede apreciar en el figura N°31, ninguna de las muestras tomadas, llega a 12.5 % inclusive el nivel más bajo de humedad se registró en secador 8, con un 9.66% de humedad del producto, generando así una baja productividad por perdida de humedad en el producto, y por ende perdidas económicas a la empresa.



**Figura 31: Gráfico de humedad en el producto final**

Fuente: Empresa Agroindustria y Comercio S.A.

### Impacto económico:

En la siguiente tabla N°21, se evaluó el impacto económico que genera la pérdida de humedad del producto, para lo cual se verificó los registros de humedad del producto final antes de ser envasado, los mismos que fueron tomados en el mes de octubre del presente año. La producción mensual programada es de 221 760 kg (7 920 kg x 28 días) envasándose solo 218 680 kg.

Dejándose de envasar 402 bolsas de 10 kg de producto a granel, siendo el precio por bolsa de fideo de 10 kg de S/. 30,00 nuevos soles, generando una pérdida económica mensual S/. 12 057,90.

Siendo un pérdida económica anual de S/.144 694,8 nuevos soles.

### Teniendo el siguiente indicador:

Este indicador relaciona el producto envasado con baja humedad relativa, con respecto a la producción programada, teniendo una pérdida de producción de 1.9 % de la producción mensual

$$Rto\ volumen = \frac{Producto\ envasado}{Producción\ programada}$$

$$Rto\ volumen = \frac{217710\ kg}{221760\ kg} = 98.1\ \%$$

**Tabla 21: Pérdida económica por baja humedad del producto (S/)**

<b>Día</b>	<b>Producción ( kg) A</b>	<b>Cantidad ideal Agua en el producto al 12.5 % (Kg) B</b>	<b>H.R promedio del producto final (%) C</b>	<b>Cantidad actual de agua en el producto (kg) D</b>	<b>Pérdida de peso en producto (kg) B-D= E</b>	<b>Producto que se deja de envasar ( Bolsa de 10 Kg)</b>	<b>Pérdida por baja humedad (S/.)</b>
01/10/2016	7700	962.5	10.8	831.6	130.9	13	393
02/10/2016	7780	972.5	11.0	855.8	116.7	12	350
03/10/2016	7780	972.5	11.5	894.7	77.8	8	233
04/10/2016	7750	968.75	10.5	813.8	155.0	16	465
05/10/2016	7780	972.5	9.8	762.4	210.1	21	630
06/10/2016	7760	970	10.6	822.6	147.4	15	442
07/10/2016	7780	972.5	11.0	855.8	116.7	12	350
08/10/2016	7780	972.5	10.2	793.6	178.9	18	537
09/10/2016	7780	972.5	10.1	785.8	186.7	19	560
10/10/2016	7780	972.5	11.0	855.8	116.7	12	350
11/10/2016	7780	972.5	10.8	840.2	132.3	13	397
12/10/2016	7800	975	10.6	826.8	148.2	15	445
13/10/2016	7850	981.25	11.5	902.8	78.5	8	236
14/10/2016	7780	972.5	11.2	871.4	101.1	10	303
15/10/2016	7790	973.75	10.6	825.7	148.0	15	444
16/10/2016	7800	975	10.3	803.4	171.6	17	515
17/10/2016	7780	972.5	11.0	855.8	116.7	12	350
18/10/2016	7780	972.5	10.6	824.7	147.8	15	443
19/10/2016	7810	976.25	10.9	851.3	125.0	12	375
20/10/2016	7760	970	11.1	861.4	108.6	11	326
21/10/2016	7800	975	9.8	764.4	210.6	21	632
22/10/2016	7700	962.5	10.1	777.7	184.8	18	554
23/10/2016	7780	972.5	9.8	762.4	210.1	21	630
24/10/2016	7760	970	10.5	814.8	155.2	16	466
25/10/2016	7750	968.75	11.0	852.5	116.3	12	349
26/10/2016	7780	972.5	10.0	778.0	194.5	19	584
27/10/2016	7780	972.5	11.0	855.8	116.7	12	350
28/10/2016	7760	970	11.0	853.6	116.4	12	349
	<b>217710</b>				<b>4019.3</b>	<b>402</b>	<b>12057.9</b>

**Fuente: Empresa Agroindustria y Comercio S.A.**

Resumiendo el análisis de diagnóstico por causas, en la siguiente tabla N°22, se muestran las causas y sus impactos económicos en la empresa.

**Tabla 22: Impacto económico en área de secado de fideos**

Causa	Impacto económico Anual (S/.)
C1: Fatiga de operarios por variación de temperatura	6 600,00
C2: Rotación manual del producto	16 800,00
C3: Ciclo de secado por tiempo	5 550,00
C4: Control manual de temperatura	58 769,40
C5: Control manual de humedad	144 694,80
<b>TOTAL:</b>	<b>232 414,20</b>

Así mismo, en el siguiente tabla N°23, se muestran los indicadores a utilizar para posteriormente medir los resultados logrados.

**Tabla 23: Indicadores de la situación actual de producción**

Causas	Indicador actual
C1: Fatiga de operarios por variación de temperatura	$Product. M. de obra = 81.25 \frac{kg}{horas\ hombre}$
C2: Rotación manual del producto	52.2% de eficiencia en tiempo de rotación del producto
C3: Ciclo de secado por tiempo	0.053% de reproceso generado por mal control de secado del producto
C4: Control manual de temperatura	99 % de rendimiento de producción anual con respecto al producto trizado
C5: Control manual de humedad	98.1% de Rendimiento de producción anual con respecto a la baja humedad del producto

**Fuente: Empresa Agroindustria y Comercio S.A.**

Elaboración propia

### **3.4 DESARROLLO DE PROPUESTA DE MEJORAS EN EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN.**

En esta etapa, de desarrollo de propuestas de mejora se detallará la solución planteada según las causas diagnosticadas ya mencionadas en el capítulo anterior.

#### **3.4.1. Diseño de un sistema de control automatizado en la etapa de secado de pastas alimenticias.**

Según los datos y valores obtenidos en el diagnóstico por causas, se propone realizar un sistema de control automatizado en el proceso de secado de pastas alimenticias como solución a las causas antes mencionadas **C1, C2, C3, C4 y C5**

El diseño de un sistema de control automatizado en el proceso de secado que se desea proponer, busca mitigar los impactos desfavorables que se generan por el deficiente control manual de secado, causando fatiga y cansancio en los operarios, así como un mal ciclo de secado del producto; la falta de instrumentos de medición de temperatura y humedad, los cuales son fundamentales en el proceso de secado; teniendo como fin mejorar la productividad.

Para realizar el sistema de control automático para el proceso de secado de pastas alimenticias se tiene que realizar los siguientes pasos:

- Determinar sistema de control a utilizar para el control del proceso de secado de pastas alimenticias.
- Determinación y programación de Controlador Lógico Programable – PLC
- Determinación de sensor de temperatura.
- Determinación de sensor de humedad.
- Determinación de válvula de control para el ingreso de agua caliente.
- Determinación de flujo de aire para el secado de pastas alimenticias
- Determinación de sistema de extracción de humedad en cabina de secado.
- Realizar sistema de control por PLC para la sincronización de todos los elementos de control mediante pantalla HMI.

**3.4.1.1. Determinar sistema de control a utilizar para el control del proceso de secado de pastas alimenticias.**

En los sistemas industriales, se emplea uno o una combinaciones de los siguientes sistemas de control: (Creus, Antonio. 1997).

- **De dos posiciones ( todo o nada)**
- Proporcional en tiempo variable.
- Flotante.
- Proporcional.
- Proporcional Integral.
- Proporcional derivada.
- **Proporcional Integral derivada.**

**Tabla 24:Guía de selección de un sistema de control.**

Control	Proceso		Cambios de carga	Aplicaciones
	Capacitancia	Resistencia		
Todo o nada ( ON/OFF)	Grande	Cualquiera	Cualquiera	Control de nivel y temperatura en procesos de gran capacidad
Flotante (PWM)	Media	Cualquiera	Cualquiera	Procesos con pequeños tiempos de retardo
Proporcional (P)	Pequeña a media	Pequeña	Moderados	Presión, temperatura y nivel, donde el offset no es inconveniente
Proporcional + integral (PI)	Cualquiera	Pequeña	Cualquiera	La mayor parte de las aplicaciones, incluyendo el caudal
Proporcional + derivada (PD)	Media	Pequeña	Cualquiera	Cundo es necesario una gran estabilidad con un offset minimo y sin necesidad de acción integral
Proporcional + Integral + Derivada (PID)	Cualquiera	Grande	Rápido	Procesos con cambios rápidos y retardos apreciables ( control de temperaturas en intercambiador de calor

Fuente: Instrumentación Industrial (Creus 1997)

## A) Sistema de Control de Temperatura.

Teniendo en cuenta que la variable física es la temperatura, y el control de temperatura es dentro de cabina de secado de pastas alimeticias este requiere tener una respuesta rápida ante los cambios de temperatura.

Si se pudiera obtener un modelo matemático de la planta en un proceso continuo, sería posible aplicar una variedad de técnicas de diseño con el fin de determinar los parámetros del controlador las cuales deberían cumplir las especificaciones del transitorio y del estado estacionario del sistema en lazo cerrado.

Para ello se utilizará el software Matlab, el cual realizará el modelamiento matemático y nos permitirá conocer la función de transferencia de planta.

### A.1) Programación en MATLAB para hallar función de transferencia a partir de medición de datos.

Ingresar a la plataforma de Matlab, luego crear un vector vacío “w”, para el ingreso de datos reales de la planta \_ Valor de salida . Luego se crea otro vector “r2” para el valor de referencia, en este caso 45°C, el cual será el \_valor de entrada al sistema. (J.A y J.A 2016) Ver figura N°32

```
Command Window
>> clear all
>> w=[]; %%Vector vacio para ingreso de datos_SALIDA
>> r=linspace(1,1,62); %%vector de 62 espacios para valor de referencia
>> r1=45*r; %%Vector "r"- Valor de referencia.
>> r2=r1'; %% Vector para valor de referencia _ ENTRADA
fx >> ident|
```

Figura 32: Vectores de Entrada y Salida para medición de datos.

Fuente: Empresa Agroindustria y Comercio S.A.

Los datos que se visualizan en la figura N°33, corresponden a una medición con datos reales del sistema, el cual se realizó mediante un sensor de temperatura Pt100, hacia un PLC para poder guardar los datos en un archivo de Excel.

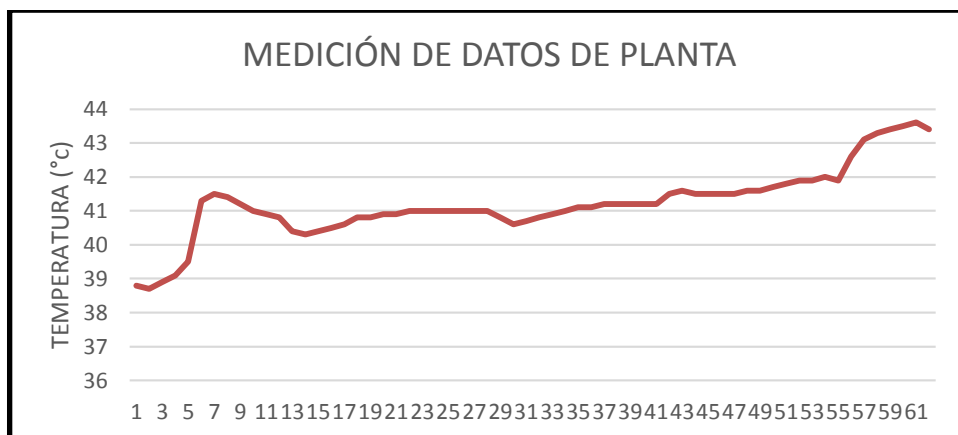
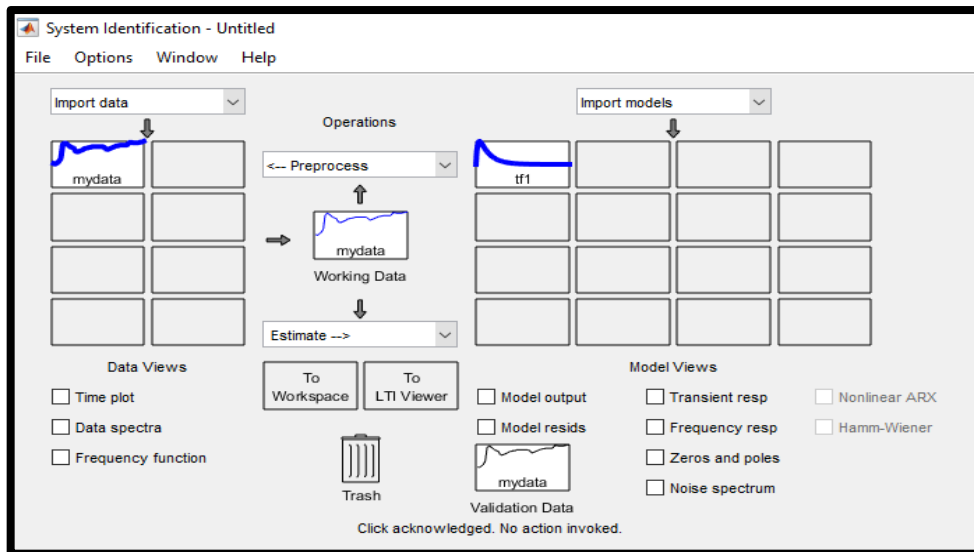


Figura 33: Datos de temperatura en interior de secador.

Fuente: Empresa Agroindustria y Comercio S.A.

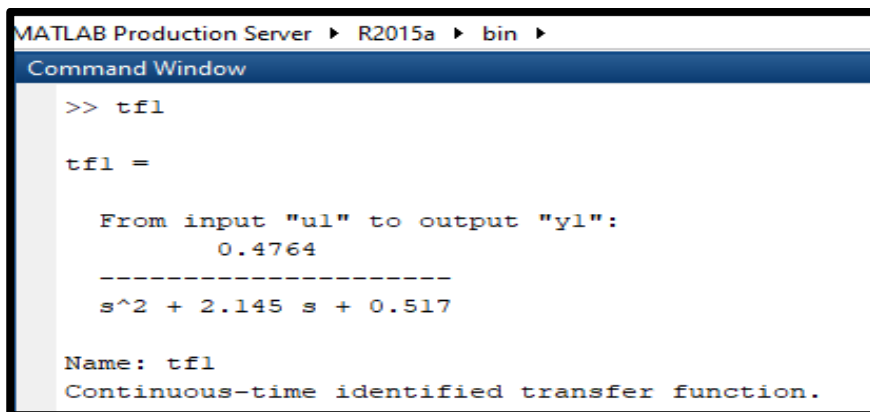
Utilizando el comando “ident”, aparece la siguiente figura N°34, en donde se importará los datos, (import data), luego se selecciona “Time domain data”, luego ir a Estimate y elegir “Transfer function Models”.



**Figura 34: Identificador de sistema de MATLAB.**

Fuente: Software MATLAB – R2015

Agregando en la plataforma del software de Matlab, el comando “tf1” (función de transferencia), se genera automáticamente la misma, según los datos importados. Ver figura N° 35



**Figura 35: Función de transferencia de planta**

Fuente: Software MATLAB – R2015a

### Función de transferencia del sistema

$$G(S) = \frac{0.4764}{S^2 + 2.145S + 0.517}$$

Para realizar el método de curva de reacción de ziegler y Nichols se tiene que determinar los valores de L(retardo) y t (constante de tiempo), para ello se utiliza el siguiente programa de MATLAB. Ver figura N°36.

```

>> dt=0.05;
>> t=0:dt:40;
>> y=step(tfl,t);
>> dy=diff(y)/dt;
>> [m,p]=max(dy);
>> yi=y(p);
>> ti=t(p);
>> L=ti-yi/m

L =

    0.3119

>> tao=(y(end)-yi)/m+ti-L

tao =

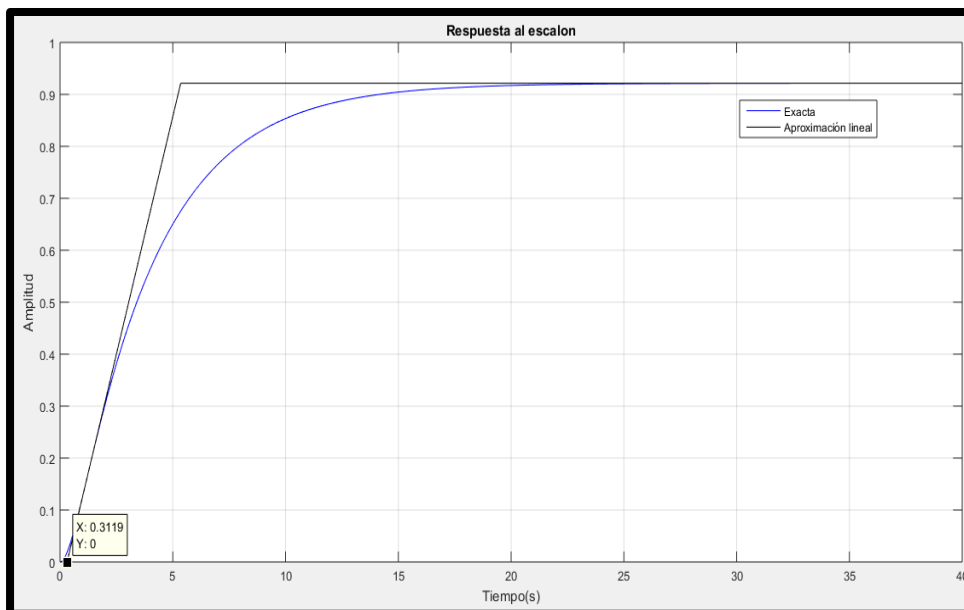
    5.0378

>> plot(t,y,'b',[0 L L+tao t(end)],[0 0 y(end) y(end)],'k')
>> grid on;
>> title('Respuesta al escalon')
>> xlabel('tiempo(s)')
>> ylabel('Amplitud')
>> legend('Exacto','Aproximación lineal')
>>

```

**Figura 36: Programación en Matlab**  
**Fuente:** Software MATLAB – R2015a

Por tanto se obtiene la siguiente gráfica:



**Figura 37: Gráfica de obtención de parámetros” L” y “ t” con curva de reacción**  
**Fuente:** Software MATLAB – R2015a

Los valores obtenidos en la gráfica corresponde al sistema de curva de reacción con respuesta al escalón.

**Retardo  $L=0.3119$**   
**Constante de tiempo  $t=5.0379$**

Para obtener el tipo de control a utilizar, se toma como referencia la siguiente tabla N° 25, en la cual se sustituirán los valores de L y t.

**Tabla 25: Reglas de sintonización de Ziegler – Nichols basada en respuesta escalón de la planta.**

Tipo de controlador	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$\frac{T}{L}$	$\infty$	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

Fuente: PID ARIAN (ARIAN Control & Instrumentación 2010)

Sustituir los valores de Retardo (L) y la constante de tiempo (t), los cuales se obtuvieron en la gráfica correspondiente. Ver tabla N°26.

**Tabla 26: Sustitución de parámetros “L” y “t” obtenidos**

Tipo de controlador	$k_p$	$T_i$	$T_d$
P	$\frac{5.0379}{(0.3119)}$		0
PI	$0.9 * \frac{5.0379}{(0.3119)}$	$\frac{0.3119}{(0.3)}$	0
PID	$1.2 * \frac{5.0379}{(0.3119)}$	$2(0.3119)$	$0.5(0.3119)$

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 27: Constantes obtenidas para las ganancias de controlador**

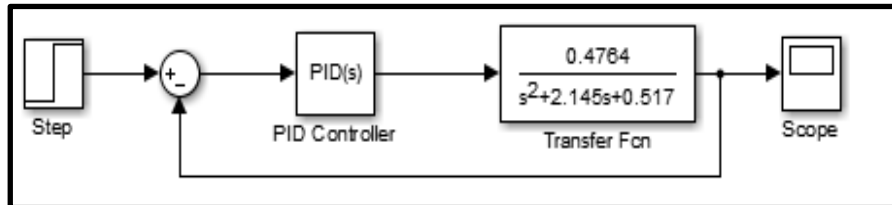
Tipo de controlador	$k_p$	$T_i$	$T_d$
P	16.03		
PI	14.42	1.03	
PID	19.02	0.62	0.15

Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenido los valores, se realizó la simulación en programa Simulink, (software Matlab), sustituyendo los valores correspondientes para cada tipo de controlador, observando gráficamente el comportamiento que tiene cada uno de ellos, y así poder determinar el control adecuado para este proceso.

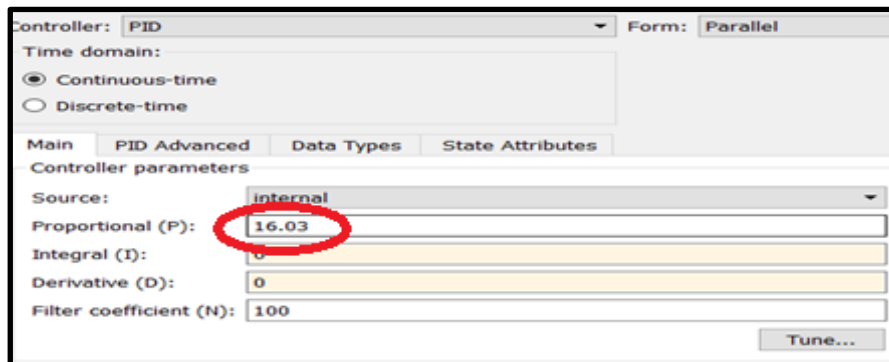
## A.2) Simulación de control proporcional (P) – Programa Simulink

En la figura N°38, se muestra una simulación de como se comporta el sistema con un control proporcional. Y en la figura N°48, se aprecia la constante obtenida de ganancia proporcional (P)= 16.03, según tabla N°27.



**Figura 38: Diagrama de bloques en Simulink- control proporcional (P)**

**Fuente:** Software MATLAB – R2015a



**Figura 39: Parámetros de ganancia de control proporcional (P) en**

**Fuente:** Software MATLAB – R2015a

En la curva que se obtuvo para un control proporcional (figura N°40), se observa que se estabiliza en un tiempo de 7 segundos, pero nunca llega al punto de ajuste. La acción proporcional tiene un inconveniente, que es la desviación permanente de la variable una vez estabilizada con relación al punto de consigna, denominada OFFSET. (Creus 1997)

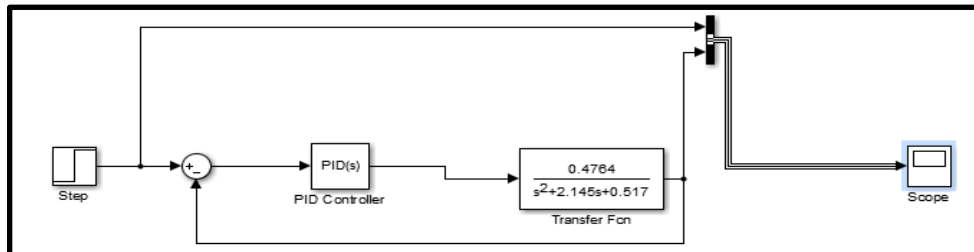


**Figura 40: Gráfica obtenida en Simulink con control proporcional (P)**

**Fuente:** Software MATLAB – R2015a

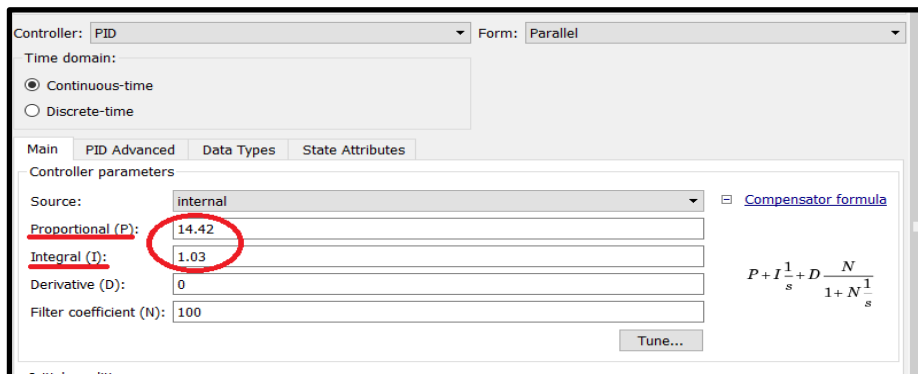
### A.3) Simulación de control proporcional-Integral (PI)- Programa Simulink

En la figura N°41, se muestra una simulación de como se comporta el sistema con un control proporcional integral. Y en la figura N°42, se aprecia la constante obtenida de ganancia proporcional (P)= 14.42, e Ganancia integral(I)=1.03 según tabla N°27.



**Figura 41: Diagrama de bloques en Simulink- control proporcional integral**

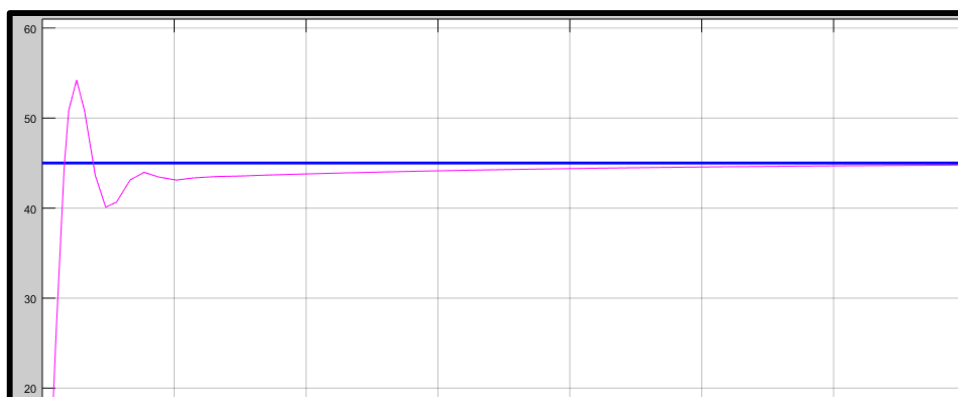
**Fuente:** Software MATLAB – R2015a



**Figura 42: Parámetros de ganancia proporcional integral (PI) en**

**Fuente:** Software MATLAB – R2015a

En la curva que se obtuvo para un control proporcional integral (figura N°43), se observa que en la variable de proceso se ajusta en un tiempo de 40 segundos, alcanzando la estabilización en ese periodo. La acción Integral actúa cuando existe una desviación entre la variable y el punto de consigna, integrando dicha desviación en el tiempo y sumando a la acción de la proporcional, eliminando así el error estacionario, llamado OFFSET. (Creus 1997).



**Figura 43: Gráfica obtenida en Simulink de control proporcional integral (PI)**

**Fuente:** Simulink Software MATLAB R2015a

#### A.4) Simulación de control proporcional-Integral –Derivativo (PID)

En la figura N°44, se muestra una simulación de como se comporta el sistema con un control proporcional integral derivativo. Y en la figura N°45, se aprecia la constante obtenida de ganancia proporcional (P)= 19.02, Ganancia integral (I)=0.62 e ganancia Derivativa (D)=0.15, según tabla N°27.

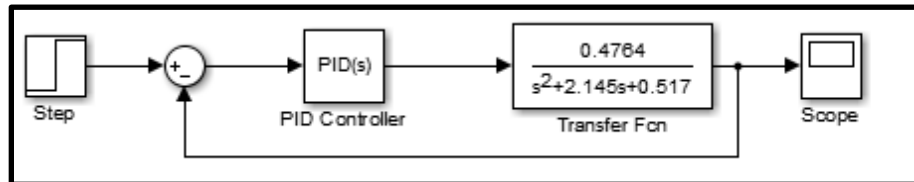


Figura 44: Diagrama de bloques en Simulink- Control PID.

Fuente: Simulink Software MATLAB R2015a

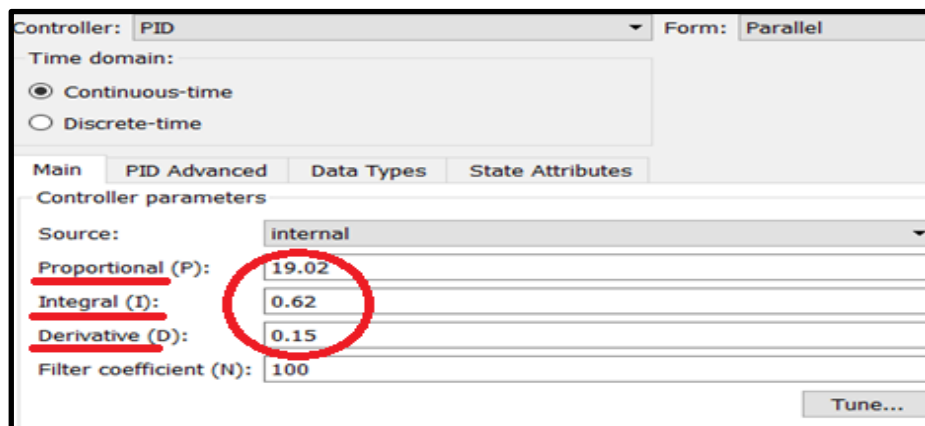


Figura 45: Parámetros de ganancia proporcional integral derivativo (PID)

Fuente: Simulink- Software MATLAB R2015a

En la curva que se obtuvo para un control proporcional integral derivativo (figura N°46), se observa que el la variable de proceso se ajusta en un tiempo de 160 segundos, alcanzando la estabilización en ese periodo.

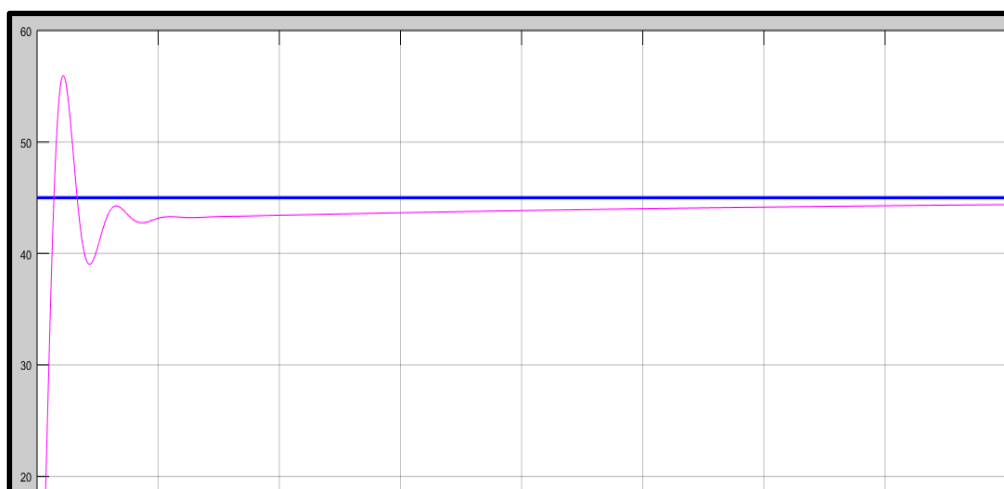


Figura 46: Gráfica obtenida en Simulink con control PID.

Fuente: Simulink Software MATLAB R2015a

Como dice la guía de sistema de control (Tabla N°24), el control Proporcional Integral, está diseñado para todo tipo de aplicaciones, donde la dinámica del sistema es principalmente de primer orden.

Luego de realizar las simulaciones correspondientes a los gráficos de los distintos parámetros de control, se concluye, que para el control de temperatura de un secador de bandejas, el control a utilizar será un control Proporcional Integral (PI), ya que su tiempo de respuesta es más rápido (40 segundos), con respecto al control PID. Ver tabla N°28.

**Tabla 28: Tiempo de respuesta de variables obtenidas de sistema de control PID**

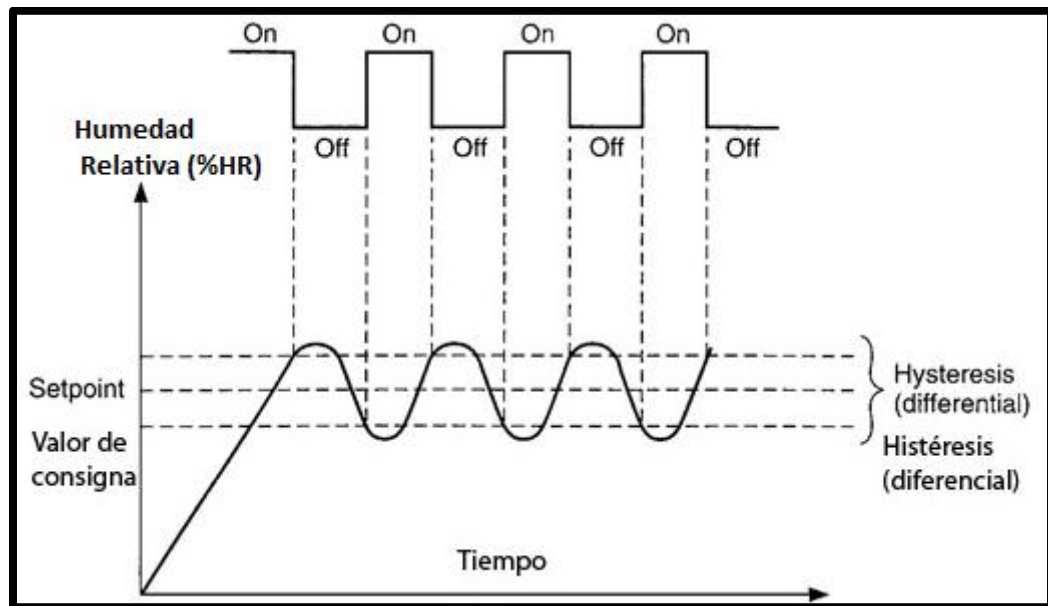
<b>Tipo de controlador</b>	<b>Tiempo de respuesta del sistema (s)</b>	<b>Descripción de Resultados</b>
P	6.00	No elimina el error estacionario-OFFSET, variable de proceso se mantiene debajo del punto de consigna
PI	40.00	Genera oscilaciones al inicio del proceso, cambiando bruscamente el valor de variable de proceso, hasta llegar al valor deseado, eliminand el OFFSET
PID	160.00	Demasiadas oscilaciones , hasta llegar al punto de consigna, elimina el OFFSET. Usado para sistema exigentes sin cambiso bruscos.

Fuente: Elaboración propia.

## B) Sistema de control de Humedad Relativa en cabina de secado

Según estudios realizados en la elaboración de pastas alimenticias, se requiere una humedad relativa en la cabina de secado de aproximadamente **65% de Humedad relativa**. (Astaiza M 2010).

Para el control de humedad, se necesita un control ON/OFF, lo cual la salida del mismo, actúa en la activación y desactivación de 02 motores extractores de humedad y compuertas tipo damper (entrada y salida de aire), los cuales deben actuar cuando existe exceso de humedad dentro de la cabina de secado.



**Figura 47: Acción de control de Humedad ON-OFF con Histéresis.**

Fuente: West instruments

### B.1) Control ON/OFF con Histéresis.

El modo de control ON/OFF o también llamado todo o nada, consiste en activar el actuador (motor extractor de humedad) cuando esta por debajo de la humedad deseada (punto de consigna), y luego desactivarlo cuando está por encima de la misma.

Este tipo de control con histéresis puede reducir el desgaste en los contactores electromecánicos, pues existiría mayor fluctuación de la variable a controlar, pero menor funcionamiento de los contactores. Ver figura N°47

## B.2) Datos de control de Humedad relativa (%H.R) en cabina de secado

Punto de consigna - Set Point ( SP ) = 65%

Histéresis = 2.0

Valor max. HR = SP + Histéresis / 2 = 66%

Valor .min. HR = SP – Histéresis / 2 = 64%

Por tanto:

- Cuando la variable de proceso llegue a 66% H.R, el motor extractor de humedad se apagará.
- Cuando la variable de proceso baje hasta 64% H.R, el motor extractor de humedad se volverá a encender.

Estos cambios se pueden apreciar en la figura N°48, donde se puede ver la curva de reacción ante los cambios en la variable de proceso.

Los cambios en los valores de la histéresis (control ON/OFF), depende del proceso a controlar, en este caso, la humedad relativa (%H.R) dentro de la cabina de secado no puede bajar demasiado, pues el producto a secar se afectaría, originando producto defectuoso por encostramiento del mismo.

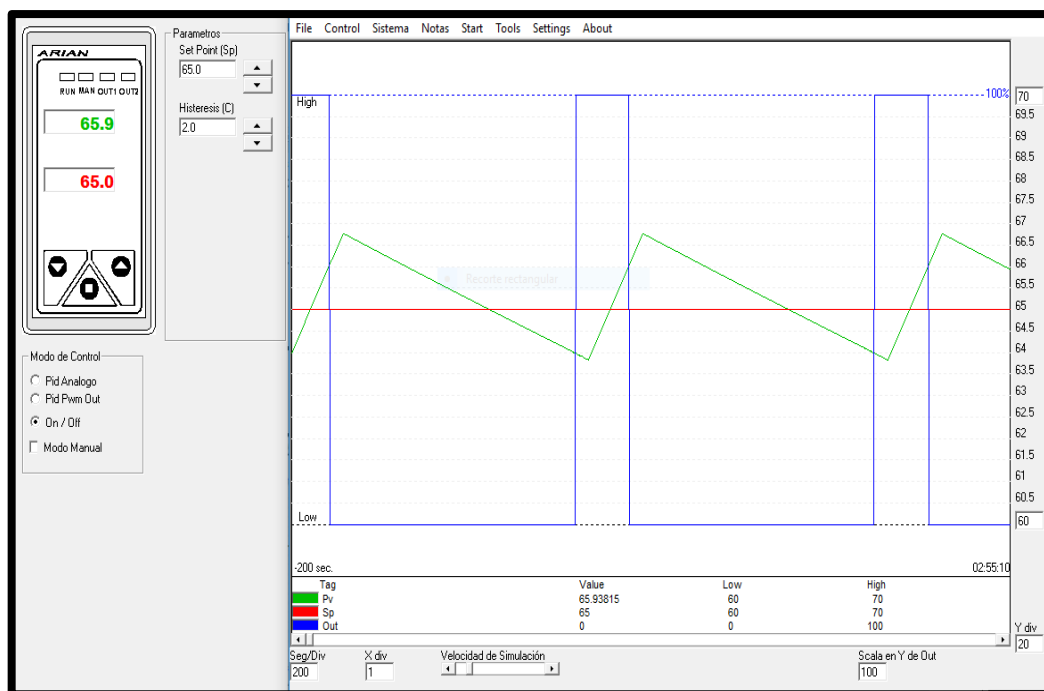


Figura 48: Simulación de Control ON-OFF de Humedad Relativa - Arian PID  
Elaboración propia

### 3.4.1.2 Determinación y programación de Controlador Lógico Programable (PLC).

Básicamente está constituido por una unidad de control, memoria y los módulos de entrada y salida (E/S) encargados de establecer la comunicación del autómatas con los circuitos externos.

**Tabla 29: Marcas y modelos PLC**

<b>Fabricantes</b>	<b>Modelos</b>
Siemens	Logo/S7-300/400/1200
Allen Bradley	Micrologix 1100/1400/1500
Schneider Electric	Modicon TSX/Modicom M340/ <b>Modicom M221</b> /M241/M251
Omron	Serie NJ/serie NX/CPM2C
Mitsubishi	FX3U-CF-ADP/FX3U-4LC

**Fuente:** Elaboración Propia

Teniendo en cuenta la variedad de marcas y modelos de PLC en el mercado nacional, se debe considerar el alcance de la aplicación del proyecto de automatización, por tanto se debe tener conocimiento de lenguaje de programación, configuración, montaje de equipos, etc.

#### A) Especificaciones técnicas del PLC modicom TM221CE40R.

Este controlador programable de la marca Schneider, cuenta con los siguientes datos, los cuales han sido verificados de acuerdo al diseño del sistema de control, variables a utilizar, comunicación de datos y los dispositivos externos a utilizar. según nos muestra la tabla N°30

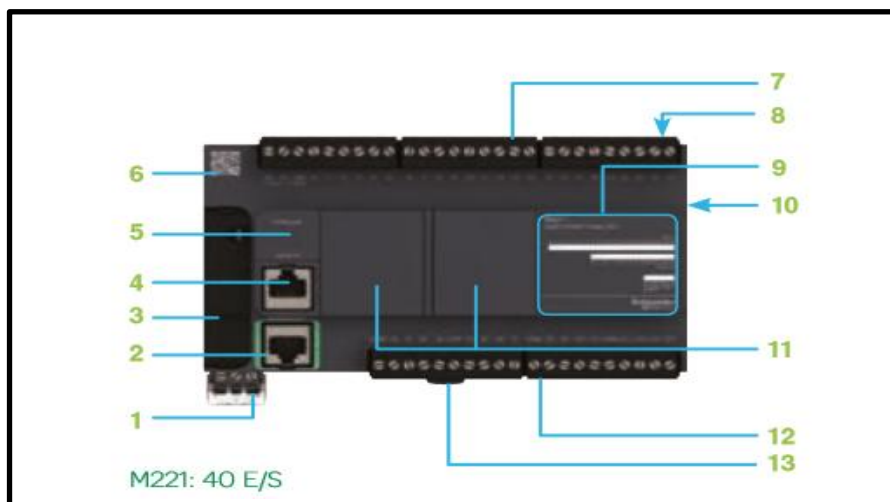
**Tabla 30: Características Técnicas- PLC TM221CE40R**

<b>Referencia</b>	<b>Valores</b>
Alimentación	100 - 240 VAC
Entradas digitales	24 entradas NPN/PNP de 24 VDC
Entradas analógicas	2 entradas 0-10 V.
Salidas	16 salidas por relé
Comunicación	Puerto Ethernet incorporado
Tipo de control	Control PID
Módulos	02 ranuras para cartuchos de extensión

**Fuente:** Controladores Lógicos Modicom 221 (Schneider Electric 2014)

### A.1) Descripción de plc modicon TM221CE40R.

En la presente figura N°49, así como en la tabla N°31, se aprecia la descripción de las partes básicas del PLC, que se utilizará para la automatización de secado de pastas alimenticias.



**Figura 49: Partes básicas del PLC**

**Fuente:** Controladores Lógicos Modicom 221 (Schneider Electric 2014)

**Tabla 31: Características Físicas de PLC Modicom- M221**

1	Bornero de tornillos extraíbles, 3 bornas para conectar la alimentación de 24 VDC ó 100 a 240 VAC
2	Conector RJ45 para Red ethernet, con LED de actividad.
3	Detrás de tapa extraíble
4	Puerto serie (RS232 o RS 485)
5	Detras de una tapa: conector extraíble destindo 2 entradas analógicas
6	Código QR para descargar documentación técnica del controlador.
7	Conexión de entradas lógicas de 24 VDC en borneros de tornillos extraíbles
8	En la parte superior del controlador: una ranura para batería de reserva.
9	El estado de Entradas/salidas
10	En el lateral del controlador: conector bus TM3 para conectar los módulos de extensión modicom TM3
11	Ranuras para cartuchos E/S, cartuchos de comunicación o cartuchos de aplicación
12	Conexión de entradas lógicas de relé/transistor, en borneras de tornillos extraíbles
13	Pestaña para bloque de carril simétrico

**Fuente:** Controladores Lógicos Modicom 221 (Schneider Electric 2014)

## A.2) Módulos de extensión para PLC

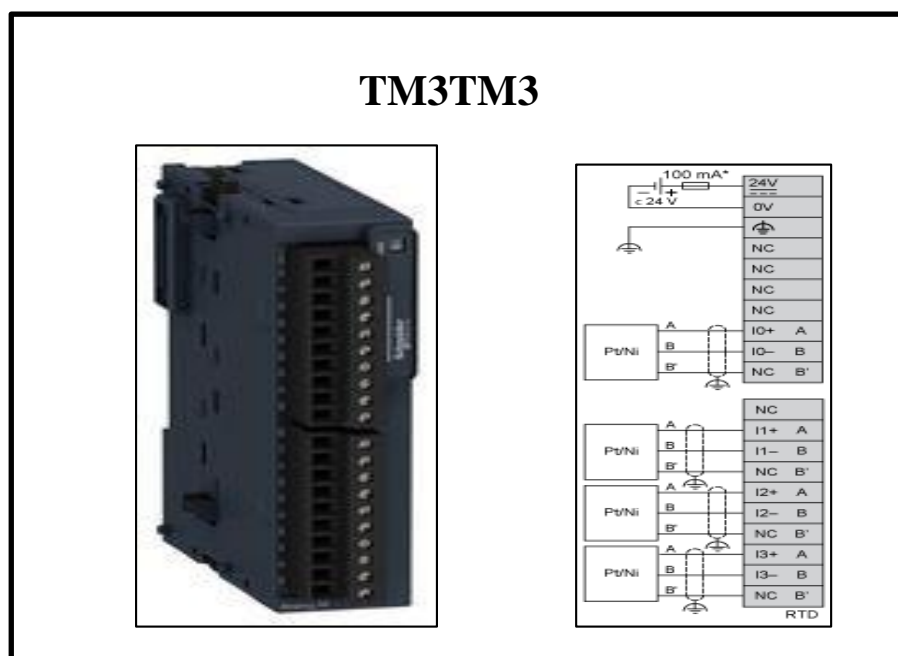
### A.2.1) Módulo de extensión de entradas analógicas - TM3TI4

Estos módulos de extensión juegan un rol importante dentro del sistema de control de temperatura que se realizará en las cabinas de secado, para ello se utiliza como variable de proceso las sondas de temperatura RTD llamados Pt100, los cuales forman parte de la referencia del módulo en mención. Ver tabla N°32

**Tabla 32: Características Técnicas - Módulo entradas analógicas TM3TM3**

Referencia	Valores
Variable	Temperatura
N° de entradas	4 entradas
Tipos de canal	Tensión/corriente ó Temperatura
Rango de entrada	Termopares (J,K,R,S,B);sonda de temperatura ( Pt100,Pt1000, Ni100); 0-10V / 4-20mA
Tipo de conexión	Tornillo

**Fuente:** Controladores Lógicos Modicom 221 (Schneider Electric 2014)



**Figura 50: Módulo de extensión – Entradas analógicas TM3TM3**

**Fuente:** (Schneider Electric 2014)

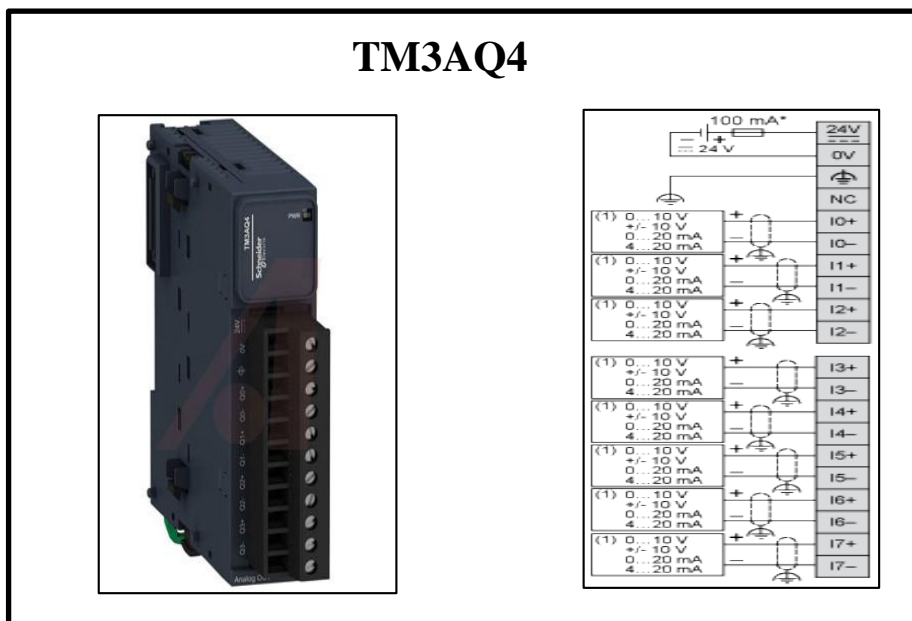
### A.2.2) Módulo de extensión de salidas analógicas - TM3AQ4

Estos módulos de extensión se requieren para el control de agua caliente a cabina de secado, la cual será regulada mediante una válvula de control proporcional, por tanto este equipo requiere de una señal eléctrica de salida de 4 – 20 mA, para luego utilizar un convertidor I/y así realizar el control de temperatura dentro de la cabina. Ver las especificaciones en la tabla N°33

**Tabla 33:Características Técnicas - Módulo salidas analógicas TM3AQ4**

Referencia	Valores
Variable	Tensión – Corriente
N° de salidas	4 salidas
Tipos de canal	Tensión/corriente
Rango de salida	-10V +10V. / 0-10V / 0-20 mA./ 4-20mA
Tipo de conexión	Tornillo

**Fuente:** Controladores Lógicos Modicom 221 (Schneider Electric 2014)



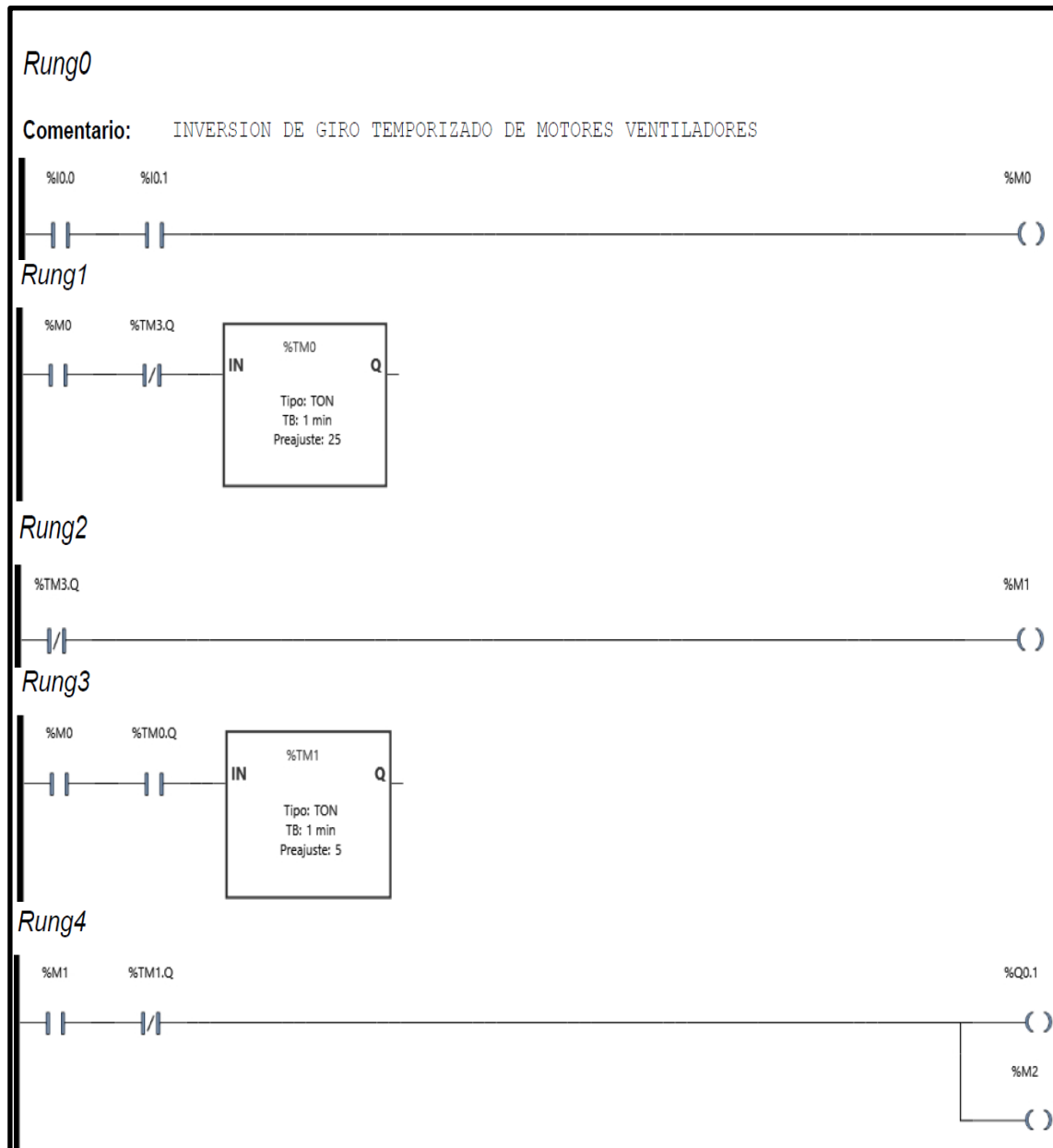
**Figura 51: Módulo de extensión – Salidas analógicas TM3AQ4**

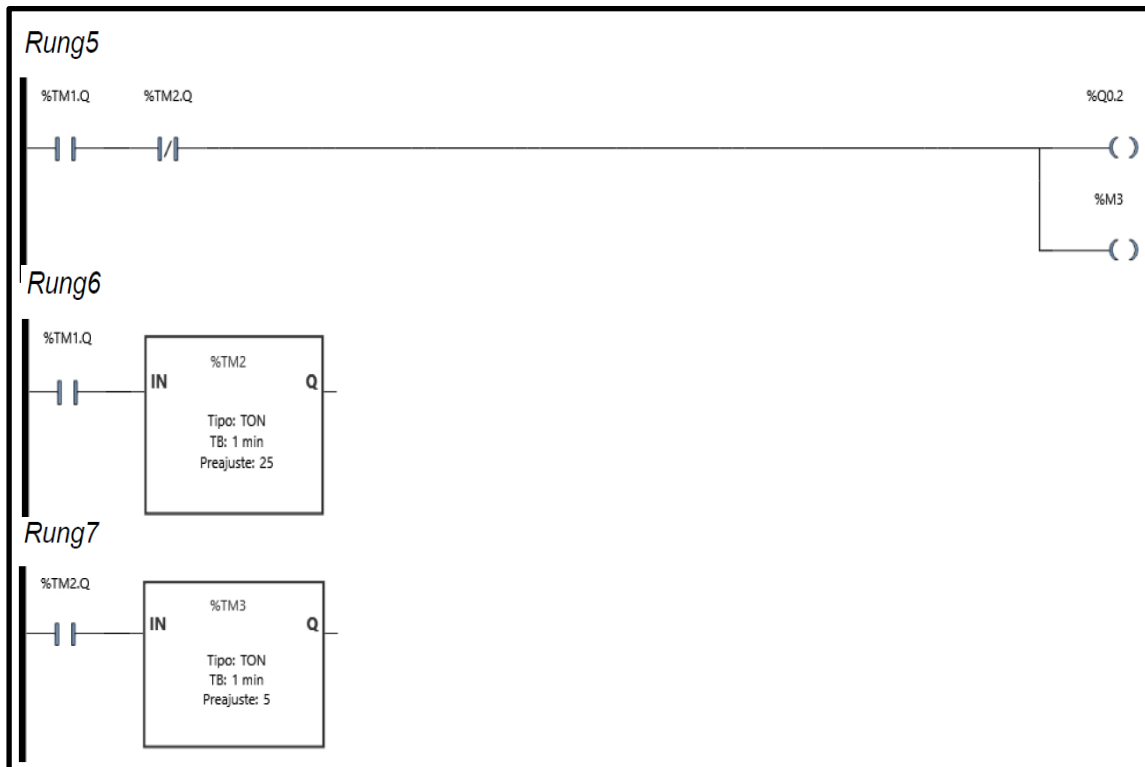
**Fuente:** Controladores Lógicos Modicom 221 (Schneider Electric 2014)

## B) Programación de PLC para la sincronización de todos los elementos de control

### B.1) Sistema de control para inversión de giro temporizado de motor ventilador.

Esta programación en lenguaje ladder, se utiliza temporizadores internos %TM0 y %TM1, para realizar el tiempo de arranque (20 minutos ) y el tiempo de reposo (10 min) del motor ventilador en sentido horario. Ver figura N°52.





**Figura 52: Programación Inversión de giro de motores ventiladores**

**Fuente:** Elaboración propia a partir de software Somachine (Schneider Electric)

En la siguiente tabla N°34, se referencia los tiempos de trabajo y reposo del ventilador en ambos sentidos (horario y antihorario), siendo este sistema cíclico desde que inicia hasta que termina el proceso de secado.

Con este sistema automático de inversión de giro del ventilador, se estaría solucionando las siguientes causas que fueron dignosticadas:

C1: Fatiga de operarios por variación de temperatura, pues el operario ya no tendría que estar ingresando constantemente al área de secado, para revisar el producto pues el sistema trabajaría de manera automática, mejorando la productividad en el área de envasado, ya que no se fatigarán demasiado por estar expuesta a altas temperaturas.

C2: Rotación manual del producto, en este caso el operario no realizaría ninguna rotación del producto dentro de la cabina de secado, solo usaría el tiempo para trasladar las carretas con el producto hacia la cabina de secado y retirarlos del mismo cuando ya se encuentre seco totalmente.

**Tabla 34: Diagrama de Espacio – Tiempo de motores ventiladores**

	1	2	3	4	5=1
GIRO HORARIO	t= 20 min				t= 20 min
REPOSO		t= 5 min		t= 5 min	
GIRO ANTIHORARIO			t= 20 min		
INICIO					

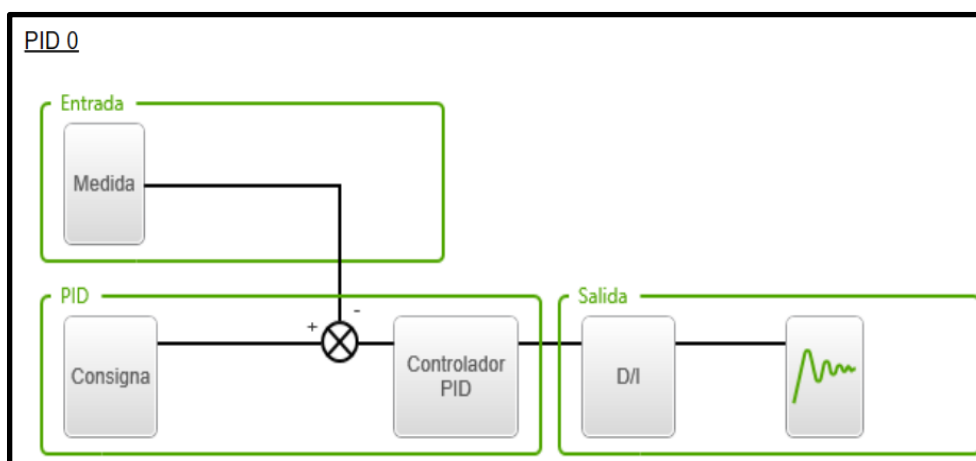
Fuente: Elaboración propia

### B.2) Sistema de control de temperatura en cabina de secado.

En esta programación en lenguaje ladder, se realiza la configuración del control PID\_0. La temperatura registrada por el **sensor PT100** ingresa al módulo de entradas analógicas **TM3TM3**, este valor a medir, se llamará variable de proceso (PV). La cual se configurará en la entrada del control PID configurado. Luego se configura el punto de consigna, también llamado Set point, el cual se encarga de determinar la temperatura deseada del sistema a controlar.

Estos dos valores: Variable de proceso y Punto de consigna, generan un error constante, el cual ingresa a un algoritmo determinado por el sistema, mediante los siguientes valores: Control proporcional, control Integral, control derivativo.

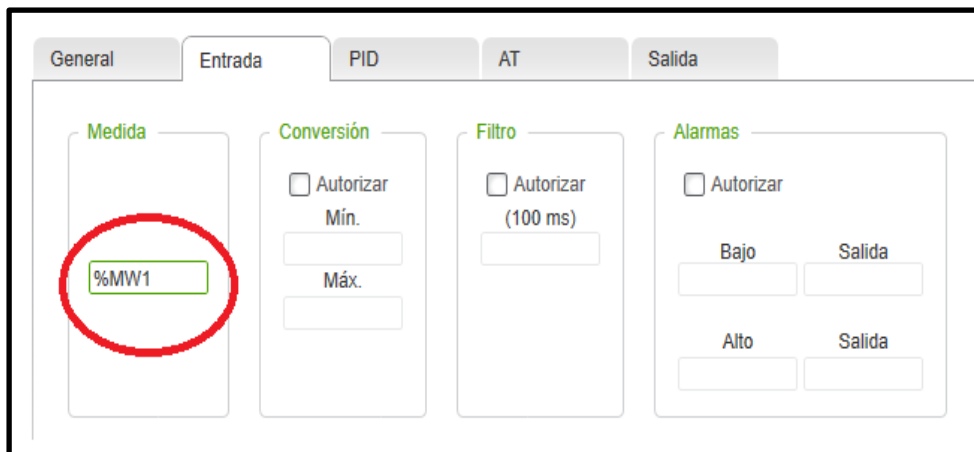
Esta acción del **control PID**, genera una salida analógica en corriente de 4mA. a 20 mA. mediante el módulo **TM3AQ4**, el cual activará la electroválvula proporcional hasta volver a recuperar la temperatura deseada. Ver figura N°53.



**Figura 53: Control interno PID**

Fuente: Elaboración propia a partir de software Somachine (Schneider Electric).

La configuración de la entrada en el control PID, se refiere a la variable de proceso (PV), el cual viene del sensor de temperatura Pt 100, que se encuentra dentro de la cabina de secado, este llevará la dirección %IW1.0, el cual se colocará en la instrucción de operación %MW1 en la programación ladder del PLC. Ver figura N°54.



**Figura 54: Programación entrada de señal- Control PID**

**Fuente:** Elaboración propia a partir de software Somachine (Schneider Electric).

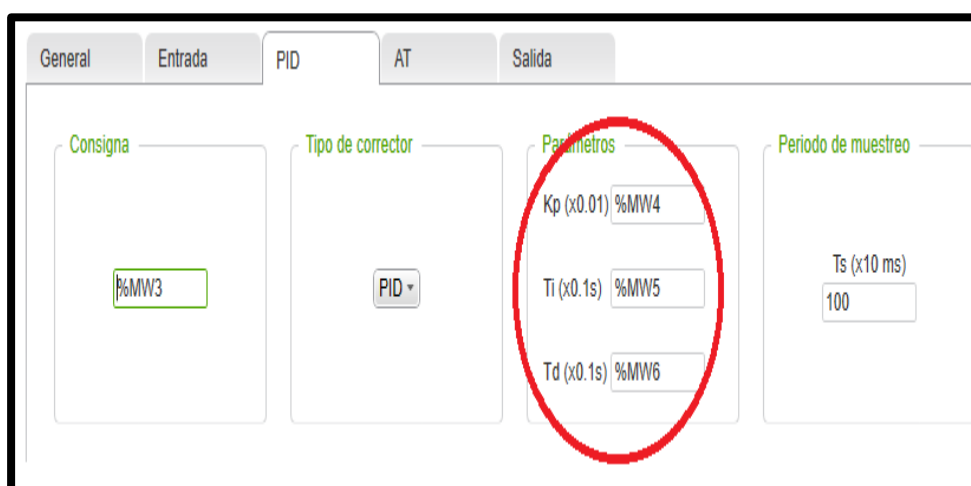
La configuración de la consigna en el control PID, se refiere al punto de ajuste o también llamado Set Point (SP), este valor es ingresado por el operario, para determinar el valor deseado de temperatura que se requiere en la cabina de secado, llevará la dirección %MW3 en la programación del PLC.

Los parámetros del PID están relacionados a la tabla N°2 (valores de acciones de control).

%MW4 : Ganancia Proporcional

%MW5 : Acción integral

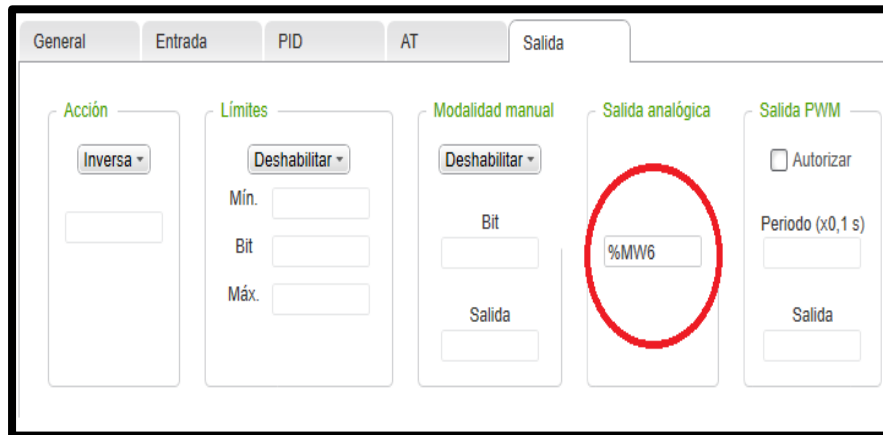
%MW6 : Acción derivativa



**Figura 55: Programación consigna y parámetros - Control PID**

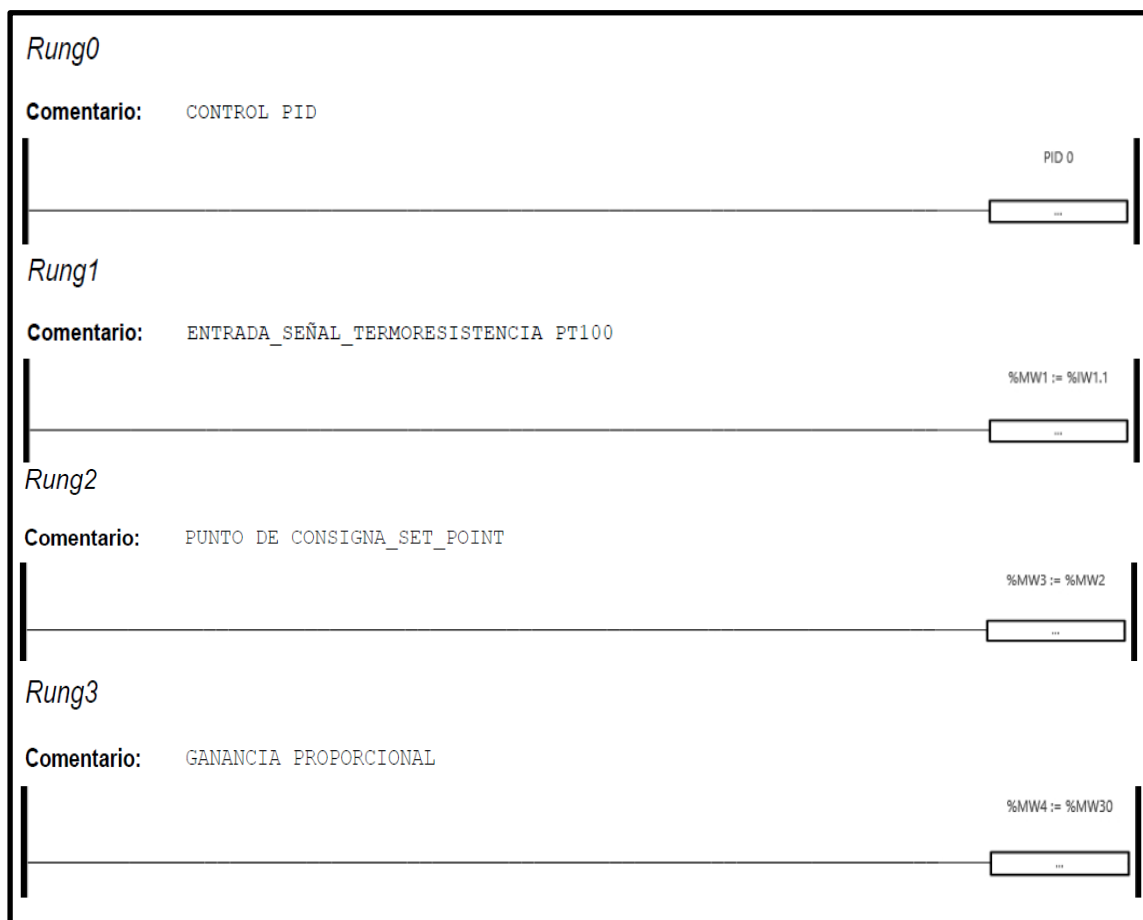
**Fuente:** Elaboración propia a partir de software Somachine (Schneider Electric).

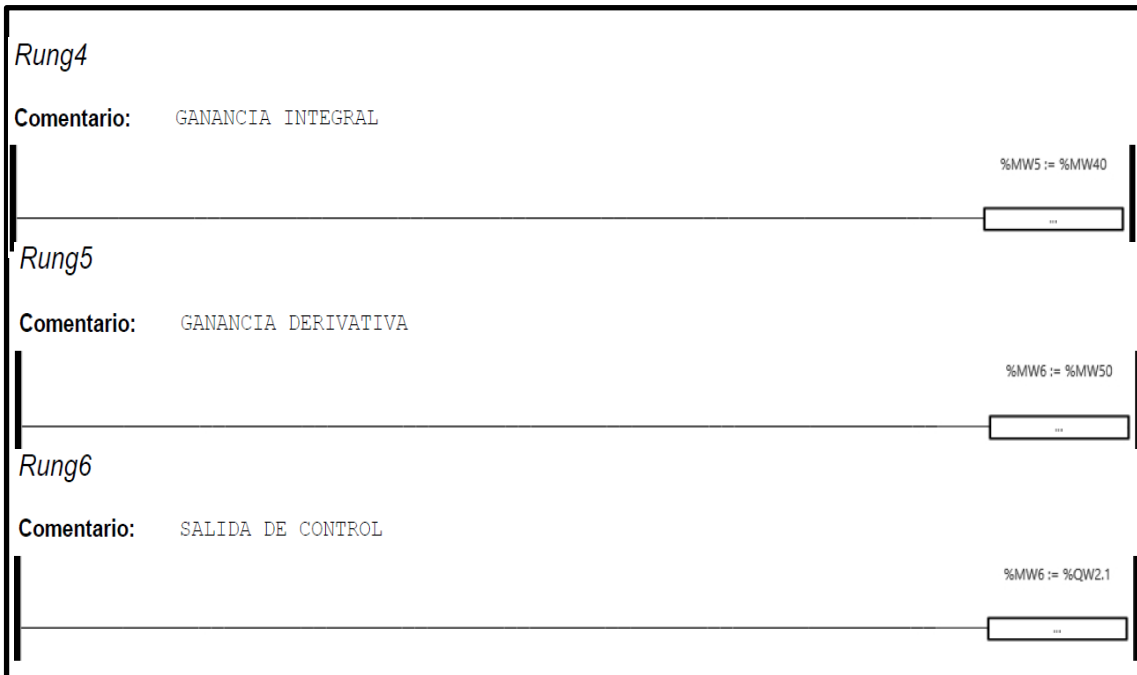
La configuración de la salida el control PID, se refiere a la señal en corriente (4mA a 20 mA) que va a recibir el elemento de control final (Electroválvula proporcional), después de realizar el algoritmo respectivo, este valor llevará la dirección %MW6 en la programación del PLC. Figura N°56.



**Figura 56: Programación salida analógica- Control PID**

**Fuente:** Elaboración propia a partir de software Somachine (Schneider Electric).



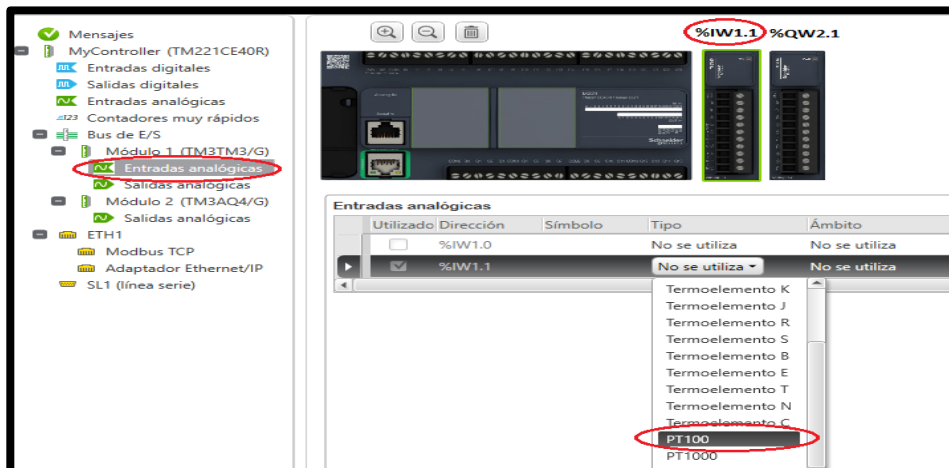


**Figura 57: Programación Control PID en PLC**

**Fuente:** Elaboración propia a partir de software Somachine (Schneider Electric).

➤ **Configuración de entrada analógica en PLC Modicom 221.**

Se configura la entrada %IW1.1, del módulo de expansión TM3TM3, donde se conectará el sensor de temperatura Pt100.

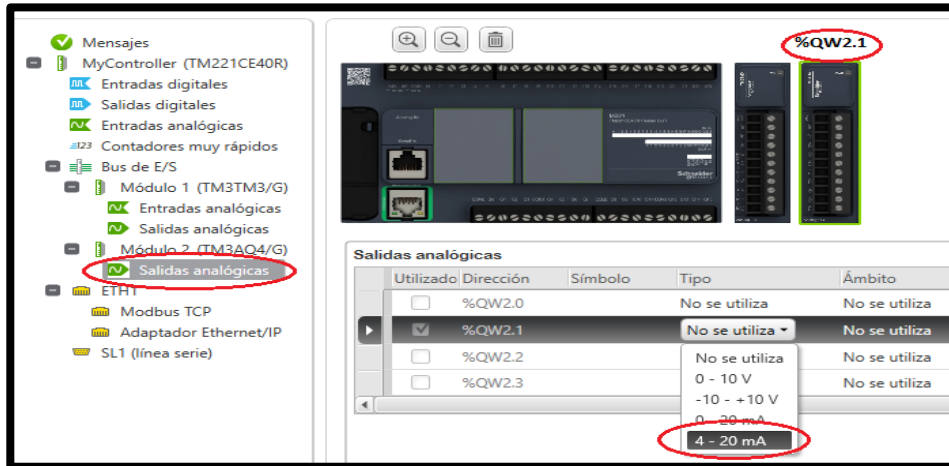


**Figura 58: Configuración de entrada analógica en PLC Modicom 221**

**Fuente:** Elaboración propia a partir de software Somachine (Schneider Electric).

➤ **Configuración de salida analógica en PLC Modicom 221.**

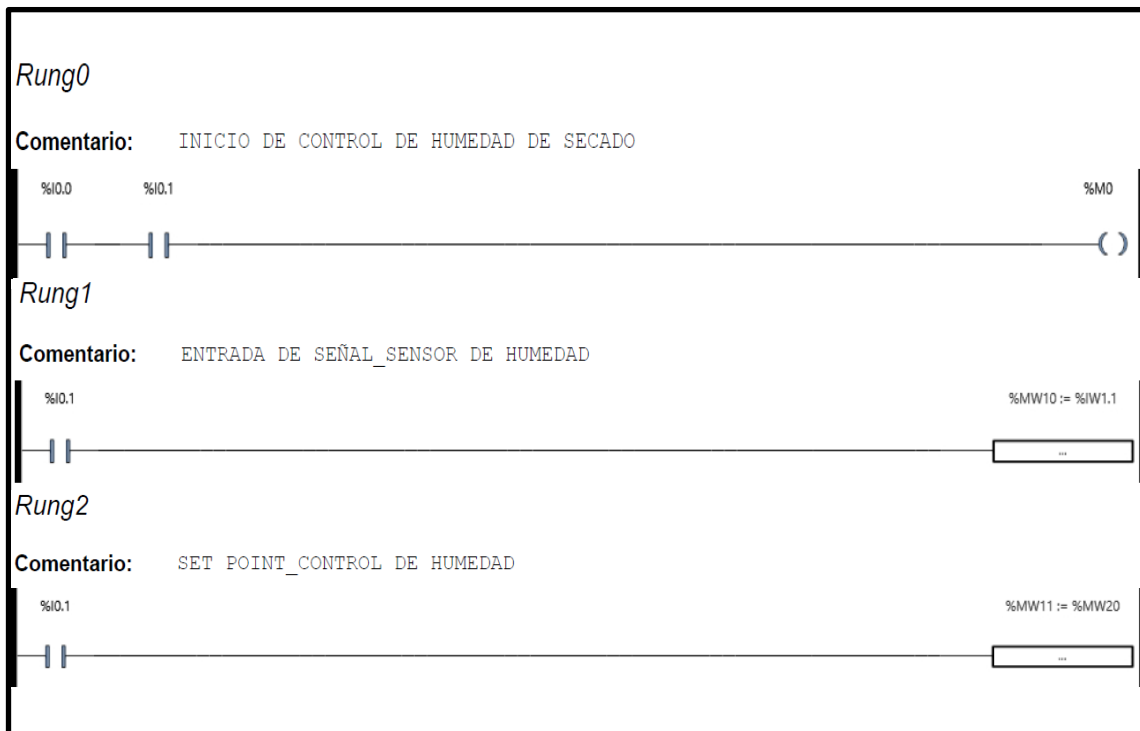
Se configura la entrada %QW2.1, del módulo de expansión TM3AQ4, donde se conectará la señal analógica de 4- 20 mA que irá a la válvula proporcional.

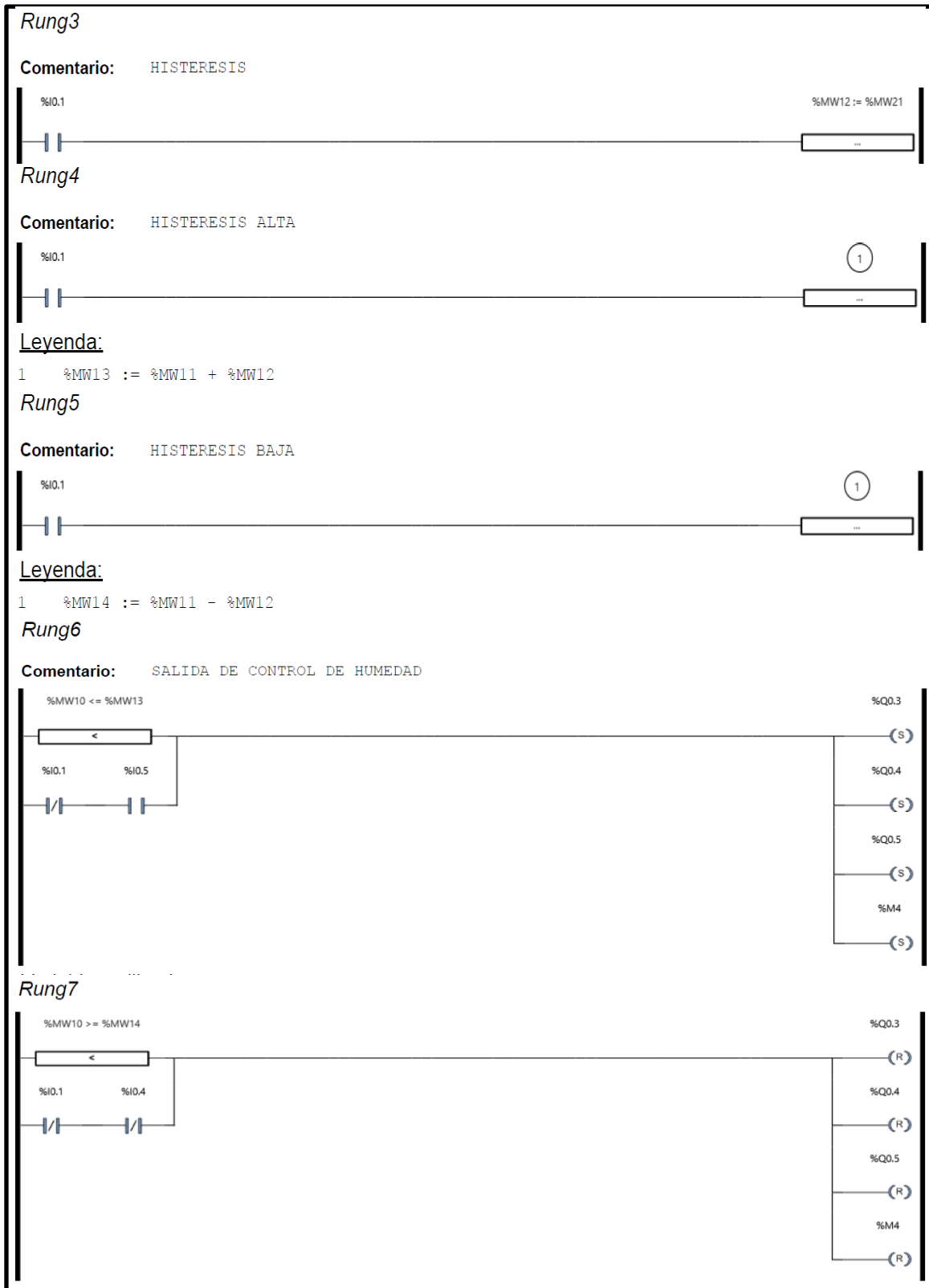


**Figura 59: Configuración de salida analógica en PLC Modicom 221**  
**Fuente:** Elaboración propia a partir de software Somachine (Schneider Electric).

### B.3) Sistema de control para accionamiento de compuertas y motor extractor de humedad .

El funcionamiento del sistema es el siguiente: el selector de inicio %I0.1, activa a la instrucción de operación donde se encuentra la entrada de señal de sensor de humedad % IW1.1, por donde ingresa una señal de 4 mA. a 20 mA., esta señal es comparada con el setpoint, el cual tiene una dirección %MW11, y se activa la salida del control, cuando la humedad esta por encima del valor fijado en el Set Point (SP), sumado el valor de la histéresis alta y se apagará cuando esté por debajo del valor de la histéresis baja programada.





**Figura 60. Programación Ladder, para sistema de extracción de humedad**  
**Fuente:** Elaboración propia a partir de software Somachine (Schneider Electric).

### 3.4.1.3 Determinación de sensor de temperatura para el proceso de secado de pastas alimenticias

Para determinar el sensor de temperatura a utilizar, primero se tiene que tener en cuenta el tipo de secado de pastas, en este caso el secador de bandejas que cuenta la empresa es de tipo LT (Pasta seca a baja temperatura), el cual cuenta con un rango de temperatura de 50 ° C. según, Zhang et al. (2011).

Se puede ver en la tabla N°35, que los valores se aproximan al tipo de secado existente de la temperatura de trabajo en el interior del mismo.

**Tabla 35: Temperatura máxima en cabina de secado**

Temperatura máxima en cabina de secado ( °C )			
N° de Cabinas de secado	2016		2017
	Noviembre	Diciembre	Enero
1	42	40	41
2	40	39	41
3	41	40	42
4	40	41	40
5	42	42	43
6	42	42	42
7	41	42	42
8	43	43	41
9	45	44	45
10	45	42	41

**Fuente:** Empresa Agroindustria y Comercio S.A.  
Elaboración propia

**Tabla 36: Diferentes tipos de sensores de temperatura.**

Tipo de sensor de temperatura	Rango de temperatura (°C)	Aplicaciones
Termocupla “J”	-180 a 750	Industria del plástico y goma (extrusión e inyección), Temperatura de motores (carcaza )
Termocupla “K”	-180 a 1372	Fundición de metales hasta 1300°C (no ferrosos) Hornos en general
Termoresistencia Pt100	-100 a 200	Usados en cámaras frigoríficas, secado de alimentos, hornos, no tiene contacto directo con la fuente de calor.

**Fuente:** Arian, control & instrumentation (2016)

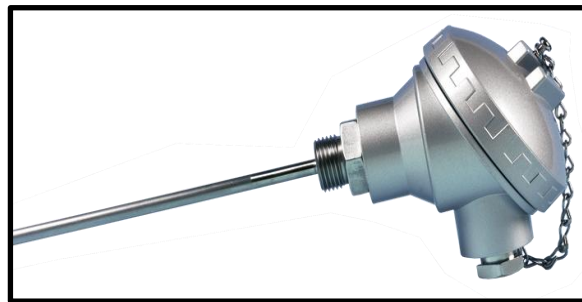
Para el control de temperatura de cabina de secado, se eligió a la **termoresistencia PT100**, pues cuenta con alta resistividad, ya que cuanto mayor sea la resistencia a una temperatura dada tanto mayor será la variación por grado (mayor sensibilidad).

Cuenta con una relación lineal resistencia-temperatura, siendo muy usado en sistema de control de temperatura de procesos de secado de alimentos. Ver Tabla N°36.

**Tabla 37:Características Técnicas de sensor PT100**

Longitud de cable: 2 metros
RTD 100°C a 0Ω
Configuración a 3 hilos
Vaina: acero inoxidable AISI 316, diámetro 6mm ú 8mm
Rango de funcionamiento: -75°C a +250°C
Terminado con un cabezal estándar IP67 de aluminio fundido, temperatura máxima 135°C.

**Fuente:** Medida y control de temperatura (TC direct 2017).



**Figura 61:Termoresistencia PT100**

Fuente: Medida y control de temperatura (TC direct 2017).

#### **3.4.1.4. Determinación de sensor de humedad para el proceso de control de secado de pastas alimenticias**

Como se muestra en la siguiente tabla N°38, el promedio de humedad relativa en la cabina de secado varía entre el inicio y el final del secado, debido a la humedad con la cual ingresa el producto a las cabinas, esta toma de datos se realizó con un sensor de humedad electrónico tipo capacitivo.

Según estudios realizados en la elaboración de pastas alimenticias, se requiere una humedad en el cuarto de secado de baja temperatura de aproximadamente **65% de Humedad relativa**. (Astaiza M 2010).

La Rosa et al. (2014) en su investigación Modelado matemático del efecto de la temperatura y humedad del aire sobre la velocidad de secado de pastas libres de gluten, se ensayaron cuatro condiciones de proceso diferentes: dos temperaturas (30°C y 50°C) y dos humedades relativas (**40 y 80%**) manteniendo constante la velocidad del aire en 0.5 m/s.

**Tabla 38: Humedad Relativa promedio en cabina de secado**

Humedad relativa promedio en cabina de secado ( %H.R )						
N° de Cabinas de secado	2016				2017	
	Noviembre		Diciembre		Enero	
	Inicio (%H.R)	Final (%H.R)	Inicio (%H.R)	Final (%H.R)	Inicio (%H.R)	Final (%H.R)
1	95	56	94	56	93	55
2	94	55	92	54	93	52
3	90	52	91	56	95	52
4	91	56	90	55	92	56
5	92	54	92	59	94	51
6	91	55	89	52	92	54
7	94	51	92	53	91	53
8	95	57	91	54	91	52
9	96	56	95	55	90	57
10	91	52	92	54	92	55

Fuente: Empresa Agroindustria y Comercio S.A.  
Elaboración propia

**Tabla 39: Diferentes tipos de sensores de humedad relativa**

Tipo de sensor de Humedad	Rango de Humedad (%H.R)	Ventajas
Sensor de Humedad HCT01-00D	0 -100% (-40°C a 60°C)	Este sensor de humedad es ideal para aplicaciones de control climático exigentes.
Sensor Capacitivo HMD 40/50	10 – 90% (-10 a 60°C)	Usados para medición en conductos de aire acondicionado hasta 60 °C.
Sonda de Humedad TRH11	0 -100%	Tiempo de respuesta: 30 seg. (a 23°C y con una velocidad de aire a 3 m/s)

Fuente: Elaboración propia.

Para el control de humedad relativa de cabina de secado, se eligió al sensor de humedad EE211, pues cuenta con salida analógica de 4 – 20 mA, lo cual es indispensable para el ingreso de señal analógica a PLC.

Su rango de trabajo es más extenso (0-100%H.R), con un valor de temperatura adecuado para este tipo de trabajo, además es ideal para control climático exigentes. Ver características en la tabla N°40.

**Tabla 40: Características técnicas de sensor E+E Sensor HCT01-00D**

<b>Rango de medición</b>	0-100% HR
<b>Salidas analógicas</b>	0-5v
	0-10v
	4-20mA (2 HILOS)
<b>precisión</b>	$\pm(1.3 + 0.007* \text{valor medido}) \% \text{ H.r.}$
<b>suministro</b>	24 VDC
<b>Conexión</b>	Tipo tornillo – 1.5 mm <sup>2</sup>
<b>Tipo de protección</b>	IP-65

**Fuente:** Instrumentos de medida y control (www.pce-instruments.com s.f.)



**Figura 62: Sensor de humedad ambiental**

**Fuente:** Instrumentos de medida y control (www.pce-instruments.com s.f.)

### 3.4.1.5 Determinación de válvula de control automática para el ingreso de agua caliente a cabina de secado .

La necesidad universal de normalizar el cálculo de las dimensiones de las válvulas, no solo en cuanto al tamaño, sino también en cuanto a capacidad del paso de fluido a llevado a los fabricantes y a los usuarios a adoptar un coeficiente que refleja y representa la capacidad de las válvulas de control (Creus 1997). Formula general:

$$k_v = Q \sqrt{\frac{\rho}{\Delta p}}$$

$$c_v = 1,16 * k_v$$

$k_v$  = Coeficiente de caudal de válvula (gln/min)

$c_v$  = Coeficiente de caudal de válvula (m3/min)

Q= Caudal máximo ....m3/h

$\rho$  = Densidad .....g/cm3

$\Delta p$  = Perdida de carga, en bar del caudal máximo.

#### A) Dimensionamiento de Válvula de control.

Caudal máximo= 10 m3/h

Densidad =1g/cm3

Perdida de carga = 3.1 bar

Aumentando el 10% al caudal máximo.

$$k_v = 11 \sqrt{\frac{1}{3.1}} = 5.6$$



**Figura 63: Válvula Proporcional EV260B**

Fuente: (DANFOSS S.A 2015)

## B). Electroválvula proporcional Servo accionada de 2 vías.

Para nuestro sistema de control de temperatura en las cabinas de secado se requiere una electroválvula de control proporcional de caudal de la serie EV260B de DANFOSS.

Las válvulas proporcionales automáticas de dos vías DANFOSS modelo EV260B son usados para la regulación de caudal en agua, aceite y líquidos neutros similares, la regulación proporcional de la apertura y cierre de las válvulas EV260B se alcanza mediante la regulación progresiva de la corriente de la bobina y de la fuerza de conexión de la bobina. (DANFOSS S.A 2015)

EV260B Válvula proporcional, latón, NC						
Tipo	Conexión	K <sub>v</sub> [m <sup>3</sup> /h]	Material de la junta	Medio Agua	Presión diferencial [bar]	Cód.
EV260B 6	G ¼	0.80	PTFE	-10 - 80 °C	0.5 - 10	032U8052
EV260B 6	G ¼	0.80	PTFE	-10 - 80 °C	0.5 - 10	032U8053
EV260B 10	G ¼	1.30	PTFE	-10 - 80 °C	0.5 - 10	032U8054
EV260B 10	G ½	1.30	PTFE	-10 - 80 °C	0.5 - 10	032U8055
EV260B 15	G ½	2.10	PTFE	-10 - 80 °C	0.5 - 10	032U8056
EV260B 20	G ¾	5.00	PTFE	-10 - 80 °C	0.5 - 10	032U8057

Bobinas para EV260B			
Tensión [V] CC	Bobina BK 300-600 mA 018Z6987	Bobina BM 0-10 V 018Z0290	Bobina BL 4-20 mA 018Z0291
24	Caja terminal IP67 incluida como estándar	Caja terminal IP67 incluida como estándar	Caja terminal IP67 incluida como estándar

Figura 64: Dimensionamiento de válvula de control

Fuente: (DANFOSS S.A 2015)

Tabla 41: Especificaciones técnicas de válvula de control

VÁLVULA
<b>CARACTERÍSTICAS</b>
Para agua, aceite y líquidos neutros similares
Para la regulación progresiva del caudal en plantas industriales.
Características lineales en el rango de regulación
Se cierra ante una caída de tensión
Tensión de 24 VDC
De 4 a 20 mA estándar o de 0 a 10 V cc para señal de control
Rango de caudal de agua: 0,5-12,7 m <sup>3</sup> /h

Fuente: Control de fluidos, monitorización y control de presión y temperatura (DANFOSS S.A 2015)

### 3.4.1.6 Determinación de flujo de aire para cabina de secado

Es importante conocer cuál debe ser el flujo de masa de aire  $m_{al}$  que se necesita para extraer la humedad adecuada de la pasta alimenticia, ya que la etapa del secado es de gran importancia para garantizar una buena calidad del producto.

La temperatura del aire de secado debe estar entre 45°C y 55°C ó puede ser menor. Si se utilizan temperaturas superiores a 55 °C se puede producir un sobre secado de las capas exteriores del producto. Orozco, C. y Bedoya, F. (2007).

**Tabla 42: Temperatura para el aire y agua en el producto.**

Tal , entrada (°C)	45
Tal , salida (°C)	25
Tw , entrada (°C)	85
Tw , salida (°C)	65

**Fuente:** Scientia et Technica Año XIII, No 35  
Elaboración propia

Con los datos de la tabla N°25. se calcula los cambios de temperatura para el aire y el agua del producto a secar.  $\Delta T_{al} = 20$  °C y  $\Delta T_w = 20$  °C.

$$m_{al} = \frac{m_w \cdot (Cp_w \cdot \Delta T_w + h_{fg})}{n_s \cdot Cp_{al} \cdot \Delta T_{al}}$$

$$m_w = \frac{m_{pastas}}{t} \cdot (w_0 - w_f)$$

$$m_{al} = \frac{m_{pastas} \cdot (w_0 - w_f) \cdot (Cp_w \cdot \Delta T_w + h_{fg})}{t \cdot n_s \cdot Cp_{al} \cdot \Delta T_{al}}$$

Leyenda:

$m_{al}$  = Flujo de masa de aire

$m_w$  = Flujo de masa de agua

$Cp_w$  = Calor específico para el vapor de agua (1,8723kJ/kg·K)

$Cp_{al}$  = Calor específico del aire (1,005kJ/kg·K)

$h_{fg}$  = Entalpia de vaporización (2442,3kJ/kg)

$n_s$  = Eficiencia de secado (1 ó 100%)

$w_0$  = Humedad inicial (0.26 ó 26%)

$w_f$  = Humedad final (0.12 ó 12 %)

$\Delta T_w$  = Cambio De temperatura del agua (20°C)

$\Delta T_{al}$  = Cambio De temperatura del aire (20°C)

$t$  = Tiempo de secado (18 horas ó 64800 s)

$m_{pastas}$  = Masa de pastas alimenticias (800 kg)

$$m_{al} = \frac{m_{pastas} \cdot (w_0 - w_f) \cdot (c p_w \cdot \Delta T_W + h_{fg})}{n_s \cdot t \cdot C p_{al} \cdot \Delta T_{al}}$$

Para 800 kg en 18 horas de secado tenemos:

$$m_{al} = \frac{800 \cdot (0.26 - 0.12) \cdot (1,8723 \cdot 20^\circ\text{C} + 2442,3)}{0.6 \cdot 64800 \cdot 1,005 \cdot 20^\circ\text{C}}$$

$$m_{al} = \frac{800}{0.6 \cdot 64800} \cdot 17.27$$

$$m_{al} = 0.34 \text{ kg/s}$$

El flujo másico del aire que se requiere para extraer la humedad adecuada de las pastas alimenticias dentro de la cabina de secado, teniendo una eficiencia de secado del 60% es: **0.34 kg/s**

El caudal de aire requerido para extraer la humedad del producto a secar es:

$$Q_{al} = \frac{m_{al}}{\rho_{al}} = \frac{0.34 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{1.225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.28 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

**Conversión de  $\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$  a CFM**

$$Q = 0.28 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot \frac{2116.8 \text{ CFM}}{1 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}} = 592.7 \text{ CFM}$$

**Consumo de potencia del motor**

$$HP = \frac{Q \cdot Pe}{6356 \cdot n} = \frac{592.7 \cdot 12}{6356 \cdot 0.6} = \frac{7,112}{3.8136} = 1.86 \text{ HP} \approx 2 \text{ HP}$$

### 3.4.1.7 - Determinación de extracción de humedad de cabina de secado.

En la actualidad el sistema de extracción de humedad de la cabina de secado se realiza manualmente por compuertas y cada cierto tiempo.

Con la propuesta que se realiza se automatizará el sistema de extracción de humedad de la cabina, contando con una compuerta de control con actuador eléctrico en la parte superior de la cabina, junto con un ventilador extractor de humedad, los cuales serán controlados desde el sistema automatizado por PLC.

#### A.1) Selección de compuerta con actuador eléctrico:

La selección de la compuerta esta relacionada al actuador, pues estos están basados en un criterio específico como es el torque requerido para operar dichas compuertas.

A.1) Determinar el área total de compuerta

Se propone un compuerta rectangular con las siguientes dimensiones:

Fondo (A)= 0.12 m.

Largo (B)= 0.30 m.

Ancho (C)= 0.25 m

$$A = 2(B * C) + 2(B * A) + 2(A * C)$$

$$A = 2(0.30 * 0.25) + 2(0.30 * 0.12) + 2(0.12 * 0.25)$$

$$A = 0.15 + 0.072 + 0.06$$

$$A = 0.282 m^2 \text{ igual a } 3.03 ft^2$$

#### A.2) Tipo de compuerta a utilizar

Existen 02 tipos de compuertas rectangulares, las cuales son usadas para modular flujo de aire: Compuertas de aspas paralelas y compuertas de aspas opuestas.

En nuestro caso se eligirá, **la compuerta con aspas paralelas**, las cuales se mueven en la misma dirección, sabiendo que el flujo incrementa más rápidamente cuando la compuerta se comienza a abrir.

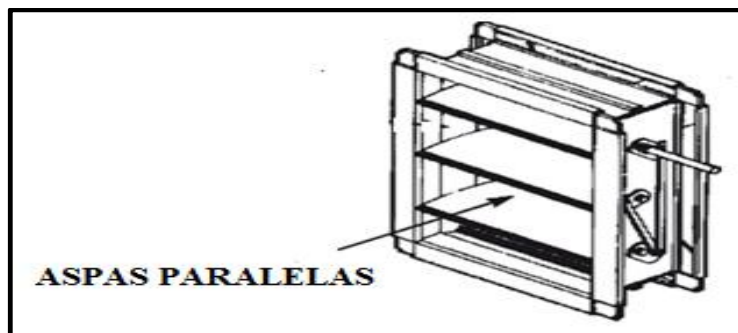


Figura 65: Tipos de alaves para compuerta

Fuente: Cálculo y selección de actuadores para compuertas (HAVC&R 2017)

### A.3) Velocidad del aire, presión estática o flujo de diseño

Con cualquiera de estos parámetros podremos determinar el flujo de aire para poder aplicar la siguiente tabla 43. Para sistemas mayores a 1000 pies por minuto (FPM), se requerirá torque adicional.

En este caso, se cuenta con un flujo de masa de aire de 592.7 CFM, en un área de  $161.45 \text{ ft}^2$  ( $15\text{m}^2$ ) que equivale a 3.67 FPM, por tanto el factor de carga que se aplicará será de  $7 \text{ in} - \text{lb}/\text{ft}^2$

**Tabla 43:Factor de carga de compuertas**

Factor de carga de compuerta in-lb/ft <sup>2</sup>			
Tipos de compuerta	< 1000 FPM	FPM	FPM
	2" columna de agua	1000 2500	2500-3500
Redonda	10	14	20
Paralela/sellos de borde	7	10.5	14
Opuesta/sellos de borde	5	7.5	10
Paralela/sin sellos de borde	4	6	8
Opuesta/sin sellos de borde	3	4.5	6

**Fuente:** Cálculo y selección de actuadores para compuertas (HAVC&R 2017)

#### Cálculo de Torque requerido:

$$\text{Torque (in - lb)} = A(\text{ft}^2) * F.C(\text{in} - \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2})$$

$$\text{Torque (in - lb)} = 3.03(\text{ft}^2) * 7(\text{in} - \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2}) = 16.52 \text{ in} - \text{lb}$$

Este es el torque mínimo requerido para controlar esta compuerta.

### A.4) Voltaje de alimentación requerido y sistema de control.

Existen 3 tipos de alimentación para el actuador eléctrico:

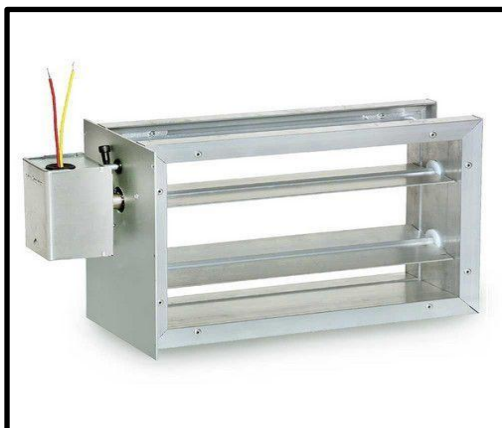
- 24 VAC/VDC
- 120 VAC
- **220 VAC.**

El voltaje requerido depende de nuestra red de alimentación eléctrica, la cual es de 230 VAC. En cuanto al sistema de control será modo **ON-OFF**, ya que solo se requerirá cada vez que se sature el ambiente con humedad por encima de lo establecido.

**Tabla 44:Características Técnicas de compuerta de control.**

Modelo	ZXL-FF
Tipo	HAVC
Actuador	220 VAC/24 VAC-VDC
Tamaño	30 cm x 30 cm x 60 cm
Material	Galvanizado hoja

**Fuente:** Cálculo y selección de actuadores para compuertas (HAVC&R 2017).



**Figura 66: Compuerta JK actuador eléctrico**  
**Fuente:** (AIRTECNICS 2017)

#### A) Selección de ventilador extractor de flujo axial.

Los extractores de aire son aparatos mecánicos utilizados principalmente la sustitución de una porción de aire húmedo saturado hacia el exterior, evitando la condensación dentro de la cabina de secado.

Para ello seleccionamos el extractor trifásico semi-industrial – HTE35



**Figura 67: Extractor trifásico semi industrial**

**Tabla 45: Características técnicas de Extractor de aire**

Modelo	HTE-35
Diámetro de aro	37 cm.
Diámetro de pala	35 cm.
Aspas:	3 de aluminio
Extrae	35m <sup>3</sup> x min
Motor:	Trifásico
Potencia:	1/8 Hp
RPM:	1400

**Fuente:** Extractor trifásico semi industrial - código HTE 35

### 3.4.1.8. Sistema de control eléctrico para la inversión de giro de los motores ventiladores.

Este tipo de sistema de control solo se aplicará el circuito de fuerza, ya que el sistema de control estará dentro del sistema automatizado por PLC. Para los cálculos de los componentes eléctricos, se cuenta con la siguiente información:

Tensión de red = 220 VAC.  
 Rpm de ventilador = 1800  
 Factor de potencia = 0.8  
 Eficiencia = 0.8

#### A) Cálculo de Intensidad nominal del motor (In):

$$In = \frac{HP*746}{\sqrt{3}*V* \cos\phi*n} ; In = \frac{2*746}{\sqrt{3}*220*0.8*0.8} = 6.12 \text{ A.}$$

Cada motor ventilador ubicado en cada cabina de secado requiere de una intensidad de corriente de 6.12 A.

#### B) Selección de disyuntor magnetotermico (Id).

La selección del disyuntor termomagnético se realiza en función de la intensidad nominal del motor, multiplicado por el factor de seguridad que es 25%

$$Id = In*1.25 ; Id = 7.65A.$$

El disyuntor magnetotérmico seleccionado será el modelo de referencia GV2-ME14, el cual tiene un rango de ajuste de disparo térmico de 6 A. – 10 A. ver Figura N°6

Motor circuit breakers from 0.06 to 15 kW / 400 V, with screw clamp terminals												
GV2ME with pushbutton control												
Standard power ratings of 3-phase motors 50/60 Hz in category AC-3									Setting range of thermal trips (1)	Magnetic tripping current Id ± 20 %	Reference	
400/415 V			500 V			690 V						
P	Icu	Ics (1)	P	Icu	Ics (1)	P	Icu	Ics (1)				
kW	kA	%	kW	kA	%	kW	kA	%	A	A		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1...0.16	1.5	GV2ME01	
0.06	*	*	-	-	-	-	-	-	0.16...0.25	2.4	GV2ME02	
0.09	*	*	-	-	-	-	-	-	0.25...0.40	5	GV2ME03	
0.12	*	*	-	-	-	0.37	*	*	0.40...0.63	8	GV2ME04	
0.18	*	*	-	-	-	-	-	-				
0.25	*	*	-	-	-	0.55	*	*	0.63...1	13	GV2ME05	
0.37	*	*	0.37	*	*	-	-	-	1...16	22.5	GV2ME06	
0.55	*	*	0.55	*	*	0.75	*	*				
-	-	-	0.75	*	*	1.1	*	*				
0.75	*	*	1.1	*	*	1.5	3	75	1.6...2.5	33.5	GV2ME07	
1.1	*	*	1.5	*	*	2.2	3	75	2.5...4	51	GV2ME08	
1.5	*	*	2.2	*	*	3	3	75				
2.2	*	*	3	50	100	4	3	75	4...6.3	78	GV2ME10	
3	*	*	4	10	100	5.5	3	75	6...10	138	GV2ME14	
4	*	*	5.5	10	100	7.5	3	75				

Figura 68: Selección disyuntor termomagnético

Fuente: (Electric 2015)

### C) Selección de contactor electromagnético (Ik)

La selección del contactor electromagnético se realiza en función de la intensidad nominal del motor.

$$I_k \geq I_n ; I_k \geq 6.12 \text{ Amp.}$$

El contactor elegido es de 9 A. como modelo de referencia LC1D09, con voltaje de bobina de 220 V/60 Hz, con 02 contactos auxiliares. Ver figura N°69

Potencias normalizadas de los motores trifásicos 50/60 Hz en AC-3		Corriente asignada de empleo en AC-3 A	Contactos auxiliares integrados	Referencia a ordenar
kW (HP) 220 V	kW (HP) 440 V			
<b>Contadores magnéticos tripolares ca con terminales atornillables</b>				
2.2 (3)	4 (5.5)	9	1NA-1NC	LC1D09**
3 (3)	5.5 (7.5)	12	1NA-1NC	LC1D12**
4 (5.5)	9 (12)	18	1NA-1NC	LC1D18**
5.5 (7.5)	11 (15)	25	1NA-1NC	LC1D25**
7.5 (7.5)	11 (15)	32	1NA-1NC	LC1D32**
9 (10)	18.5 (25)	38	1NA-1NC	LC1D38**
11 (15)	22 (30)	40	1NA-1NC	LC1D40A**
15 (20)	30 (40)	50	1NA-1NC	LC1D50A**
18.5 (25)	37 (50)	65	1NA-1NC	LC1D65A**
22 (30)	45 (60)	80	1NA-1NC	LC1D80**
25 (33)	45 (60)	95	1NA-1NC	LC1D95**
30 (40)	59 (80)	115	1NA-1NC	LC1D115**
40 (55)	80 (100)	150	1NA-1NC	LC1D150**
<b>Contadores magnéticos tripolares con bobina en 24 Vcd y terminales atornillables</b>				
2.2 (3)	4 (5.5)	9	1NA-1NC	LC1D09BD
3 (3)	5.5 (7.5)	12	1NA-1NC	LC1D12BD
4 (5.5)	9 (12)	18	1NA-1NC	LC1D18BD
5.5 (7.5)	11 (15)	25	1NA-1NC	LC1D25BD
7.5 (7.5)	11 (15)	32	1NA-1NC	LC1D32BD
9 (10)	18.5 (20)	38	1NA-1NC	LC1D38BD

\*\* Indique el voltaje requerido para la bobina (BD = 24 Vcd, F7 = 110 Vca, M7 = 200 Vca, R7 = 440 Vca).

**Figura 69: Selección de contactor electromagnético**

Fuente: (Electric 2015)

### D) Cálculo de conductores eléctricos por capacidad de corriente:

Para este cálculo se requiere tener en cuenta el factor de seguridad (Fs) de 25% con respecto a la intensidad nominal del motor.

$$I_{cond.} = I_n * F_s = 6.12 * 1.25 = 7.65 \text{ A.}$$

Teniendo en cuenta la sección mínima de conductores para circuitos derivados de fuerza debe ser mayor de 2.5 mm<sup>2</sup> (CNE 030.002).

### E) Cálculo por caída de tensión en conductor .

Longitud de cableado (L)=20 metros

Sección de conductor(S)= 3,31mm<sup>2</sup>

$$\% \Delta V = \frac{0.0309 * \epsilon I * L * \text{Cos}\theta}{S * V} * 100 = \frac{0,0309 * 7.65 * 20 * 0.8}{3.31 * 220} * 100 = 0.5\%$$

La caída de tensión máxima permitida es de 3% de la tensión de línea,

$$\% \Delta V = 0.5\% > 3\%$$

Por tanto se utilizará un cable N°12 AWG ( $S = 3.31 \text{ mm}^2$ ), tipo de aislamiento THW, el cual tiene una capacidad de corriente máxima de 25 A. a  $70^\circ\text{C}$ . Ver la siguiente tabla N°46

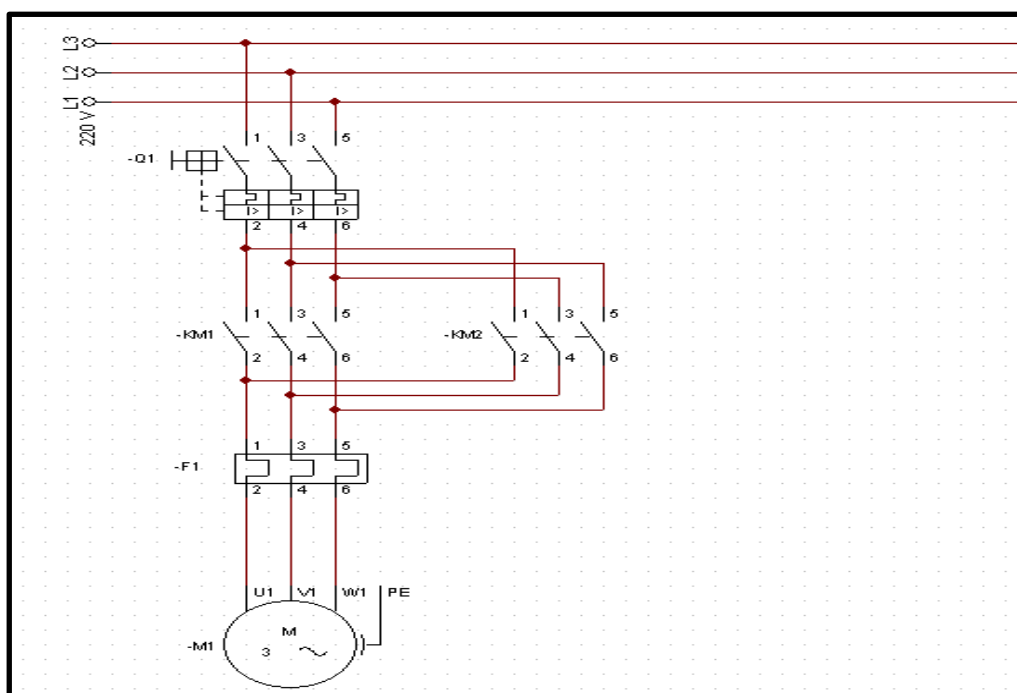
**Tabla 46: Capacidad de corriente de conductores eléctricos**

(Ver Reglas 030-004, 050-104, 070-012, 070-2212, 150-000, 150-742, 220-008 y 220-016, y Tablas 5A, 5C y 19)

**Capacidad de corriente en A de conductores aislados – En canalización o cable**  
**Alternativa para calibres AWG (\*)**  
 Basada en temperatura ambiente de  $30^\circ\text{C}$

AWG	Sección [mm <sup>2</sup> ]	Temperatura		
		TW, TWF	THW, THHW, THHWF, XHHW	THWN-2, XHHW-2
		60 °C	75 °C	90 °C
16	1,31	-	-	18
14	2,08	20	20	25
12	3,31	25	25	30
10	5,26	30	35	40
8	8,37	40	50	55
6	13,30	55	65	75
4	21,15	70	85	95

Fuente:Codigo Nacional del Electricista (C.N.E 2006)



**Figura 70: Sistema de fuerza – Arranque directo con inversión de giro de motor**

Fuente: Elaboración propia



LEYENDA		LEYENDA		LEYENDA	
	PARO DE EMERGENCIA	Q0	LÁMPARA INICIO PROCESO		SENSOR DE TEMPERATURA
	INTERRUPTOR 2 POSICIONES	Q1	GIRO HORARIO CONTACTOR VENTILADOR		SENSOR DE HUMEDAD
	PARO MOTOR VENTILADOR	Q2	GIRO ANTIHORARIO CONTACTOR VENTILADOR		VÁLVULA PROPORCIONAL
	MARCHA MOTOR VENTILADOR	Q3	CONTACTOR MOTOR EXPULSOR		
	PARO MOTOR EXPULSOR HUMEDAD	Q4	MOTOR COMPUERTA-1		
	MARCHA MOTOR EXPULSOR HUMEDAD	Q5	MOTOR COMPUERTA-2		
	RELÉ TERMICO	Q6	LÁMPARA EXTRACTOR		

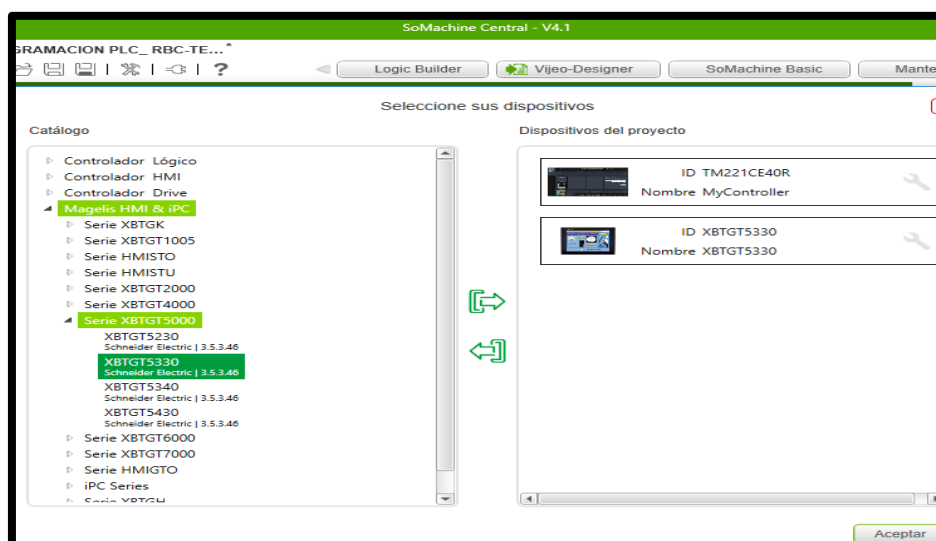
**Figura N°71-B: Leyenda de diagrama eléctrico de Sistema de control por PLC**  
**Fuente:** Elaboración propia

### A) Visualización de control de proceso de secado de pastas alimenticias mediante pantalla HMI - Magelis

Para la supervisión y control de las variables de proceso de secado, se trabajará con un interfase Hombre – Máquina HMI, el cual está conectado al Plc mediante un cable de comunicación, se realiza un programa mediante el software Vijeo designer, el cual se encuentra en la plataforma SOMACHINE donde se coloca todas las variables a controlar.

#### A1) Elegir pantalla de supervisión HMI\_ MAGELIS

Para ello se debe ir a plataforma de SOMACHINE, y gestionar dispositivos, elegir en el catalogo HMI & iPC, luego la serie XBTGT 5000, luego elegir el modelo XBTGT 5330, (640mm x 480 mm). e incluir en dispositivos en proyecto. Ver figura N°72



**Figura 72: Elección de Pantalla HMI en plataforma SOMACHINE**

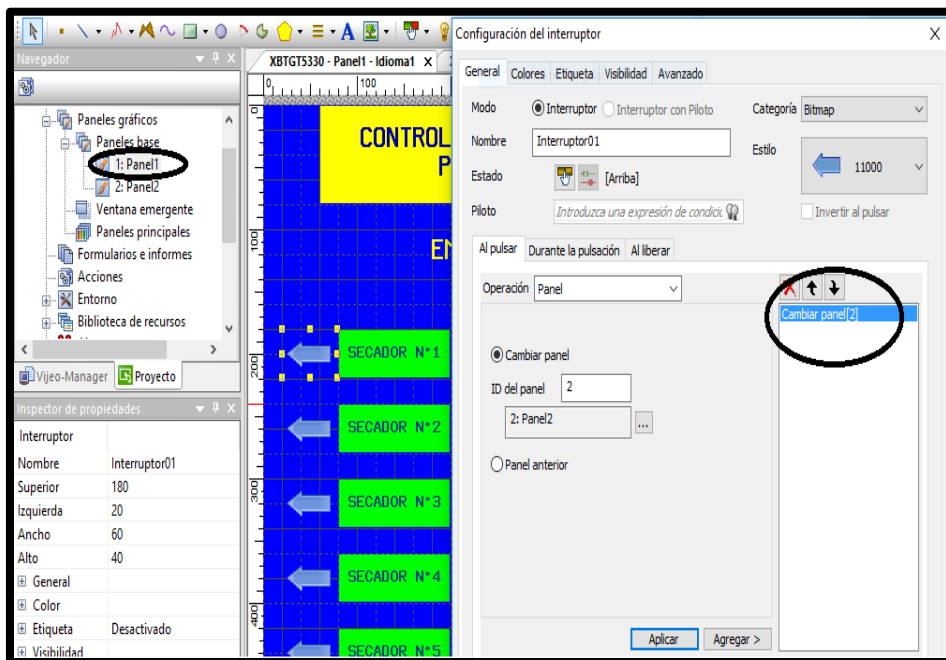
**Fuente:** Elaboración propia

## A2) Configurar Paneles gráficos para procesos a supervisar

Ir al Navegador, donde se encuentran los paneles gráficos, luego ir a panel base, crear un nuevo panel, en el cual se grafican todos los elementos que son parte del control de proceso de secado.

A continuación configurar el interruptor (forma de flecha): Ir a Operación: Panel, luego Cambiar panel, según el panel a donde nos queremos dirigir. En este caso panel 2.

Dar click en aplicar, luego agregar y finalmente aceptar. Ver figura N°73



**Figura 73: Configuración de panel de gráficos en Vijeo Designer**

**Fuente:** Elaboración propia

En el siguiente panel gráfico, representa el panel principal de supervisión y control de proceso de secado, en este se puede visualizar los paneles de control de cada secador. Ver figura N°74.



**Figura 74: Pantalla principal de HMI**

Fuente: Elaboración propia.

**A2) Configurar gráficos de supervisión y control – HMI en panel de secador de pastas alimenticias.**

**VARIABLES TIPO BOOL:**

Ingresar a software Vijeo Designer en la plataforma de SOMACHINE, ir a navegador, luego a variables y crear nuevas variables. Escoger el tipo de datos: **BOOL**, El cual se utiliza para señales discretas (lámparas, bobinas, etc).

Escoger el origen de datos:

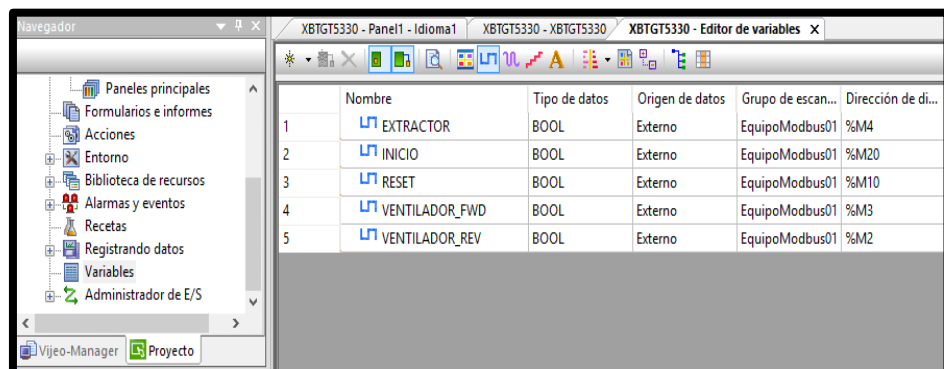
**Externo**, ya que la información viene de PLC modicom 221,

Escoger el Grupo de escaneo:

**Equipomodbus01**, se crea en administrador E/S, es en este lugar donde se coloca los datos de dirección IP de PLC a utilizar, para que la pantalla HMI reconzca.

**Escoger dirección de dispositivos:**

%Mx, para este tipo de datos se utiliza el bit de memoria, el cual esta configurada en la programación de PLC modicon M221: Ver figura N°75



**Figura 75: Variables BOOL en pantalla HMI\_MAGELIS**

Fuente: Elaboración propia.

**VARIABLES TIPO INT:**

Para colocar variables analógicas en los graficos diseñados en pantalla HMI\_MAGELIS, Escoger el tipo de datos:

**Integer/INT**, El cual se utiliza para señales analógicas (controles numéricos, sensores analógicos, etc).

Escoger el origen de datos:

**Externo**, ya que la información viene de PLC modicom 221,

**Equipomodbus01**, se crea en administrador E/S, es en este lugar donde se coloca los datos de dirección IP de PLC a utilizar, para que pantalla HMI reconzca.

**Escoger dirección de dispositivos:**

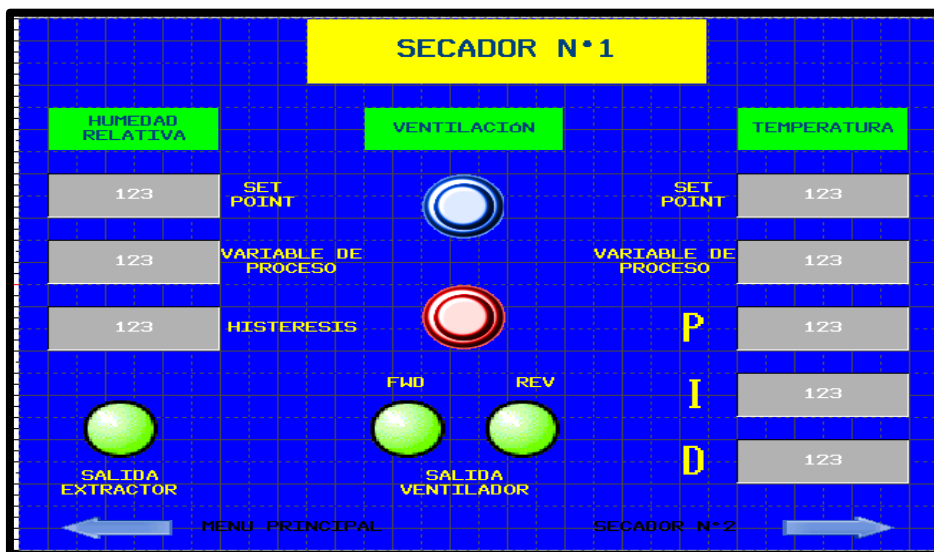
**%MWx**, para este tipo de datos se utiliza el bit de memoria de doble palabra, el cual esta configurada en la programación de PLC M221: Ver figura N°76

	Nombre	Tipo de datos	Origen de datos	Grupo de escan...	Dirección de di...
1	DERIVATIVO_TEMPERATUR	Integer	Externo	EquipoModbus01	%MW50
2	HISTERESIS_HUMEDAD	Integer	Externo	EquipoModbus01	%MW21
3	INTEGRAL_TEMERATURA	Integer	Externo	EquipoModbus01	%MW40
4	PROPORCIONAL_TEMPER	Integer	Externo	EquipoModbus01	%MW30
5	SET_POINT_HUMEDAD	INT	Externo	EquipoModbus01	%MW20
6	SET_POINT_TEMPERATUR	Integer	Externo	EquipoModbus01	%MW2
7	VARIABLE_PROCESO_HUM	INT	Externo	EquipoModbus01	%MW10
8	VARIABLE_PROCESO_TEM	Integer	Externo	EquipoModbus01	%MW1

**Figura 76: Variables INT/integer en pantalla HMI\_MAGELIS**

Fuente:Elaboración propia.

En el siguiente panel gráfico, representa el panel de supervisión y control de proceso de secado N°1, en este se puede visualizar todas las variables a controlar. Ver figura N°77.



**Figura 77: Pantalla de Supervisión y control de secador N°1**

Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.2 Nuevos indicadores de producción y productividad

Determinado los elementos de trabajo a utilizar, así como los sistemas de control respectivos, se realiza la evaluación de mejora según la identificación de los problemas en el sistema de producción que se realizó en su momento, lo cual genera baja productividad en el área de secado de pastas alimenticias.

#### A) Mano de obra:

**Causa: Fatiga del trabajador en la etapa de secado por cambio de temperatura.**

Para esta causa se propone:

**Sistema de control para inversión de giro temporizado de motor ventilador mediante PLC**, con esta mejora los operarios (controlador de secado y ayudante), solo realizarán el ingreso de carretillas a la cabina de secado para su secado, así como el traslado del mismo cuando ya está seco. Evitando así realizar esfuerzos físicos de exponerse a altas temperaturas, para revisar el producto o realizar las rotaciones de carretillas en el interior del secado.

**Sistema de control por PLC para accionamiento de compuertas y extractor de humedad**, con esta propuesta de mejora, el aire húmedo caliente que existe dentro de la cabina de secado es expulsado al exterior del área de secado, esto evitaría la fatiga por el exceso de temperatura en dicha área.

Para poder realizar la medición respectiva, con respecto a la fatiga del trabajador en un turno de producción, se requirió el apoyo de un operario de otra área para que realice las rotaciones de secado sin afectar el desenvolvimiento de los responsables de secado (controlador de secado y ayudante). Logrando mejorar **8.75 %** la productividad con respecto a la mano de obra.

**Tabla 47: Producción mejorada – Mano de obra**

FECHA	Hora de trabajo	Producción realizada (kg)	Producción requerida(kg)	Productividad requerida (bolsas/ horas hombre)	Productividad actual(bolsas/ horas hombre)
10/02/2017	7:00- 8:00	370	390	8.13	7.71
10/02/2017	8:00 - 9:00	360	390	8.13	7.50
10/02/2017	9:00 - 10:00	380	390	8.13	7.92
10/02/2017	10:00 - 11:00	360	390	8.13	7.50
10/02/2017	11:00 - 12:00	370	390	8.13	7.71
10/02/2017	12:00 - 13:00	350	390	8.13	7.29
10/02/2017	13:00 - 14:00	350	390	8.13	7.29
10/02/2017	14:00 - 15:00	350	390	8.13	7.29
10/02/2017	15:00 - 16:00	360	390	8.13	7.50
10/02/2017	16:00 - 17:00	370	390	8.13	7.71
10/02/2017	17:00 - 18:00	350	390	8.13	7.29
10/02/2017	18:00 - 19:00	350	390	8.13	7.29
		<b>4320</b>	<b>4680</b>		<b>90.00</b>

Fuente: Empresa Agroindustria y Comercio S.A.

## B) Métodos - Técnicas de secado:

**Causa:** Rotación manual de producto

Para esta causa se propone realizar:

**Sistema de control para inversión de giro temporizado de motor ventilador mediante PLC,** permitirá, que el operario pueda realizar sus actividades de envasado sin tener que perder tiempo en realizar rotaciones manuales del producto, evitando así la pérdida de humedad del interior de la cabina.

Esto generará ahorro a la empresa en el costo mensual por tiempo utilizado en rotación del producto, siendo anteriormente una pérdida en tiempo, ya que mensualmente se perdía **373. 3 horas al mes** realizando rotaciones del producto, ahora se utilizará este tiempo para aumentar la productividad en el área de envasado.

**Causa:** Ciclo de secado por tiempo.

Para esta causa se propone realizar 02 sistemas de control :

**Sistema de control para inversión de giro temporizado de motor ventilador mediante PLC.**

**Sistema de control de temperatura en cabina de secado.**

Con estos dos sistemas de control, nos permitirá tener un control automático del secado pues el producto secará de manera homogénea, teniendo en cuenta el control automático del proceso donde se realiza una programación con un solo tiempo al final de secado programado desde el PLC, y supervisado desde una pantalla HMI, evitando errores como:

- Válvulas de agua caliente cerradas
- Falta de rotación
- Motor ventilador apagado

Por tanto siempre se considerará, según los datos dados por los operarios de experiencia, el 10% del reproceso total generado anualmente.

**Por lo tanto el indicador actual sería:**

$$Rto \text{ ciclo de secado} = \frac{\text{Producto reproceso anual}(kg)}{\text{Producción anual}(kg)}$$

$$Rto \text{ ciclo de secado} = \frac{150(kg)}{2620800(kg)} = 0.0057\%$$

### C) Máquina de secado convencional:

**Causa:** Control manual de temperatura en interior de cabina de secado.

Para esta causa se propone realizar:

**Sistema de control de temperatura en cabina de secado**, este sistema será controlado de manera automática por un control PID, que el PLC tiene como parte de sus instrucciones de programación, contando con elementos de entrada (sensor de temperatura pt 100), y elemento de salida (válvula proporcional), quienes enviarán y recibirán información para un control mas eficiente del secado.

Este control será supervisado mediante una pantalla HMI- Magelis, desde un panel principal donde estarán todas las variables a utilizar y controlar.

Dentro de los márgenes de producción en fábrica, existe un indicador de producto defectuoso /trizado , esto equivale al 0.1% de la producción total.

$$\text{Producto trizado} = 1966590 * 0,001 = 1966 \text{ kg}$$

$$\text{Rto volumen} = \frac{\text{Producto trizado (kg)}}{\text{Producción programada(kg)}}$$

$$\text{Rto volumen} = \frac{1966 \text{ (kg)}}{1966590 \text{ (kg)}} = 0,1\%$$

**Causa:** Control manual de Humedad Relativa.

**Sistema de control para accionamiento de compuertas y extractor de humedad mediante PLC**, este sistema será controlado de manera automática por un control ON -OFF, programado en el PLC, teniendo como función extraer la humedad en exceso que existe dentro de la cabina de secado, esto se realiza mediante la señal que envía el sensor de humedad al módulo de señales analógicas de PLC, y así actúen las compuertas de entrada de aire fresco y salida de humedad, este último en paralelo con extractor de humedad.

### 3.4.3. Cuadro Comparativo de Indicadores

Tabla 48: Indicadores antes y después de la propuesta

Causas	Evidencia	indicador	En diagnóstico	En desarrollo	Explicaciones
C1: Fatiga de operarios por variación de temperatura	_Sistema de control para inversión de giro temporizado de motor ventilador mediante PLC. _Sistema de control por PLC para accionamiento de compuertas y extractor de humedad	$P_{Mano\ obra} = \frac{Producción\ diaria}{12\ horas * 4\ operarios}$	81.25%	90%	Productividad de mano de obra en área de envasado
C2: Rotación manual del producto	_Sistema de control para inversión de giro temporizado de motor ventilador mediante PLC	$Ef.\ rotación\ del\ producto = \frac{Tiempo\ efectivo\ utilizado\ (min)}{Tiempo\ total\ requerido\ (min)}$	52.20%	100%	Tiempo efectivo usado en el proceso de secado de pastas
C3: Ciclo de secado por tiempo	_Sistema de control de temperatura en cabina de secado. _Sistema de control para inversión de giro temporizado de motor ventilador mediante PLC	$Rto\ ciclo\ de\ secado = \frac{Producto\ reproceso\ anual\ (kg)}{Producción\ anual\ (kg)}$	0.05%	0.0057%	Reproceso generado por mal control de secado del producto
C4: Control manual de temperatura	_Sistema de control de temperatura en cabina de secado.	$Rto\ volumen = \frac{Producto\ trizado\ (kg)}{Producción\ programada\ (kg)}$	99%	99.8%	Rendimiento de producción anual con respecto al producto trizado
C5: Control manual de humedad	_Sistema de control de para accionamiento de compuertas y extractor de humedad mediante PLC	$Rto\ volumen = \frac{Producto\ envasado}{Producción\ programada}$	98.1%	99.8%	Rendimiento de producción anual con respecto a la baja humedad del producto

Fuente: Empresa Agroindustria y Comercio S.A.  
Elaboración propia

### 3.5 ANÁLISIS COSTO BENEFICIO

#### 3.5.1. Inversión Fija tangible

Este tipo de inversión se agrupan en tangibles e intangibles, diferenciación que va a facilitar el costeo del proyecto en su etapa operativa.

Los bienes físicos o tangibles se caracterizan por su materialidad y están sujetos en su mayor parte a la depreciación. Por tanto en este proyecto tenemos a los equipos ( PLC, pantalla HMI ) y materiales como son ( sensores de temperatura, sensores de humedad, conductores eléctricos, etc). Ver tabla N°49.

**Tabla 49: Bienes tangibles**

	<b>Item</b>	<b>Total s/.</b>
<b>EQUIPOS</b>	PLC Compacto modular	2 000
	Módulo de extensión de PLC de entradas analógicas	2 500
	Módulo de extensión de PLC de salidas por relé	700
	Módulo de extensión de PLC de salidas analógicas	2 500
	Fuente de alimentación	450
	Pantalla táctil - HMI	3 500
	Extractor de Humedad	4 000
<b>MATERIALES</b>	Electroválvulas proporcional	4 000
	Sensor de temperatura PT100	2 200
	Sensor de Humedad	3 500
	Contactador electromagnético	2 080
	Disyuntor Termomagnético	3 000
	Selector ON_OFF	300
	Lámparas de señalización	850
	Compuerta de control tipo persiana	3 000
	Conductor Eléctrico THW 14 AWG	1 200
	Conductor Eléctrico THW 16 AWG	200
	Tablero eléctrico	10 000
	Cable USB-comunicación Ethernet	450
	<b>HERRAMIENTAS</b>	Herramientas para mantenimiento
Mantenimiento preventivo		1 000
	<b>SUBTOTAL</b>	<b>S/.48 630.00</b>

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla N° 50, se muestra la depreciación de los equipos (%10), los materiales y herramientas (25%). El valor de la depreciación es lo mismo durante todos los años.

**Tabla 50: Depreciación de Inversión fija**

<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Depreciación anual (S/.)</b>
PLC Compacto modular	2,000	200
Módulo de extensión de PLC de entradas analógicas	2500	250
Módulo de extensión de PLC de salidas por relé	700	70
Módulo de extensión de PLC de salidas analógicas	2500	250
Fuente de alimentación	450	45
Pantalla táctil - HMI	3500	350
Extractor de Humedad	4000	400
Electroválvulas proporcional	4000	1 000
Sensor de temperatura PT100	2200	550
Sensor de Humedad	3500	875
Contactador electromagnético	2080	520
Disyuntor Termomagnético	3000	750
Selector ON_OFF	300	75
Lámparas de señalización	850	212.50
Compuerta de control tipo persiana	3000	750
Conductor Eléctrico THW 14 AWG	1200	300
Conductor Eléctrico THW 16 AWG	200	50
Tablero eléctrico	10000	2500
Cable USB-comunicación Ethernet	450	112.50
Herramientas para mantenimiento	1200	300
Mantenimiento preventivo	1,000	250
	<b>SUBTOTAL</b>	<b>S/ 9 810.00</b>

Fuente: Elaboración Propia

### 3.5.2 Inversión intangible.

Son todos los gastos que se realizan en la fase preoperativa del proyecto que no sean posibles identificarlos físicamente como inversión tangible. Por tanto la inversión intangible se incorpora a los costos operativos del proyecto en su fase de funcionamiento.

**Tabla 51: Bienes Intangibles**

<b>Ítem</b>	<b>Total s/.</b>
Estudios técnicos de investigación	2 500.00
Servicio de instalación de equipos	10 000.00
Tramites	500.00
<b>SUBTOTAL</b>	<b>S/ 13 000.00</b>

Fuente: Elaboración propia

### 3.5.3 Capital de trabajo.

Esta inversión está formada por los recursos monetarios que requiere el proyecto para atender las operaciones de producción en su inicio. Por tanto el capital de trabajo es el dinero circulante que facilitará la operatividad normal de la infraestructura productiva del proyecto. Ver tabla N° 52

**Tabla 52: Capital de trabajo**

<b>Ítem</b>	<b>Total s/.</b>
Capital De trabajo - 15% Inversión tangible	S/ 7,294.50
Imprevistos 10% - capital de trabajo	S/ 729.45
<b>SUBTOTAL</b>	<b>S/. 8 023.95</b>

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°53, se puede apreciar la inversión total del proyecto a ejecutar, teniendo en cuenta las inversiones tangible, intangibles y capital de trabajo.

**Tabla 53: Inversión total del proyecto**

<b>INVERSIÓN</b>	<b>MONTO S/.</b>
Inversión tangible	S/ 48 630.00
Inversión intangible	S/ 13 000.00
Capital de trabajo	S/ 8 023.00
<b>TOTAL DE INVERSIÓN</b>	<b>S/ 69 653.00</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 54: Cálculo del VAN y TIR del proyecto a realizar**

Tasa Inversión	12%
Tasa Costo	19%

5

7

BENEFICIOS	Unidad	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
Rotación manual del producto	S/.		S/. 10,000.00	S/. 11,000.00	S/. 12,100.00	S/. 13,300.00	S/. 14,000.00	
Control manual de temperatura	S/.		S/. 20,000.00	S/. 20,000.00	S/. 20,000.00	S/. 20,000.00	S/. 20,000.00	
Baja humedad en producto final	S/.		S/. 70,000.00	S/. 76,000.00	S/. 84,000.00	S/. 90,000.00	S/. 100,000.00	
<b>Total Beneficios</b>		S/. 0.00	S/. 100,000.00	S/. 107,000.00	S/. 116,100.00	S/. 123,300.00	S/. 134,000.00	S/. 411,617.72
<b>COSTOS</b>								
Capacitación del personal	S/.	S/. 13,000.00	S/. 2,000.00	S/. 2,000.00	S/. 2,000.00	S/. 2,000.00	S/. 2,000.00	
Capital de trabajo	S/.	S/. 8,023.00	S/. 3,000.00	S/. 3,000.00	S/. 3,000.00	S/. 3,000.00	S/. 3,000.00	
Compra de hardware	S/.	S/. 48,630.00	S/. 3,000.00		S/. 3,000.00		S/. 3,000.00	
<b>Total Costos</b>		S/. 69,653.00	S/. 8,000.00	S/. 5,000.00	S/. 8,000.00	S/. 5,000.00	S/. 8,000.00	S/. 76,050.07
<b>UTILIDAD BRUTA</b>	S/.	-S/. 69,653.00	S/. 92,000.00	S/. 102,000.00	S/. 108,100.00	S/. 118,300.00	S/. 126,000.00	
Depreciación	S/.	S/. 0.00	-S/. 9,810.00	-S/. 9,810.00	-S/. 9,810.00	-S/. 9,810.00	-S/. 9,810.00	
Utilidad antes Impuestos	S/.	S/. 0.00	S/. 82,190.00	S/. 92,190.00	S/. 98,290.00	S/. 108,490.00	S/. 116,190.00	
Impuesto a la renta	S/.		S/. 24,657.00	S/. 27,657.00	S/. 29,487.00	S/. 32,547.00	S/. 34,857.00	
Otros			S/. 0.00	S/. 0.00	S/. 0.00	S/. 0.00	S/. 0.00	
<b>UTILIDAD NETA</b>		-S/. 69,653.00	S/. 57,533.00	S/. 64,533.00	S/. 68,803.00	S/. 75,943.00	S/. 81,333.00	S/. 246,200.36

VNA	S/. 246,200.36
TIR	87%

Fuente: Empresa Agroindustria y Comercio S.A.

### 3.5.4. Evaluación económica financiera

Esta parte, es considerada la más importante dentro del estudio realizado, ya que nos permite tomar decisiones sobre saber si el proyecto es viable o no. En la tabla N° 55 se observa los valores obtenidos respectivamente del valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR)

**Tabla 55: Evaluación de VAN y TIR**

Indicador	Valor
VAN	S/. 246,200.36
TIR	87%

Fuente: Elaboración propia

El indicador Beneficio/costo, da como referencia, cuando es lo que se va a ganar por cada unidad monetaria que se invierte. Por cada sol invertido, se obtiene 5,41 soles de ganancia.

En la siguiente tabla N° 56 se puede apreciar el tiempo de recuperación de la inversión realizada, la cual se dará en un plazo de 1 año, 2 meses y 7 días próximamente. Siendo un plazo aceptable para el sistema de control realizado. Por lo tanto el proyecto económicamente es aceptable.

**Tabla 56: Periodo de recuperación**

Item	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Ingresos		S/. 57,533.00	S/. 64,533.00	S/. 68,803.00	S/. 75,943.00	S/. 81,333.00
Inversión	-69,653.00					
Caja Acumulada		-12,120.0	52,413.0	121,216.0	197,159.0	278,492.0

Fuente: Elaboración propia

#### IV. CONCLUSIONES

- El diagnóstico realizado al proceso de secado de pastas alimenticias en la empresa Agroindustria y Comercio S.A., muestra la ausencia de controles de las variables utilizadas en el proceso de secado, la fatiga de los trabajadores ante acciones manuales, como realizar rotaciones de carretillas dentro del secador, generando retraso en el envasado del producto final, obteniendo una productividad de mano de obra de 81.25% equivalente a una pérdida anual de S/.6 600.00 nuevos soles, en el 2016, con un tiempo de eficiencia en el transporte y rotación del producto de 52,2%, esto se mejoró instalación un sistema de control automático de inversión de giro de motores, lo cual ya no era necesario la participación activa de operario aprovechando el tiempo para poder envasar, logrando así un 90% de productividad de mano de obra en dicha área. y el 99% de eficiencia del personal en el transporte del producto a secar.
- Se determinó las variables de control que se usan en el proceso de secado, como son la temperatura y la humedad, siendo estos dos fundamentales en el control de proceso de secado, así como sus respectivos sensores para poder utilizarlos como señal de entrada en un equipo de control. Estandarizando los valores de temperatura de secado en un rango de 45°C – 50°C y un rango de humedad relativa de 60% - 70% en un tiempo de 14 horas a 16 horas de proceso de secado. Siendo este modelo un secador de productos alimenticios de temperatura baja. (La Rosa, y otros 2014).
- Se realizó el diseño de un sistema de control de lazo cerrado por PLC (controlador lógico programable) para el proceso de secado de pastas, obteniendo una función de transferencia a partir de datos experimentales aplicando el software MATLAB, con lo cual permite encontrar los valores PID, para un adecuado proceso de secado. Al tener un control más preciso de la temperatura y la humedad se logrará aumentar de 98.1% a 99.8% el rendimiento de producción anual con respecto a la baja humedad del producto, esto equivaldría un aumento de 1.7% de la producción anual, equivalente a 222 kg /día de producto terminado, lo cual representaría un ingreso de S/.74 592.00 anuales.
- Para aplicar la mejora propuesta, se realizará una inversión de S/. 69 653.00 la cual será financiada por un banco local con una tasa de interés referencial de 12%, obteniendo un VAN de S/. 246,200.36 y un TIR de 87% . Por lo que podemos decir que la propuesta es rentable, obteniendo que por cada Nuevo sol invertido, la empresa gana S/. 5,41 . El periodo de recuperación es de 1 año, 2 meses y 7 días.

## **V. RECOMENDACIONES :**

- Para la instalación del sistema de control automático en el proceso de secado de pastas, se recomienda utilizar las tuberías, equipos e instrumentos adecuados de acuerdo a las consideraciones presentadas en este proyecto.
- Se recomienda la implementación de un plan de mantenimiento preventivo a todos los equipos instalados en este sistema, para su mayor eficiencia.
- Capacitar al personal técnico calificado para la manipulación y control del sistema implementado.
- Trabajar con una planificación basada en el mejoramiento continuo, la implementación de las 5S, que permitan mejorar las condiciones de trabajo, de seguridad y motivación del personal.

## VI.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A.Acosta, N.Sandoval. «DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DEL PROCESO DE SECADO DE PASTAS ALIMENTICIAS.» *Revista colombiana de tecnología avanzada* 2 (2003): 80-85.

Acosta, A., y N. Sandoval. «Diseño de Sistema de Control de proceso de secado de pastas alimenticias.» *Revista colombiana de tecnología avanzada*, 2003: 80-85.

AIRTECNICS. *Cortinas de aire, ventilación industrial*. BARCELONA, 2017.

Anstrom, Karl J., y Tore Hagglund. *Control PID avanzado*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN S.A, 2009.

ARIAN Control & Instrumentación. *ARIAN*. 2016. <http://www.arian.cl/downloads/nt-004.pdf> (último acceso: 04 de Marzo de 2016).

ARIAN Control & Instrumentación. «Control PID, conceptos Básicos.» *ARIAN S.A*, 2010: 27.

Astaiza M, Ruiz L, Elizalde A. *Elaboración de Pastas Alimenticias enriquecida a partir de harina de quinua*. Vol. 8. 1 vols. Popayán, 2010.

Automación Micromecánica S.A.I.C. *www.micro.com.ar*. 2016. (último acceso: 04 de Marzo de 2016).

Blender, María. «Confort Térmico.» *Arquitectra & Energía*, 2015.

C.N.E. *UTILIZACIÓN*. PERÚ, 2006.

Callejo, M.J. «Industria de los Cereales y Derivados.» *Mundi Prensa*, 2002: 299 -311.

Castells, Xavier Elias. «Sistemas de tratamiento térmico. Procesos a baja temperatura, Secado.» (Díaz de Santos) 2012: 688-689.

Creus, Antonio. *Instrumentación Industrial*. Barcelona-España: AlfaOmega Grupo editor, 1997.

DANFOSS S.A. *Control de fluidos, monitorización y control de presión y temperatura*. madrid, 2015.

ECURED. «ECURED.» 2016. [http://www.ecured.cu/EcuRed:Enciclopedia\\_cubana](http://www.ecured.cu/EcuRed:Enciclopedia_cubana) (último acceso: 10 de Marzo de 2016).

—. <http://www.ecured.cu>. 2016. [http://www.ecured.cu/Humedad\\_ambiental](http://www.ecured.cu/Humedad_ambiental) (último acceso: 06 de marzo de 2016).

E-ducative Catedu.es. *Demo E-ducative Catedu*. 2016. <http://e-ducative.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4925/html/index.html> (último acceso: 02 de Marzo de 2016).

Electric, Schneider. *Guía para selección de productos*. México, 2015.

- Guler , S, H Koxsel, y Pe Ng. «Effects of industrial pasta drying temperatures on starch properties and pasta.» *Food Research International*, 2002: 421-427.
- HAVC&R, MUNDO. *Cálculo y selección de actuadores para compuertas*. Mexico, 2017.
- J.A, Gonzales Ramirez, y Rangel Carrillo J.A. *Adaptación de las Reglas de ziegler & Nichols a los parámetros de primer orden*. MEXICO: ISSN 2448-623X, 2016.
- La Rosa, V, N. Lorenzo, A. Zaritzky, y A. Califano. «Vinculación entre la calidad de fideos libre de gluten cocidos y las condiciones del proceso de secado.» *International conference on Food Innovation*. Concordia, 2014. 10-20.
- Marin, Patricio Valdez. «Manual de Deshidratación I.» *Frutas y Hortalizas*, 2008.
- Metas, La Guia. <http://www.metas.com.mx>. mayo de 2008.  
<http://www.metas.com.mx/guiametas/la-guia-metas-08-05-sensores-de-humedad.pdf>  
 (último acceso: 02 de marzo de 2016).
- Migliori, Massimo, Domenico Gabriele , Bruno De cindio, y Claudio Pollini. «Modelling of high quality pasta drying: mathematical model and validation.» *Journal of food engineering*, 2005: 387 -397.
- Miranda, Carlos Valdivia. *Sistemas de Control continuos y discretos*. Madrid: Paraninfo, 2012.
- Paz, Ali José Carrillo. *Sistemas Automáticos de Control*. 2da edición. Zulia: UNERMB, 2011.
- Ponsart, G, J Vasseur, J Frias, A Duquenoy, y J M Méot. «Modeling of stress due to shrinkage during drying.» *Journal of Food Engineering*, 2003: 57, 277-285.
- Ramirez, Julio Cesar Luna, Claudia Jimenez Arenas, y Numar Davian Campos Correa. «Evaluación psicrométrica de un deshidratador de bandeja para alimentos.» *AlimentosHoy* 23, nº 33 (Diciembre 2014): 1-39.
- Ress, J. A.B. *Procesado térmico y envasado de los alimentos*. ESPAÑA: ACRIBIA, 1994.
- Roda, Arianna. «Innovation in drying process of pasta.» *ITALIAN FOOD MATERIALS & MACHINERY*, 2012: 15.
- Rojas, Pedro, y Diego Perez . «Automatización de un Secador de Aire Caliente para Fines de Docencia en Ingeniería de Alimentos.» *ACI*, 2007: 2.
- Schneider Electric. *Controladores Lógicos Modicom 221*. España, 2014.
- . «[www.instrumentacionycontrol.net](http://www.instrumentacionycontrol.net).» s.f.  
[http://www.instrumentacionycontrol.net/Descargas/Descargas/SCHNEIDER/HMI\\_SCA DA/lyCnet\\_VijeoDesigner\\_Tutorial\\_ESP.pdf](http://www.instrumentacionycontrol.net/Descargas/Descargas/SCHNEIDER/HMI_SCA DA/lyCnet_VijeoDesigner_Tutorial_ESP.pdf) (último acceso: 31 de agosto de 2017).
- SENSOVANT Smart sensing. *Instrumento de medidas y control*. España, 2014.
- TC direct. *TC direct para medida y control de temperatura*. España, 2017.

Villa, D., A. Passamai, y J. Bravo. «Análisis de la cinética de secado de pastas obtenida con mezclas de harinas a partir de un modelo de evaporación.» *ASADES - Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 2012: 2: 26-32.

Villanueva, S., y P. Gelinas. «Drying Kinetics of whole durum wheat pasta according to temperature and relative humidity.» *Food Science and Technology*, 2007: 465-471.

Wikipedia. <https://es.wikipedia.org>. 2015.

[https://es.wikipedia.org/wiki/Secado\\_de\\_s%C3%B3lidos](https://es.wikipedia.org/wiki/Secado_de_s%C3%B3lidos) (último acceso: 02 de Marzo de 2016).

*www.pce-instruments.com*. s.f. [https://www.pce-instruments.com/espa%C3%B1ol/sistemas-regulaci%C3%B3n-control/sensorica/sensor-humedad-e-e-elektronik-gmbh-sensor-de-humedad-y-temperatura-ee211-det\\_5847546.htm](https://www.pce-instruments.com/espa%C3%B1ol/sistemas-regulaci%C3%B3n-control/sensorica/sensor-humedad-e-e-elektronik-gmbh-sensor-de-humedad-y-temperatura-ee211-det_5847546.htm) (último acceso: 15 de 02 de 2018).

## VII. ANEXOS:

### 7.1.- Características Básicas de PLC Modicon 221.

# Controladores lógicos Modicon M221 y M221 Modular

## Controladores lógicos Modicon M221

### Referencias



TM221C16R  
TM221C16T



TM221CE16R  
TM221CE16T



TM221C24R  
TM221C24T



TM221CE24R  
TM221CE24T



TM221C40R  
TM221C40T



### Referencias

#### Controladores lógicos Modicon M221 <sup>(1)</sup>

N.º de E/S lógicas	Entradas lógicas	Salidas lógicas	Entradas analógicas	Puertos de comunicación incorporados <sup>(2)</sup>		Referencia	Peso kg
				Ethernet (RJ45)	Serie (RJ45)		
<b>Alimentación 100-240 V ~</b>							
16 entradas/salidas	9 entradas NPN/PNP de 24 V ~, incl. 4 entradas rápidas	7 salidas de relé	2 entradas 0...10 V	-	1	TM221C16R	0,346
				1	1	TM221CE16R	0,346
24 entradas/salidas	14 entradas NPN/PNP de 24 V ~, incl. 4 entradas rápidas	10 salidas de relé	2 entradas 0...10 V	-	1	TM221C24R	0,395
				1	1	TM221CE24R	0,395
40 entradas/salidas	24 entradas NPN/PNP de 24 V ~, incl. 4 entradas rápidas	16 salidas de relé	2 entradas 0...10 V	-	1	TM221C40R	0,456
				1	1	TM221CE40R	0,456


#### Alimentación 24 V ~

16 entradas/salidas	9 entradas NPN/PNP de 24 V ~, incl. 4 entradas rápidas	7 salidas de transistor PNP, incl. 2 salidas rápidas	2 entradas 0...10 V	-	1	TM221C16T	0,346
				1	1	TM221CE16T	0,346
24 entradas/salidas	14 entradas NPN/PNP de 24 V ~, incl. 4 entradas rápidas	10 salidas de transistor PNP, incl. 2 salidas rápidas	2 entradas 0...10 V	-	1	TM221C24T	0,395
				1	1	TM221CE24T	0,395
40 entradas/salidas	24 entradas NPN/PNP de 24 V ~, incl. 4 entradas rápidas	16 salidas de transistor PNP, incl. 2 salidas rápidas	2 entradas 0...10 V	-	1	TM221C40T	0,456
				1	1	TM221CE40T	0,456

#### Cartuchos de extensión para controladores lógicos Modicon M221 <sup>(3)</sup>

Descripción	Función	Referencia	Peso kg
Cartuchos de E/S	2 entradas analógicas (resolución de 12 bits) configurables como: <ul style="list-style-type: none"> <li>Tensión de 0...10 V</li> <li>Corriente de 0...20 mA / 4...20 mA</li> </ul>	TMC2AI2	0,025

## 7.2.- Dimensionado de Pantalla de supervisión HMI\_MAGELIS serie 5000

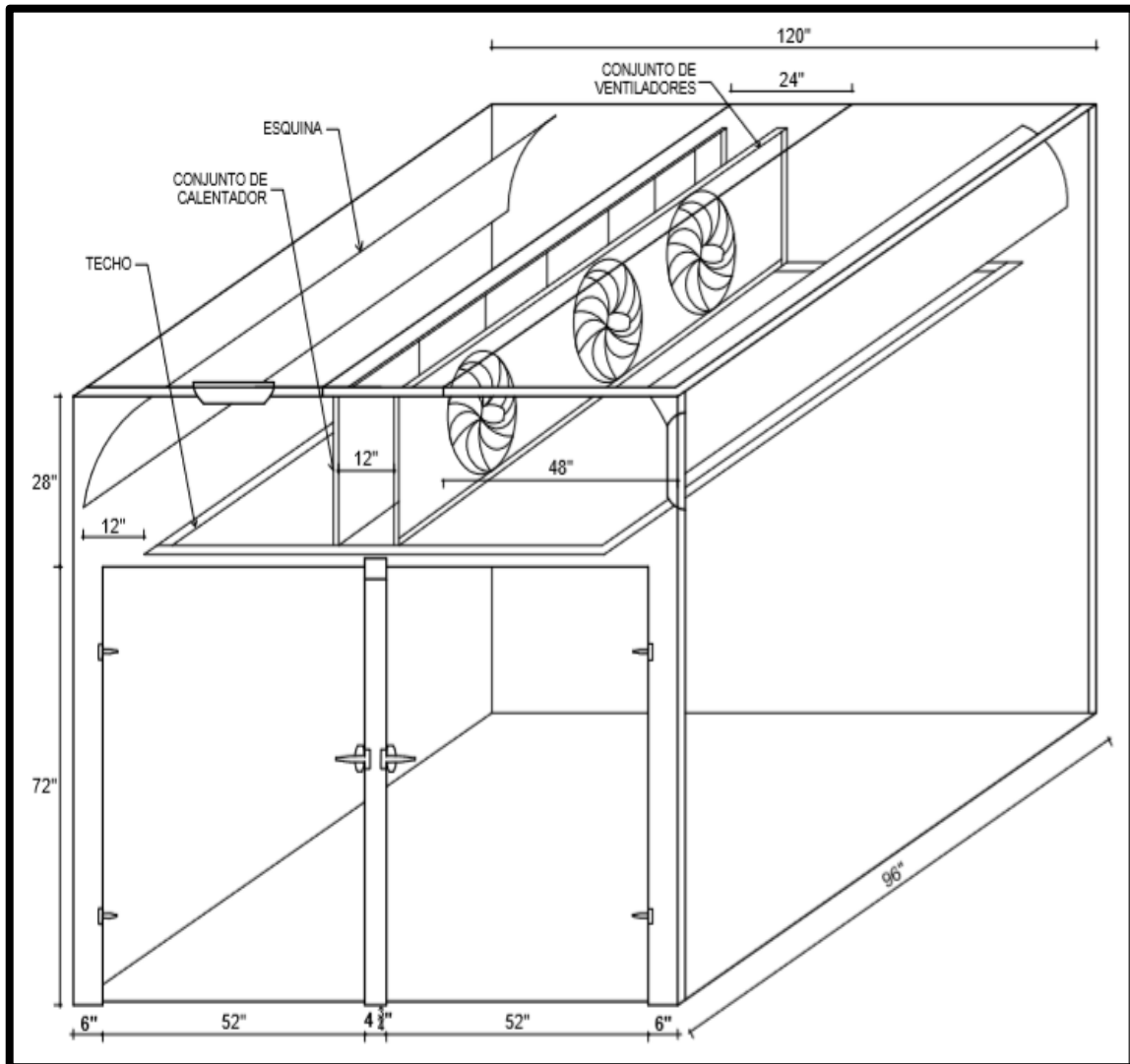
		Terminales Táctiles Magelis - SCU					
		Alimentación	Tamaño	Pantalla	Puertos	Características	Referencia
 <p>HMISCU8B5</p>	24 VDC, externo	3,5"	QVGA Color TFT	1 Serial +1 USB + 1 CANopen	128 MB memoria para aplicación 16E/ 10S digital	HMISCU8A5	
	24 VDC, externo	3,5"				HMISCU8B5	
	24 VDC, externo	5,7"				HMISCU8B5	
		Accesorios					
		Descripción					Referencia
 <p>HMISCU8A5</p>	Cable para conexión remota del controlador					HMISURDP	
	Cable USB para transferencia de aplicación					BMXXCAUSBH018	

### 7.3.- Dimensionado de válvulas de flujo.

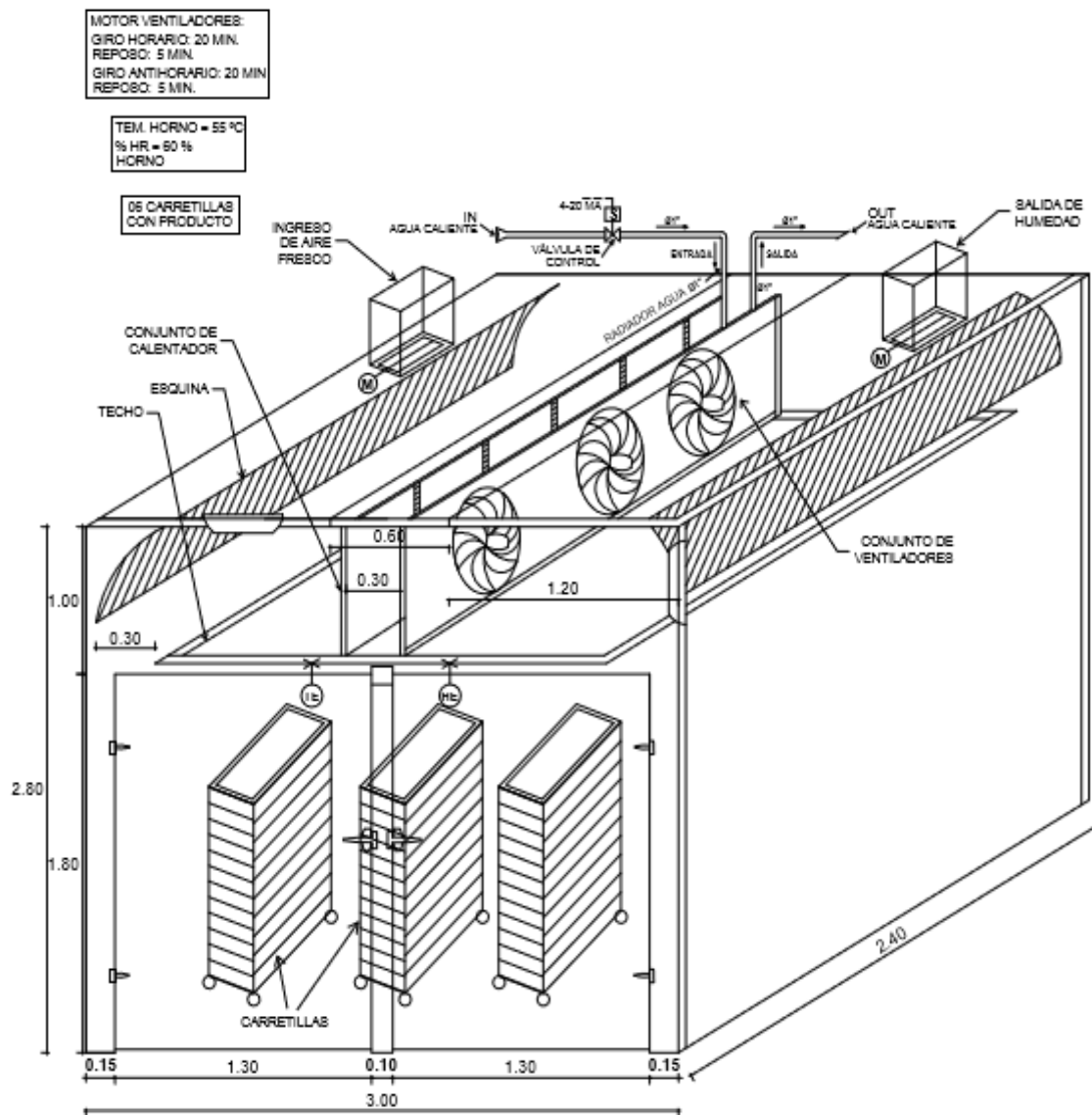
Valores  $C_V$  (Valores  $K_V = C_V \times 0,86$ )

Tamaño válvula	Tamaño tubería	Rotación										
		0°	9°	18°	27°	36°	45°	54°	63°	72°	81°	90°
DN25	25 mm	0,00	0,00	0,96	1,61	2,56	3,88	6,51	9,61	<b>15,50</b>	24,49	31,00
	32 mm	0,00	0,00	0,96	1,61	2,56	3,87	6,48	9,50	<b>15,06</b>	22,85	27,86
	40 mm	0,00	0,00	0,96	1,61	2,56	3,87	6,45	9,42	<b>14,73</b>	21,75	25,92
	50 mm	0,00	0,00	0,96	1,61	2,55	3,86	6,41	9,29	<b>14,24</b>	20,27	23,52
DN40	40 mm	0,00	0,00	2,94	4,93	7,82	11,85	19,91	29,39	<b>47,40</b>	74,89	94,80
	50 mm	0,00	0,00	2,94	4,93	7,81	11,81	19,74	28,86	<b>45,28</b>	67,26	80,57
	65 mm	0,00	0,00	2,94	4,92	7,80	11,78	19,57	28,33	<b>43,30</b>	61,23	70,77
	80 mm	0,00	0,00	2,94	4,92	7,79	11,74	19,38	27,77	<b>41,39</b>	56,16	63,24
DN50	50 mm	0,00	0,00	3,41	5,72	9,08	13,75	23,10	34,10	<b>55,00</b>	86,90	110,00
	65 mm	0,00	0,00	3,41	5,72	9,08	13,74	23,05	33,94	<b>54,33</b>	84,33	104,92
	80 mm	0,00	0,00	3,41	5,72	9,07	13,71	22,93	33,57	<b>52,85</b>	79,08	95,30
	100 mm	0,00	0,00	3,41	5,72	9,06	13,69	22,80	33,15	<b>51,26</b>	74,04	86,83
DN65	65 mm	0,00	0,00	7,15	11,99	19,02	28,81	48,41	71,46	<b>115,25</b>	182,10	230,50
	80 mm	0,00	0,00	7,15	11,99	19,00	28,74	48,09	70,45	<b>111,15</b>	167,10	202,12
	100 mm	0,00	0,00	7,15	11,97	18,96	28,60	47,44	68,43	<b>103,70</b>	144,56	165,48
	150 mm	0,00	0,00	7,14	11,96	18,91	28,44	46,71	66,31	<b>96,71</b>	127,22	140,79
DN80	80 mm	0,00	0,00	8,99	15,08	23,93	36,25	60,90	89,90	<b>145,00</b>	229,10	290,00
	100 mm	0,00	0,00	8,99	15,07	23,91	36,17	60,53	88,71	<b>140,16</b>	211,30	256,20
	150 mm	0,00	0,00	8,99	15,06	23,86	36,00	59,74	86,30	<b>131,20</b>	183,85	211,18
	200 mm	0,00	0,00	8,98	15,06	23,84	35,93	59,40	85,27	<b>127,65</b>	174,44	197,26
DN100	100 mm	0,00	0,00	17,36	29,12	46,20	70,00	117,60	173,60	<b>280,00</b>	442,40	560,00
	150 mm	0,00	0,00	17,35	29,10	46,10	69,66	116,00	168,58	<b>260,27</b>	374,87	438,72
	200 mm	0,00	0,00	17,35	29,08	46,03	69,40	114,81	164,97	<b>247,56</b>	339,58	384,87
	250 mm	0,00	0,00	17,35	29,06	45,98	69,24	114,10	162,89	<b>240,69</b>	322,47	360,47
DN150	150 mm	0,00	0,00	23,25	39,00	61,88	93,75	157,50	232,50	<b>375,00</b>	592,50	750,00
	200 mm	0,00	0,00	23,25	38,99	61,85	93,66	157,07	231,12	<b>369,29</b>	570,71	707,20
	250 mm	0,00	0,00	23,25	38,99	61,82	93,55	156,53	229,43	<b>362,50</b>	546,56	662,73
	300 mm	0,00	0,00	23,25	38,98	61,80	93,47	156,18	228,32	<b>358,16</b>	532,04	637,31
$F_L$		-	-	0,96	0,94	0,92	0,88	0,82	0,75	<b>0,68</b>	0,62	0,50

#### 7.4.- Plano estructural de secador de bandejas.



## 7.5.- Conexiones de equipos externos a secador de bandeja



## 7.6.- Especificaciones técnicas de los equipos a utilizar en proyecto.

Item	Equipo	Especificaciones técnicas	Cantidad	Precio Unitario S/.	Precio Total S/.
1	PLC Compacto modular	Marca: Schneider Electric Referencia: Modicom M221 Modelo: TM221CE40R Entradas: 24 entradas NPN/PNP de 24 VDC Salidas: 16 salidas por relé Comunicación: Puerto Ethernet incorporado	1	2 000.00	2 000
2	Módulo de extensión de PLC de entradas analógicas	Modelo: TM3TI4 Entradas: 4 entradas Rango de entrada: Termopares (J,K,R,S,B); sonda de temperatura (Pt100, Pt1000, Ni100); 0-10V / 4-20mA Tipo de canal: Tensión/corriente ó Temperatura	3	833.00	2500.00
3	Módulo de extensión de PLC de salidas por relé	Modelo: TM3DQ16R Salidas: 16 salidas por relé	1	700.00	700.00
4	Módulo de extensión de PLC de salidas analógicas	Entradas: 4 entradas salidas: 4 salidas Rango de salida: -10V +10V. / 0-10V / 0-20 mA. / 4-20mA Tipos de canal: Tensión/corriente	3	833.00	2500.00
5	Fuente de alimentación	Fuente de Alimentación Marca: Schneider Modelo: ABL8MEM24012 Tensión Alimentación: 100-240 VAC Tensión de Salida: 24 VDC Corriente de Salida: 3 A	1	450.00	450.00
6	Pantalla táctil - HMI	Terminal táctil MAGELIS – SCU. Alimentación: 24 Vdc externo, Tamaño: 5.7", Puertos: serial, USB, Can Open	1	3500.00	3500.00
7	Extractor de Humedad	Modelo: HTE-35 Diámetro de aro: 37 cm. Diámetro de pala: 35 cm. Aspas: 3 de aluminio Extrae: 35m <sup>3</sup> x min Motor: Trifásico Potencia: 1/8 Hp	10	400.00	4000.00
8	Electroválvulas proporcional	Acción: Servo accionada de 2 vías. Tensión: 24 Vcc Señal de control: 4-20 mA. Conexión: 3/4 G Rango de caudal de agua: 0,5-12,7 m <sup>3</sup> /h	10	400.00	4000.00
9	Sensor de temperatura PT100	Marca: TCDirect Longitud de cable: 2 metros RTD :100°C a 0Ω Configuración: 3 hilos Vaina: acero inoxidable AISI 316, diámetro 6mm ú 8mm Rango de funcionamiento: -75°C a +250°C Cabezal :estándar IP67 de aluminio fundido, temperatura máxima 135°C.	10	220.00	2200.00

Item	Equipo	Especificaciones técnicas	Cantidad	Precio Unitario S/.	Precio Total S/.
10	Sensor de Humedad	Rango de medición:0-100% HR Salidas analógicas:0-5v;0-10v;4-20mA precisión1.3% (+/-) suministro:24 AC/DC	10	350.00	3500.00
11	Contactador electromagnético	Marca: Schneider Electric Modelo : LC1D09 Tensión bobina: 230 VAC Intensidad Nominal: 9A.	20	104.00	2080.00
12	Disyuntor Termomagnético	Marca: Schneider Electric Modelo:GV2ME10 Rango de ajuste de disparo: 4A- 6.3A.	10	300.00	3000.00
13	Selector ON_OFF	Marca: Schneider Modelo: XB4BD33 Diámetro de Montaje: 22 mm 3 posiciones Fijas Contactos: 2NA Temperatura Trabajo: -25...70°C	10	30.00	300.00
14	Lámparas de señalización	Marca: Schneider, Modelo: XB5AVM3 Color: Verde Diámetro de Montaje: 22 mm Tensión Alimentación: 220...240 VAC; Material: Plástico	10	30.00	850.00
15	Compuerta de control tipo persiana	Modelo:ZXL-FF Tipo: HAVC Actuador:220 VAC/24 VAC-VDC Tamaño:30 cm x 30 cm x 60 cm Material:Galvanizado hoja	20	150.00	3000.00
16	Conductor Eléctrico THW 14 AWG	Marca: Indeco Tipo: Cable Calibre: 4 mm2 Modelo: THW-90 Longitud de cable: 100 metros	10	120.00	1200.00
17	Conductor Eléctrico THW 16 AWG	Marca: Indeco Tipo: Cable Calibre: 4 mm2 Modelo: THW-90 Longitud de cable: 100 metros	2	100.00	200.00
18	Tablero eléctrico	Dimensiones: 800x600x250 mm Grado Protección: IP66 Color: RAL 7035 Robustez según IEC 62262	1	10000.00	10000.00
19	Cable USB-comunicación Ethernet	Transferencia de aplicación al controlador	1	450.00	450.00
20	Herramientas para mantenimiento		1	1200.00	1200.00
21	Mantenimiento preventivo		1	1000.00	1000.00