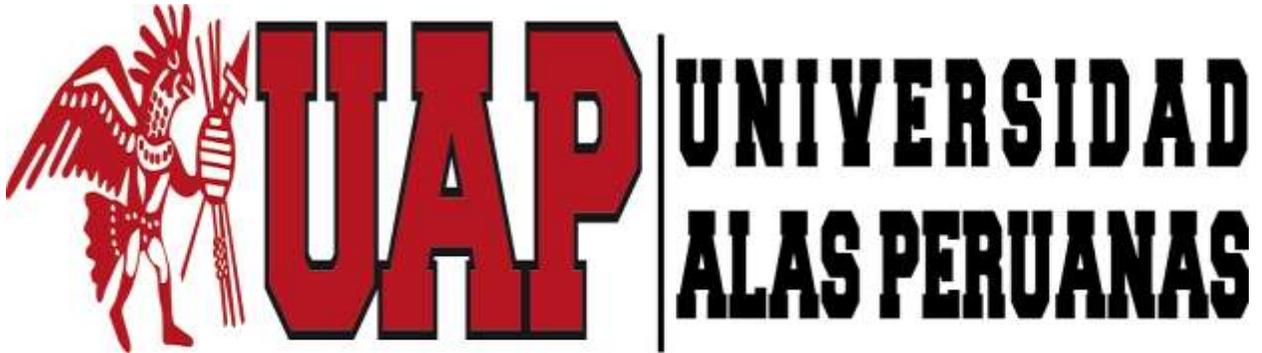


UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y

TELECOMUNICACIONES



TESIS

DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA EL PROCESO DE FORMULACIÓN
DE UNA PLANTA DE ALIMENTOS BALANCEADOS, APLICANDO CONTROL DE
RELACIÓN

PRESENTADO POR EL BACHILLER

MIGUEL ANGEL YUCRA GONZALES

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO Y
TELECOMUNICACIONES

AREQUIPA-PERÚ

2017

El presente trabajo de investigación está dedicado a mi novia, María Alejandra Zegarra Ponce, a mis padres, Miguel Ángel Yucra Díaz y Marleni Gonzales Ticona, quienes durante todos estos años me dieron su apoyo incondicional y estuvieron siempre presentes; en caídas y logros para alcanzar mis metas y objetivos

Agradezco a Dios por darme la vida, a Marco Mejía y Luis Bellota, profesores de Electrónica de la Escuela de Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Alas Peruanas por brindarme su apoyo y conocimientos

RESUMEN

En la actualidad existe una gran exigencia de la modernización de las industrias para manejar sistemas eficientes, uno de estos sistemas es la industria de alimentos procesados, que tiene por finalidad obtener productos de calidad para el mercado competitivo; por lo tanto, una de las áreas importantes de estas industrias es el de formulación; donde la agrupación de materias primas según sus características de composición o cantidad y el tipo de materia en la que intervienen lleva a un proceso de formulación de cada producto. El control por relación es una estrategia de control avanzado que busca asegurar que dos o más caudales mantengan la misma relación aun cuando los mismos cambien, esta estrategia se aplicó al área de formulación a través de un sistema automático que permite controlar los dispositivos y la relación de las materias que intervienen para obtener un determinado producto.

En el presente trabajo se desarrolló un sistema de control automático de la materia prima para el proceso de formulación de alimentos procesados aplicado a un módulo prototipo para la empresa ALPROSA, que permite controlar el peso de diferentes materias, eliminar errores, aumentar la seguridad del proceso y realizar una mezcla adecuada de los componentes necesarios para la obtención del producto. La empresa se verá beneficiada en la calidad y aumento de producción ya que tendrá un control automático de los dispositivos. El módulo prototipo implementado brinda un mecanismo de prueba a la empresa para su implementación real.

Palabras claves: sistema automático, formulación, control por relación, estrategia de control, módulo prototipo.

ABSTRACT

At present there is a great demand of the modernization of the industries to handle efficient systems, one of these systems is the industry of processed foods, whose purpose is to obtain quality products for the competitive market; Therefore, one of the important areas of these industries is formulation; Where the grouping of raw materials according to their characteristics of composition or quantity and the type of matter in which they intervene leads to a process of formulation of each product. Relationship control is an advanced control strategy that seeks to ensure that two or more flows maintain the same relationship even when they change, this strategy was applied to the area of formulation through an automatic system that allows controlling the devices and the relationship of the matters involved to obtain a particular product.

In the present work a system of automatic control of the raw material was developed for the processed food formulation process applied to a prototype module for the company ALPROSA, that allows to control the weight of different materials, to eliminate errors, to increase the safety of the process And make a suitable mixture of the components necessary to obtain the product. The company will benefit in the quality and increase of production since it will have an automatic control of the devices. The prototype module implemented provides a test mechanism to the company for its real implementation.

Key words: automatic system, formulation, control by relation, control strategy, prototype module.

INTRODUCCIÓN

Nuestra investigación tiene como finalidad realizar una automatización del sistema de formulación de la empresa de Alimentos Procesados S.A., que permita tener un proceso eficiente con relación a la fórmula de un producto específico, el cual mediante sensores y dispositivos permitan tener un control de los mecanismos del área de formulación y obtener productos de calidad. A continuación, se detalla el desarrollo.

En primer lugar, se expone el problema de la investigación a ser desarrollado en el cual incluye: Planteamiento del problema; además, los objetivos generales y específicos del proyecto.

En segundo lugar, se enuncian los conceptos, definiciones que ayudarán en la selección de los sistemas más óptimos para desarrollar el proyecto; incluyendo sensores y actuadores más utilizados para controlar el sistema de formulación.

En tercer lugar, se desarrolla y describe el diseño de la lógica de control programable de la automatización del sistema de formulación de un producto que permite que el proceso sea controlado.

En cuarto lugar, se realiza la simulación del diseño de la lógica de control programable.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT.....	V
INTRODUCCIÓN	VI
ÍNDICE GENERAL	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XVI
CAPÍTULO I.....	17
PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	17
1.3 ALCANCES	18
1.4 HIPÓTESIS	18
1.4.1 HIPÓTESIS PRINCIPAL.....	18
1.5 OBJETIVOS.....	18
1.5.1 OBJETIVO PRINCIPAL.....	18
1.5.2 OBJETIVOS SECUNDARIOS	18
1.6 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.7 VARIABLES.....	3
1.7.1 VARIABLE INDEPENDIENTE	3
1.7.2 VARIABLE DEPENDIENTE	3
1.8 INDICADORES	3

CAPÍTULO II	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1 PLANTA DE BALANCEADOS.....	5
2.1.2. <i>Requerimientos de los alimentos en las plantas de balanceados</i>	5
2.2. ETAPAS DE LAS PLANTAS DE BALANCEADOS	5
2.2.1. <i>Proceso de abastecimiento</i>	5
2.2.2. <i>Proceso de mezclado</i>	6
2.2.3. <i>Proceso de molienda</i>	7
2.2.4. <i>Formulación y mezclado</i>	8
2.2.5. <i>Peletizado</i>	9
2.2.6. <i>Secado y enfriado</i>	9
2.2.7. <i>Empaquetado</i>	10
2.3. ELEMENTOS EN FORMULACIÓN Y MEZCLADO	10
2.3.1 <i>Elementos mecánicos en formulación y mezclado</i>	10
2.3.1.2 Tolvas con fondo vivo	10
2.3.1.3 Tornillos dosificadores.....	12
2.3.1.4 Rastra o cadena transportadora	16
2.3.1.5 Cinta transportadora.....	20
2.3.1.6 Silo o tolva.....	33
2.3.1.7 Tolva báscula	34
2.4. ELEMENTOS, INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL EN FORMULACIÓN Y MEZCLADO	38
2.4.1 <i>Intervalo, rango de medida (campo)</i>	38
2.4.5 <i>Exactitud</i>	38
2.4.6 <i>Precisión</i>	38
2.4.7 <i>Linealidad</i>	38
2.4.8 <i>Zona muerta</i>	39
2.4.9 <i>Sensibilidad</i>	39
2.4.10 <i>Repetibilidad</i>	39

2.4.11 Histéresis (<i>hysteresis</i>).....	39
2.4.12 Protección IP.....	39
2.4.1 Controlador lógico programable	41
2.4.2 Sensores de nivel para sólidos.....	41
2.4.3 Sensores de velocidad.....	41
2.4.4 Variadores de velocidad.....	42
2.4.5 Sensores de peso (<i>Celdas de carga, galgas extensiométricas</i>).....	42
2.5. ESTRATEGIAS DE CONTROL EN FORMULACIÓN.....	42
2.5.1. Descripción del control.....	42
2.5.1.2. Entradas y salidas del proceso de formulación.....	42
2.5.2 Estrategias de control tradicional.....	43
2.5.2.1. Control proporcional.....	43
2.5.2.2 Control PID.....	43
2.5.3 Estrategias de control, en el proceso de formulación y mezclado.....	44
2.5.3.1. Control feedforward.....	44
2.5.3.2. Control cascada.....	44
2.5.3.3. Control de relación.....	45
2.5.3.4. Control adaptativo.....	47
2.5.3.5. Control selectivo	48
2.5.3.6. Control inferencial	48
2.5.3.7. Control override.....	48
2.5.3.8. Control dúplex o de rango medio.....	49
2.5.3.9. Método de sintonización	49
CAPÍTULO III.....	53
TRABAJOS RELACIONADOS.....	53
CAPÍTULO IV.....	58
DESARROLLO DEL PROYECTO.....	58
DISEÑO DEL MÓDULO PARA EL PROCESO DE FORMULACIÓN.....	58

4.1 CONSIDERACIONES DEL PROTOTIPO.....	58
4.2 DISEÑO MECÁNICO	59
4.2.1 Dimensionamiento de la cinta transportadora.....	59
4.2.2 Dimensionamiento del silo	63
4.2.2.1 Dimensiones del silo.....	64
4.2.3 Cálculo de la potencia del motor.....	66
4.3 DISEÑO ELÉCTRICO.....	68
4.3.1 Tablero de distribución	68
4.3.2 Circuito de conexión al PLC y circuito de conexión al motor.....	69
4.4. DISEÑO DE LA INSTRUMENTACIÓN	70
4.4.1 Tarjeta de control del peso.....	70
4.4.2 Tarjeta de control del nivel de tolvas	72
4.5. DIAGRAMA DE CONTROL DEL PROTOTIPO	73
4.5.1 Diagrama de bloques del sistema.....	73
4.5.2 Diagrama de control	74
4.5.2.1 Sistema expresado en transformada de Laplace	75
4.5.3 Diagrama de flujo.....	77
4.6. DISEÑO DE ESTRATEGIA DE CONTROL	78
4.6.1 Selección de PLC.....	78
4.6.2 Programación ladder	79
4.6.3. Programación del control de relación	79
4.7. DISEÑO DEL SISTEMA SCADA.....	87
4.7.1 Interface general	87
4.7. DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO PROPUESTO	88
4.7.1 Medidas	88
4.7.2 Máquinas.....	89
4.7.3 Sensores.....	89
4.7.4 Tablero eléctrico	89

4.9. PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN / MENÚ DEL USUARIO.....	89
4.10. COSTOS DEL PROYECTO	90
CAPÍTULO V.....	92
RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	92
5.1 RESULTADOS DE LOS VALORES OBTENIDOS EN EL PROTOTIPO.....	92
5.2 ANÁLISIS DE LOS VALORES OBTENIDOS EN EL PROTOTIPO.....	100
CAPÍTULO VI.....	102
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	102
6.1 CONCLUSIONES.....	102
6.2 RECOMENDACIONES	104
GLOSARIO	105
BIBLIOGRAFÍA.....	106
ANEXOS.....	107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Selección del ancho de banda	22
Tabla 2. Características de los materiales	23
Tabla 3. Valores de K.....	26
Tabla 4. Relación empírica del ancho de banda, velocidad y tamaño del material	27
Tabla 5. Valores normalizados de velocidad, según la norma DIN 22101	28
Tabla 6. Factor del ancho de banda C_b	32
Tabla 7. Factor de longitud de banda C_l	32
Tabla 8. Factor de servicio, según condiciones de trabajo K_f	32
Tabla 9. Grados IP de equipos	39
Tabla 10. Identificación de componentes en formulación y mezclado	42
Tabla 11. Regla de sintonización de Ziegler – Nichols	52
Tabla 12. Ancho y velocidad para una cinta transportadora	59
Tabla 13. Ancho de banda en relación al peso específico.....	66
Tabla 14. Factor de longitud de banda en relación al ancho de banda.....	67
Tabla 15. Relación de entradas y salidas	78
Tabla 16. Costo del módulo prototipo.....	90
Tabla 17. Matriz de consistencia.....	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de abastecimiento en la planta de balanceados	6
Figura 2. Proceso de mezclado.....	7
Figura 3. Proceso de molienda	8
Figura 4. Proceso de formulación y mezclado	9
Figura 5. Aparato extractor de harina con fondo vibrante	11
Figura 6. Aparato extractor “Rotoflow” con rosca tubo acoplado	12
Figura 7. Elementos principales que componen una rosca transportadora	13
Figura 8. Sección transversal de una rosca sin fondo desmontable	14
Figura 9. Sección transversal de una rosca con fondo desmontable	14
Figura 10. Rosca a derechas	15
Figura 11. Rosca a izquierdas	15
Figura 12. Sinfín continuo, sinfín de paletas y sinfín de segmentos.....	16
Figura 13. Transportador de cadena horizontal.....	17
Figura 14. Cadena para transporte en horizontal y cadena para transporte inclinado.....	19
Figura 15. Transportador de cadena horizontal.....	19
Figura 16. Cadenas de transportador para productos voluminosos (por ejemplo, salvado)....	19
Figura 17. Cinta transportadora.....	20
Figura 18. Tamaño del material	21
Figura 19. Ángulo de reposo y ángulo de sobrecarga	22
Figura 20. Tipos de cinta.....	29
Figura 21. Rodillo plano	29
Figura 22. Rodillo en artesa	30

Figura 23. Esquema de funcionamiento de una báscula tolva electrónica.....	35
Figura 24. Alimentación de la báscula por segmento	36
Figura 25. Alimentación de la báscula por rasera	37
Figura 26. Alimentación de la báscula por rosca	37
Figura 27. Control de relación por divisor	46
Figura 28. Control de relación por multiplicador.....	47
Figura 29. Control PID de una planta	50
Figura 30. Curva de respuesta del escalón unitario que muestra un sobrepaso de 25%.	50
Figura 31. Respuesta del escalón unitario de la Planta	51
Figura 32. Curva de respuesta con forma de S.....	52
Figura 33. Esquema de conexión al PLC	69
Figura 34. Esquema del circuito de conexión para el control del motor.....	70
Figura 35. Sensor resistivo.....	71
Figura 36. Diseño de base del sensor para recepción del material.....	72
Figura 37. Diagrama de bloque del control de la tolva A	73
Figura 38. Diagrama de bloque del control de la tolva B	73
Figura 39. Diagrama de bloques del control de relación del prototipo	74
Figura 40. Controlador del proceso.....	75
Figura 41. Diagrama de control del módulo prototipo.....	76
Figura 42. Diagrama de flujo del control del módulo prototipo	77
Figura 43. Arranque y paro del proceso.....	80
Figura 44. Arranque y paro del proceso.....	81
Figura 45. Arranque y paro del proceso.....	81

Figura 46. Escalamiento.....	83
Figura 47. Formulación.....	84
Figura 48. Control de relación	85
Figura 49. Control de relación	86
Figura 50. Parada de emergencia	87
Figura 51. Diseño del Sistema SCADA del módulo prototipo	88
Figura 52. Funcionamiento del módulo prototipo a través del programa	93
Figura 53. Funcionamiento de arranque y paro del proceso	94
Figura 54. Funcionamiento de arranque y paro del proceso	95
Figura 55. Prueba del escalamiento	96
Figura 56. Prueba de las fórmulas del producto.....	97
Figura 57. Prueba de las fórmulas del producto.....	98
Figura 58. Prueba del control.....	99
Figura 59. Prueba del control por relación.....	100

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Sensor de flexión	107
Anexo B. Datos técnicos del PLC SIEMENS S7 1200	108
Anexo C. Diseño de la estructura del prototipo	109
Anexo D. Fajas transportadoras y tolvas.....	111
Anexo E. Ubicación de sensores	112
Anexo F. Tablero eléctrico del prototipo	112
Anexo G. Matriz de consistencia	113

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se requiere una producción continua de 24 horas seguidas, donde los horarios de refrigerio de los operadores y obreros no impliquen parar la producción. Por tal motivo, la eficiencia de la planta se ve limitada a la destreza y tiempo de los operadores. Además, observamos que el error humano está presente durante todo el proceso de producción, lo que conlleva a tener tiempos muertos y pérdidas económicas. A la vez, existe un riesgo de no cumplir con los estándares de calidad; a su vez, el reproceso de los productos se refleja en un mayor gasto de recursos humanos y energéticos.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Debido a que la planta no cuenta con un proceso automático, se requiere de mano de obra con experiencia y/o capacitada para un proceso específico, que representa un mayor gasto en la producción. El factor humano causa que los equipos estén funcionando a límites no recomendados

por el fabricante lo que genera una disminución considerable del tiempo de vida de los mismos y un consumo inadecuado de energía. El proceso de Formulación, es el corazón de cualquier planta de alimentos ya que contiene las recetas para cada tipo de producto y el control de sus parámetros no es exacto; es por ello que la calidad varía y en algunos casos puede causar retroceso en la producción. Otro problema se presenta cuando los procesos de monitoreo no están centralizados, y se vuelve complicado tener una vista general de la planta, por lo cual no se puede analizar y corregir los tiempos muertos ni hacer más eficientes los procesos de producción.

1.3 ALCANCES

Automatizar la planta de alimentos balanceados en el proceso de formulación aplicando control de relación.

1.4 HIPÓTESIS

1.4.1 HIPÓTESIS PRINCIPAL

Es posible diseñar la automatización del proceso en el área de Formulación de la planta de alimentos balanceados ALPROSA.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO PRINCIPAL

Diseñar un sistema automático para el proceso de formulación de una planta de alimentos balanceados, aplicando control de relación.

1.5.2 OBJETIVOS SECUNDARIOS

- Implementar un módulo prototipo para el proceso de Formulación de la planta de alimentos balanceados ALPROSA.

- Analizar la lógica de control del sistema para el módulo prototipo del proceso en el área de Formulación de la planta de alimentos balanceados ALPROSA.

- Desarrollar la estrategia de control de relación para el módulo prototipo del proceso en el área de Formulación de la planta de alimentos balanceados ALPROSA.

1.6 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, la tecnología está avanzando de forma rápida, por tanto, es de suma importancia tener los conocimientos y equipos para poder estar acorde a los avances que se presentan. La industria de alimentos balanceados busca poder obtener mejores productos para poder competir y tener un mercado masivo. El presente proyecto establecerá un sistema automático para la empresa ALPROSA; con la finalidad de obtener una producción continua, con productos de alta calidad. Este sistema permitirá a la empresa aprovechar mejor los tiempos y reducir errores que puedan afectar al producto final, obteniendo una producción continua sin retrasos en la producción.

1.7 VARIABLES

1.7.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

Nivel de materia prima en tolva de abastecimiento.

Peso de materia prima mezclada en tolva báscula.

1.7.2 VARIABLE DEPENDIENTE

Voltaje eléctrico discreto de nivel

Voltaje eléctrico proporcional al peso en la tolva báscula.

1.8 INDICADORES

Indicador de nivel

Indicador de peso

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 PLANTA DE BALANCEADOS

Es el alimento formulado específicamente para diferentes especies de animales que cumplen diferentes requerimientos nutricionales, por ejemplo:

- Producción de carnes
- Alimento para mascotas
- Otros sectores (producción de huevos, ganadería, lácteos y animales reproductores)

2.1.2. Requerimientos de los alimentos en las plantas de balanceados

En la producción, es muy importante conocer tres conceptos nutricionales:

- Atractabilidad: el alimento deberá ser atractivo para los sentidos del animal
- Paleatividad: el alimento deberá ser agradable y no provocar malestar al momento de consumirlo

- Digestibilidad: el organismo del animal deberá absorber la máxima cantidad de nutrientes

2.2. ETAPAS DE LAS PLANTAS DE BALANCEADOS

- Abastecimiento
- Mezclado
- Molienda
- Formulación y mezclado
- Peletizado
- Enfriado y secado
- Empaquetado

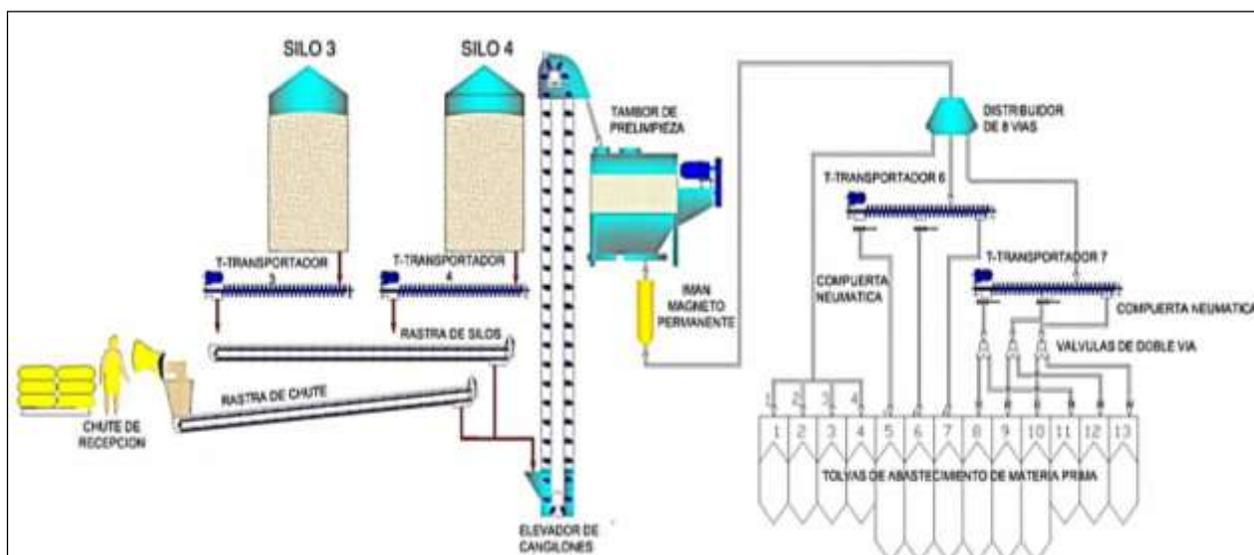
2.2.1. Proceso de abastecimiento

Este proceso abastecerá de materia prima a una batería de tolvas, según sea la calidad del producto final (vacunos, conejos, etc.), la cual pasará por un proceso de prelimpieza.

Parámetros de control

- Secuencia de llenado: se establecerá una secuencia de llenado por cada silo
- Contador de llenado: se establecerá el número de veces de llenado de cada tolva
- Origen de alimentación: el abastecimiento provendrá de varias fuentes

Figura 1. Proceso de abastecimiento en la planta de balanceados



Fuente: Elaboración propia

2.2.2. Proceso de mezclado

El producto proveniente de molienda se almacenará en tolvas, para luego ser pesado en una tolva báscula y mezclado en un tiempo determinado para la homogenización del producto. En este proceso, se evidenciará la merma que sufre la materia prima en la etapa de molienda al ser transformada.

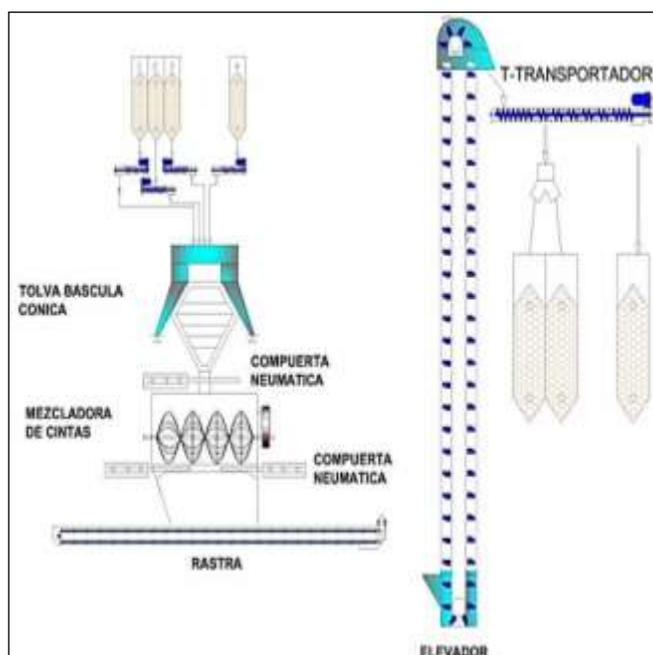
Parámetros de control

Peso del producto: se pesará batch a batch el producto formulado y molido.

Tiempo de mezclado: se establecerá un tiempo de mezclado experimental.

Registro de merma: se registrará el peso y determinará la merma que el producto ha sufrido en la etapa de molienda.

Figura 2. Proceso de mezclado



Fuente: Elaboración propia

2.2.3. Proceso de molienda

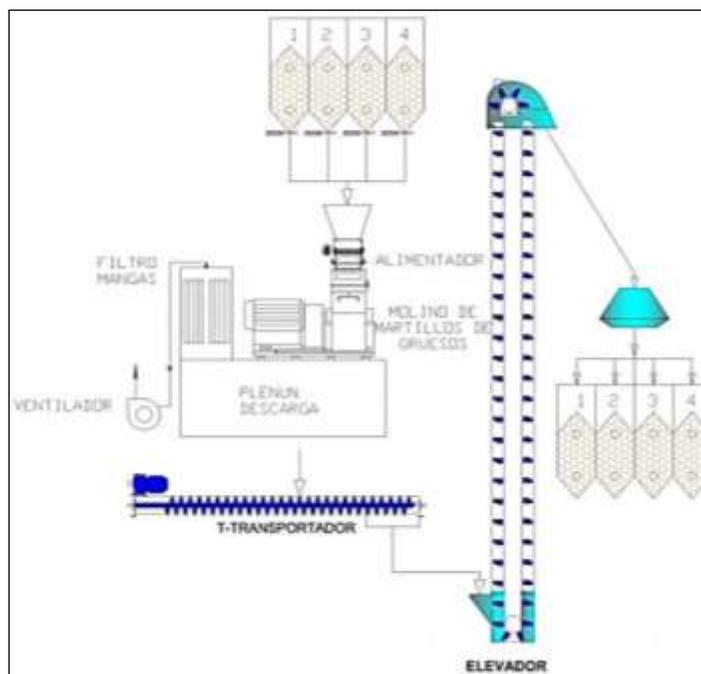
Después del proceso de mezclado es importante moler el producto, hasta llegar a una granulometría que dependerá de cuál sea el producto final. Existirá en este proceso una merma que afectará a la capacidad de la planta, la cual se tendrá que compensar con un porcentaje experimental adicional a la materia prima inicial.

Parámetros de control

Consumo de energía del molino: Según sea la formulación, se tendrá que controlar la potencia del molino; es decir, mantener estable y constante la corriente del molino.

Flujo de alimentación al molino: teniendo en cuenta el consumo de energía del molino, se tendrá que variar el flujo de alimentación.

Figura 3. Proceso de molienda



Fuente: Elaboración propia

2.2.4. Formulación y mezclado

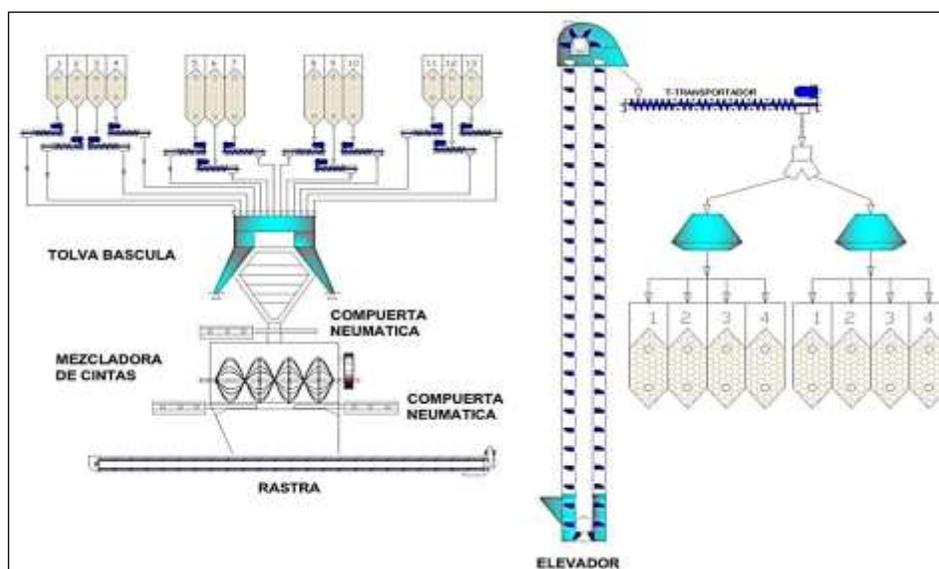
En este proceso, se tendrá en cuenta la dosificación de cada materia prima, considerando el peso, según la fórmula y calidad del producto final (batch), la que será pesada en una tolva báscula y posteriormente será mezclada por un determinado tiempo y así poder alcanzar la homogenización en el producto.

Parámetros de control

Peso de materia prima: según sea la fórmula del producto final, se establecerá un peso de extracción de materia prima de cada tolva.

Tiempo de mezclado: según el tipo de materia prima que exista en la fórmula, se establecerá un tiempo de homogenización.

Figura 4. Proceso de formulación y mezclado



Fuente: Elaboración propia

2.2.5. Peletizado

En este proceso, se almacenará en tolvas el producto molido y mezclado; luego es transformado en pelets. Para los cuales intervienen equipos de acondicionamiento de harina, prensado, enfriado y de clasificación.

Parámetros de control

Flujo de alimentación del acondicionador.

Presión de entrada y salida del vapor saturado.

Temperatura en el producto.

Sobrecarga de la prensa.

Tiempo de enfriado.

2.2.6. Secado y enfriado

La operación de secado de alimentos peletizados normalmente es realizada en secadores continuos; el producto es transportado en forma transversal y el aire caliente en forma horizontal, a través de una cama de producto. El aire caliente que atraviesa la cama del producto usualmente

lo hace a una velocidad de 65 m/min. y en un rango de temperatura entre 100 y 200 grados centígrados. Por lo tanto, siendo el secado una relación entre tiempo y temperatura, es muy importante determinar el área de secado.

El enfriador realiza dos funciones principales al mismo tiempo: retirar la humedad y el calor.

El enfriador está diseñado para traer aire del ambiente y ponerlo en contacto con la superficie exterior de los pellets. Si asumimos que este aire no está saturado, tendrá la propiedad de recoger la humedad de los pellets, la humedad se aleja por el proceso de evaporación; este proceso de evaporación causa enfriamiento tan pronto como la humedad se mueve en el aire.

El calor que es retirado de los pellets incrementa la temperatura del aire y esto incrementa la capacidad del aire para retirar humedad, además, este calor ayuda a prevenir la condensación en los ductos de aire; este proceso se repite hasta retirar el exceso de humedad y enfriar el producto. Como regla general, la humedad final del pellet es la misma que tiene la mezcla de ingredientes.

2.2.7. Empaquetado

El alimento balanceado se empaqueta en sacos y para estos se cuenta con una báscula, el producto se descarga por gravedad. El tener en sacos el producto facilitará su maniobrabilidad y control en el almacén.

2.3. ELEMENTOS EN FORMULACIÓN Y MEZCLADO

2.3.1 Elementos mecánicos en formulación y mezclado

2.3.1.2 Tolvas con fondo vivo¹

Para capacidades de extracciones pequeñas y medianas, se emplea el llamado extractor-vibrador, ya que para la celda de harina las exigencias no son muchas y es relativamente simple y

¹ W. A. Rohner, Mecánica para molineros, "Tolvas con fondo vivo", Pág. 252 al 253, 1989.

por tanto barato de construir. La celda a construir puede ser metálica, de plástico, etc., con paredes rectas con forma cuadrada o redonda incluso guardando una cierta relación rectangular.

Como conexión al aparato extractor puede acoplarse una tolva metálica con inclinación de 65 grados. El tamaño del extractor circular “Rotoflow” estará en una determinada relación con la superficie de la celda. Esta gama de aparatos tiene varios diámetros a disposición.

El vaciado del contenido de la celda es regular y sin desmezclas hasta el último resto. Un aro de acero con bielas de suspensión alojadas en casquillos de goma va fijado al depósito metálico de salida de la celda.

El fondo vibrante suspendido de las bielas de suspensión a su vez (o elementos vibrantes) con la boca de salida centrada recibe de uno o dos motores vibradores un movimiento vibratorio, el cual activa la columna de harina en su parte más baja y hasta la boca de salida. Entre la parte móvil y la fija del extractor va una junta de estanqueidad que siempre es necesaria, y que en caso de un movimiento continuado del fondo vibrante no se daña.

Figura 5. Aparato extractor de harina con fondo vibrante



Fuente: W. A. Rohner, Mecánica para molineros, Pág. 252

Elemento dosificador: El producto, según fluye del extractor “Rotoflow”, debe en la mayoría de los casos ser dosificado. Para ello, la mejor solución es emplear una rosca cilíndrica. De esta forma la entrada de la rosca y la salida del extractor van montadas una a continuación de la otra y puede ajustarse la capacidad a la deseada. Aunque también pueden emplearse, para estas funciones, transportadoras de cadena como dosificadores.

Campo de aplicaciones:

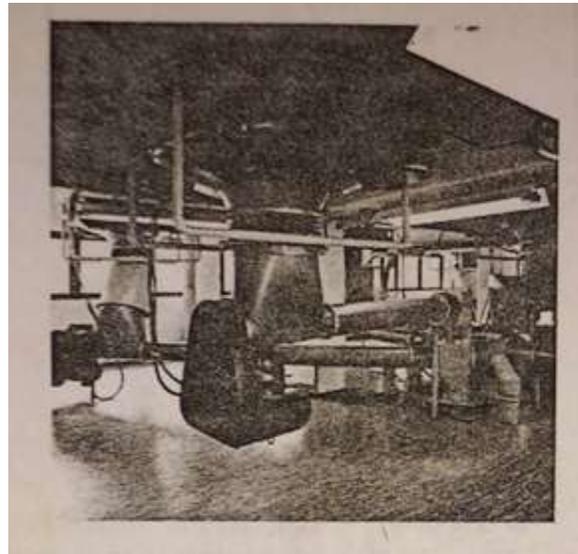
Extracción de harinas bajo silos de almacenaje, silos de homogenización y celdas de ensacado.

Extracción de salvado desde las celdas de salvado. Tanto el diseño de la celda como el del cono para estos productos deben estar de acuerdo con el producto a tratar.

Construcciones especiales y aparatos así mismo con formas especialmente diseñadas hacen posible la extracción de salvado de las celdas. La extracción de la harina de los filtros, montando un extractor bajo el filtro en algún lugar de un depósito.

Instalando dos o más extracciones, con diferentes capacidades, se puede mezclar el contenido de las celdas obteniendo un cierto efecto de mezcla.

Figura 6. Aparato extractor “Rotoflow” con rosca tubo acoplado



Fuente: W. A. Rohner, *Mecánica para molineros*, Pág. 253

2.3.1.3 Tornillos dosificadores²

Uno de los elementos más empleados para transporte horizontal de productos de limpia y de fábrica, es la rosca transportadora. Este elemento de transporte, relativamente barato, tiene sin

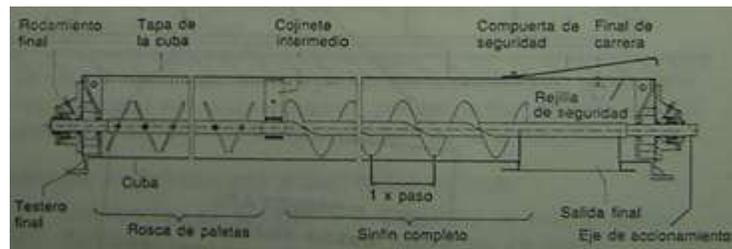
² W. A. Rohner, *Mecánica para molineros*, “*Tornillos dosificadores*”, Pág. 52 al 55, 1989.

embargo algunas desventajas: cuando la rosca se para entre el fondo de la cuba y el sinfín, así mismo, cuando en las bocas de salida quedan restos de producto; también en el transporte de productos granulosos o de sémolas y en fábricas donde se procesa trigo duro, este tipo de elemento de transporte no es al final el más económico. Al transportar productos quebradizos y granulosos (por ejemplo gránulos de salvado), los aplastan entre la cuba y el sin fin, y los rompen, o bien se quiebran por el simple rozamiento.

Elementos que componen una rosca y su importancia:

- Cuba
- Sinfín
- Cojinetes
- Accionamiento
- Dispositivos de seguridad

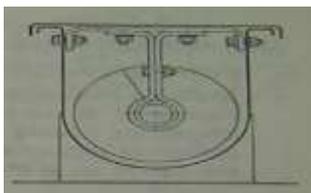
Figura 7. Elementos principales que componen una rosca transportadora



Fuente: W. A. Rohner, Mecánica para molineros, Pág. 52

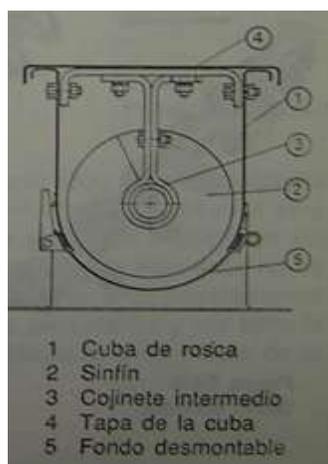
Cuba: Se suministran en diversas variantes, con sus salidas (finales e intermedias) según necesidad, con raseras o no. La cuba lleva su tapa con junta de estanqueidad. Especialmente para productos finales, como por ejemplo harinas, la cuba se suele suministrar con desmontable rápido para facilitar los trabajos de limpieza.

Figura 8. Sección transversal de una rosca sin fondo desmontable



Fuente: W. A. Rohner, Mecánica para molineros, Pág. 53

Figura 9. Sección transversal de una rosca con fondo desmontable



Fuente: W. A. Rohner, Mecánica para molineros, Pág. 53

Sinfín: El sinfín va soldado sobre un tubo de acero (rosca o sinfín completo) o bien atornillado (en caso de rosca de paletas). Se diferencia siempre entre sinfín a derechas o a izquierdas.

Cojinetes: Cojinete final de bolas o rodillos, en ocasiones puede montarse también cojinetes de fricción, como cojinete de brida o final, atornillado a la cuba de la rosca.

El cojinete intermedio es un cojinete de fricción en dos partes, con carcasa de madera especial, plástico o bien de metal fundido.

Los cojinetes intermedios son necesarios cada 2-3 m de distancia para evitar que el eje con el sinfín flexen.

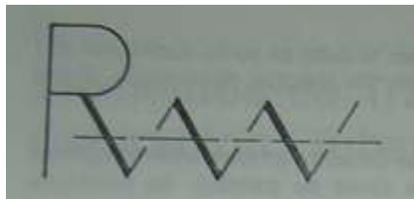
Los cojinetes deben situarse de forma que al engrasar, la grasa no caiga nunca al producto. Por otra parte, el producto no debe penetrar en el cojinete para que las bolas o rodillos no se dañen.

Accionamiento: Dado que las roscas giran normalmente con velocidad inferior a 200 r.p.m., el elemento de accionamiento a emplear será un motor-reductor. Como transmisión entre el motor-reductor y el eje de la rosca, puede emplearse acoplamiento directo o bien transmisión por piñones y cadena.

Dispositivos de seguridad: Compuerta con final de carrera sobre la salida final, en algunos casos contiene controlador de velocidad. Al abrir la compuerta, el final de carrera actúa sobre un relé de tiempo parando el motor reductor. Debajo de la compuerta debe de instalarse una rejilla de protección para evitar accidentes mientras el sinfín gira.

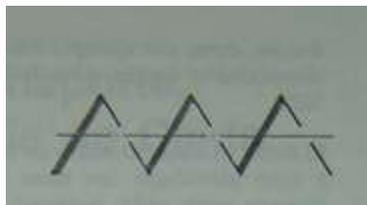
Como se indicó anteriormente el sinfín de la rosca puede girar a derechas o a izquierdas.

Figura 10. Rosca a derechas



Fuente: W. A. Rohner, Mecánica para molineros, Pág. 54

Figura 11. Rosca a izquierdas



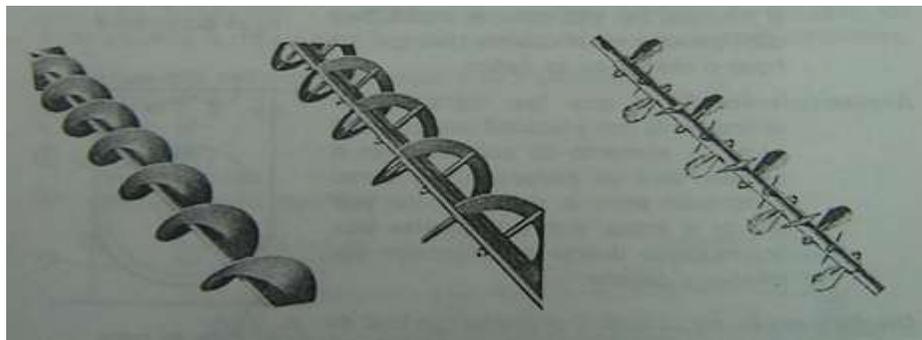
Fuente: W. A. Rohner, Mecánica para molineros, Pág. 54

Junto al sentido de giro derechas-izquierdas, se diferencia también además:

- Sinfín completo para transporte de producto
- Sinfín de paletas/Sinfín de segmentos. Estos tipos de sinfín, además de transportar el producto, en parte lo mezclan. En ambos casos pueden girarse las paletas o segmentos

una a derechas una a izquierdas para obtener el efecto deseado. También puede variarse en parte el paso. Todo ello incluye en el efecto de mezclado

Figura 12. Sinfín continuo, sinfín de paletas y sinfín de segmentos



Fuente: W. A. Rohner, Mecánica para molineros, Pág. 54

2.3.1.4 Rastra o cadena transportadora³

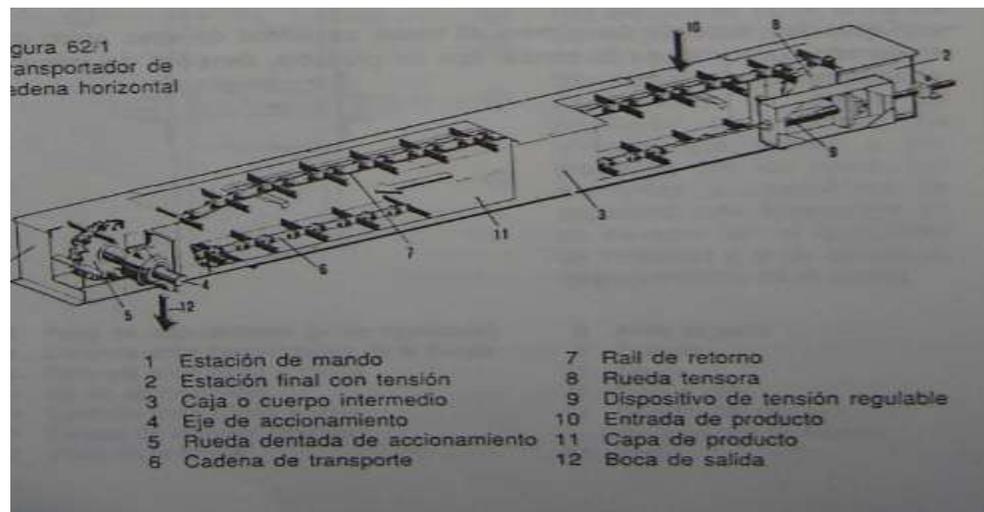
El transportador de cadena es indicado para el transporte de productos en horizontal, inclinado o vertical. En una caja que puede ser horizontal, o bien inclinada, se transporta una determinada cantidad de producto por una cadena desde la entrada del transportador hasta la salida. Este sistema de transporte es posible debido a que el rozamiento de las partículas que forman el producto entre sí y con la cadena de arrastre es mayor que el rozamiento del producto con las paredes laterales y el fondo del transportador. Esto es válido tanto si el producto es muy granulado, como si es muy fino. Pueden transportarse todo tipo de productos tales como harina, salvado o gránulos de piensos, trigo, etc.

En el transporte horizontal o inclinado, la caja de transporte se vacía casi totalmente. En los transportadores inclinados es necesario habitualmente que el flujo de producto sea continuo, ya que suelen quedar algo de restos. Además en la carga y descarga de buques en la Industria de Molinería, se utiliza casi exclusivamente este tipo de transportadores bien horizontales o

³ W. A. Rohner, Mecánica para molineros, “Rastra o cadena transportadora”, Pág. 62 al 64, 1989.

inclinados. El transportador de cadena trabaja sin producir polvo, necesita poco espacio en cuanto a sección transversal se refiere y en comparación con el resto de transportes mecánicos necesita mucha menos potencia instalada, incluso pueden transportarse grandes capacidades. Sobre todo en silos de cereales y como elemento de transporte bajo las celdas del silo, el transportador de cadena es el elemento ideal de transporte. Así mismo, es muy apreciado para el transporte de trigo y en las instalaciones de carga y descarga de cereales, ya que no produce polvo, se monta fácilmente y necesita poco espacio.

Figura 13. Transportador de cadena horizontal



Fuente: W. A. Rohner, Mecánica para molineros, Pág. 62

Elementos que componen un transportador de cadena:

- Estación de mando
- Estación final
- Caja de transporte
- Cadena
- Accionamiento
- Dispositivos de seguridad

En el sistema normal de transportador, la cadena es arrastrada en la caja de transporte por una rueda dentada desde la estación de mando. El eje con la rueda va montado sobre cojinetes, todo ello sobre un conjunto que forma la estación de mando. El producto es arrastrado siempre desde la estación final hasta la estación de mando. Dado que es el elemento final del transportador, y que está montada al otro lado de la estación de mando, es por lo que se llama estación final. En ella la cadena gira sobre una rueda lisa, el eje de la misma va así mismo fijado lateralmente con cojinetes a la pared de chapa de la estación.

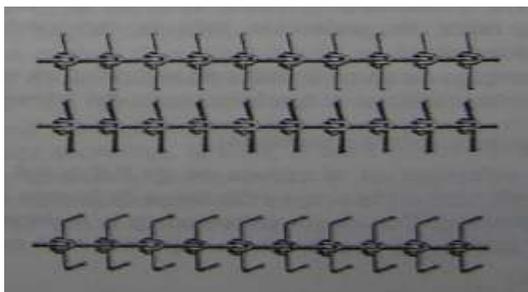
La cadena en la estación final, va sujeta sólo a la rueda lisa (se conoce también como estación tensora) y puede tensarse. Dado que hay que contar que con el producto vengan a veces cuerpos extraños, los cuales podrían bloquear la cadena, los cojinetes de la estación final no van fijos, con lo cual en caso de golpes de tensión anormales en la cadena, pueden absorber parte de estos esfuerzos los cojinetes de tensión final.

La caja de transporte muy sencilla (2 paredes laterales, fondo, tapa y rail-guía) permite llenarla con $\frac{2}{3}$ hasta $\frac{3}{4}$ de producto. El resto de la caja se necesita vacío para el retorno de la cadena. Las paredes laterales y la tapa son de chapa de acero. También el fondo es del mismo material, pero más grueso. Es una lástima que en los transportadores trabajando en vacío, la cadena sobre el fondo produzca bastante ruido. La ejecución del fondo y los raíles-guía en madera o material plástico reducen la emisión de ruidos, pero sin embargo tienen el inconveniente de que se desgastan muy rápidamente.

La cadena de transporte:

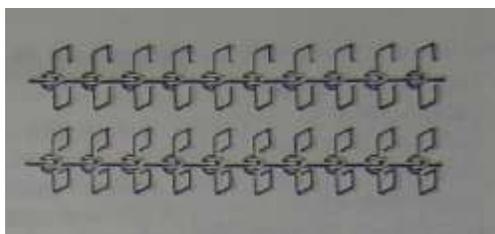
Según aplicaciones, precios y calidades, hay diversos tipos de cadena que pueden aplicarse.

Figura 14. Cadena para transporte en horizontal y cadena para transporte inclinado



Fuente: W. A. Rohner, Mecánica para molineros, Pág. 63

Figura 15. Transportador de cadena horizontal

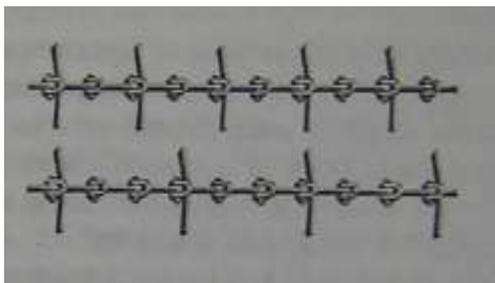


Fuente: W. A. Rohner, Mecánica para molineros, Pág. 64

Los eslabones más anchos y también más largos, es decir, con más paso, se utilizan según la capacidad deseada y según la longitud del transportador, así como también según la densidad, etc. La tensión de la cadena y por tanto la resistencia de los eslabones en los transportadores más largos es mayor debido al propio peso de la cadena más el producto.

Para productos voluminosos (por ejemplo salvado), la cadena de transporte no lleva los travesaños en cada eslabón, sino cada dos eslabones. En este caso la capacidad no se reduce.

Figura 16. Cadenas de transportador para productos voluminosos (por ejemplo, salvado)



Fuente: W. A. Rohner, Mecánica para molineros, Pág. 64

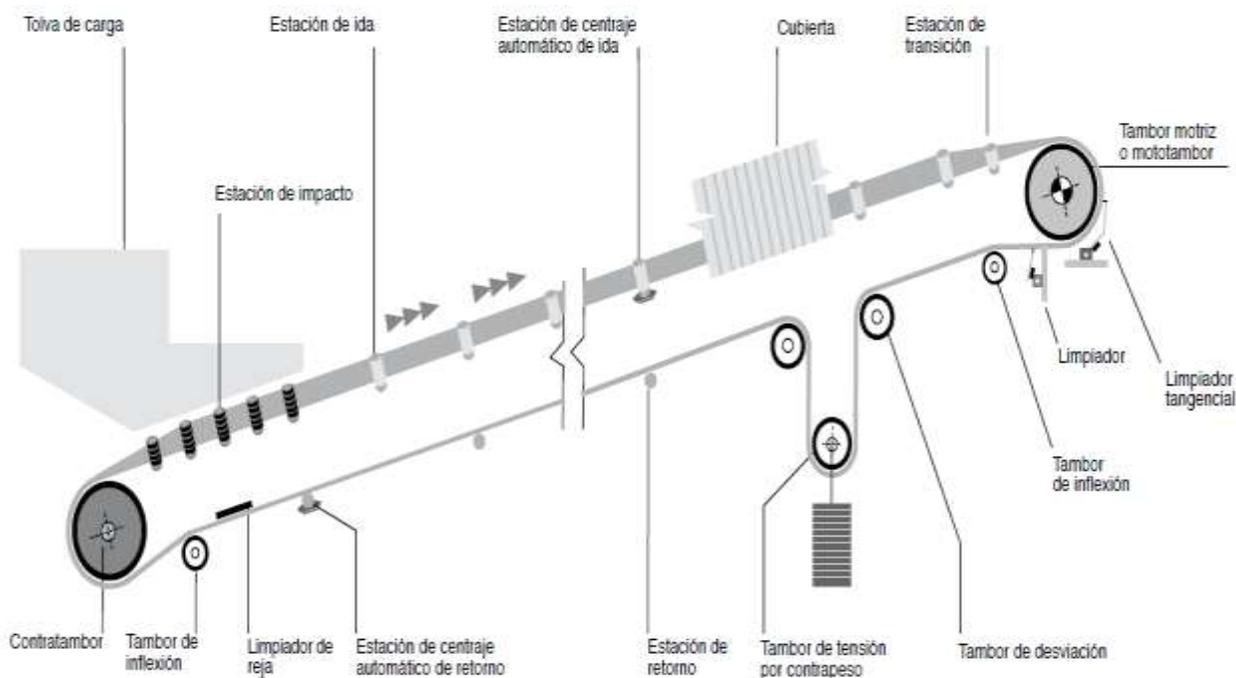
2.3.1.5 Cinta transportadora⁴

Las cintas transportadoras son elementos auxiliares de las instalaciones, cuya misión es transportar, elevar o distribuir materiales hacia otro punto. Son aparatos que funcionan solos, intercalados en las líneas de proceso y que no requieren generalmente de ningún operario que las manipule directamente de forma continuada.

Las cintas transportadoras sirven para el transporte horizontal o inclinado de objetos sólidos o material a granel cuyas dos ventajas principales son:

- Gran velocidad
- Grandes distancias

Figura 17. Cinta transportadora



Fuente: Salinero Gervaso, Diseño de una banda transportadora mediante guide de matlab, Pág. 14

⁴ Salinero Gervaso, Diseño de una banda transportadora mediante guide de matlab, "Cinta transportadora", Pág. 13 al 14, 69 al 84, 2013.

En la fase de diseño es crucial disponer de información fiable acerca del material a transportar, debido a la gran existencia de los tipos diferentes de materiales a granel que se pueden encontrar.

Por lo tanto es importante considerar los siguientes factores:

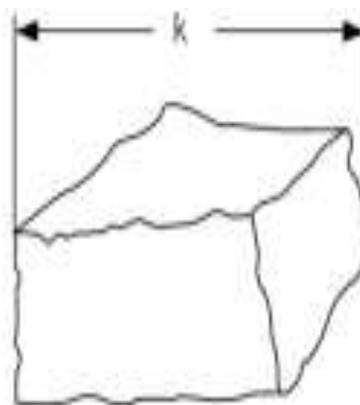
A) Peso específico (γ)

El peso específico de un material se define como su peso por unidad de volumen y se expresa en (Kg/m³) (kilogramo por metro cúbico) en el sistema Internacional. En muchos materiales, el peso unitario está sujeto a variaciones debido al tamaño del material, a su grado de humedad y en el caso de los minerales a su formación natural.

B) Tamaño

Los materiales se clasifican desde el punto de vista del tamaño para su transporte en clasificados / uniformes y en no clasificados / no uniformes. Para los materiales clasificados, el tamaño mínimo a considerar será de 2,5 mm. De acuerdo con esta clasificación se seleccionara un ancho de banda mínimo que cumpla estas condiciones (ver Figura18 y Tabla 1). También la selección del tamaño del material influirá en el valor del tamaño de los rodillos de la zona de carga.

Figura 18. Tamaño del material



Fuente: Salinero Gervaso, Diseño de una banda transportadora mediante guide de matlab, Pág. 69

Tabla 1
Selección del ancho de banda

Ancho mínimo de Banda	Tamaños	
	Uniforme	Mixto
400	50	100
500	75	150
650	125	200
800	170	300
1000	250	400
1200	350	500
1400	400	600
1600	450	650
1800	500	700
2000	550	750
2200	600	800

Fuente: Salinero Gervaso, Diseño de una banda transportadora mediante guide de matlab, Pág. 70

C) Ángulo de reposo (α) y ángulo de sobrecarga (β)

La fluidez del material depende directamente del ángulo de reposo, este ángulo es el formado por la horizontal y la generatriz del cono que se forma al verter el material desde cierta altura. Éste se considera un ángulo estático. Con lo cual la fluidez será mayor para materiales que tengan ángulos de sobrecarga pequeños.

Respecto al ángulo de sobrecarga, se trata de un ángulo el cual, tiene una relación directa con el ángulo de reposo. El ángulo de sobrecarga, también llamado ángulo de reposo dinámico, es el que se forma en el perfil transversal de las cintas cargadas (Figura 19) y generalmente es el ángulo de reposo menos un valor variable entre 5° y 20°

Figura 19. Ángulo de reposo y ángulo de sobrecarga



Fuente: Salinero Gervaso, Diseño de una banda transportadora mediante guide de matlab, Pág. 70

D) Ángulo de máxima inclinación (δ)

Otro ángulo importante a considerar a la hora de diseñar una cinta transportadora es el ángulo de máxima inclinación de ascenso en la banda. Es el ángulo bajo el cual el material puede ser transportado sobre la banda sin necesidad de usar bandas especiales. Este ángulo máximo de inclinación está determinado por la fricción entre el material y la banda, a diferencia del ángulo de sobrecarga que depende de la fricción interna del material. El ángulo máximo de inclinación es menor que el ángulo de sobrecarga.

E) Agresividad

Propiedad del material importante para la selección del tipo de cinta transportadora, del espesor y del número de capas de la cubierta de la misma. Los materiales vienen dados por la norma DIN 22102.

Esta norma diferencia entre los materiales: No abrasivos o muy poco abrasivos (como el carbón vegetal, y las virutas de madera), abrasivos o poco abrasivos (como el hielo triturado, carbón, cemento y muy abrasivos (piedra, arena, grava, coque, cobre, mineral. La Tabla 2 recoge algunos materiales generalmente empleados en la industria junto con sus características anteriormente mencionadas.

Estos son valores recomendados y los mismos pueden variar de acuerdo a las condiciones específicas de cada material en el momento del transporte.

Tabla 2
Características de los materiales

MATERIAL	TAMAÑO [mm]	PESO ESPECÍFICO [T/m ³]	ÁNGULOS		ABRASIVIDAD
			REPOSO α	INCLINAC. MÁXIMA DE LA BANDA δ	
Arcilla fina	3	1,0-1,6	-	15°	Muy abrasiva
Arena seca	3	1,5-1,8	35°	16°-18°	Muy abrasiva
Asfalto	15	0,75	30°-45°	16°-18°	Abrasivo

Basalto	75-150	1,4-1,7	27°-35°	18°	Abrasivo
Caliza	3-15	1,3-1,5	38°	18°	Abrasivo
Cal	3	0,6	40°	21°	Abrasivo
Cemento	2,5-40	1,3-1,5	30°-40°	18°-20°	Muy abrasiva
Cenizas carbón	10-75	0,7-0,8	45°	20°	Algo abrasivo
Cuarzo	15	1,3-1,45	20°-29°	18°	No abrasivo
Escoria	3-10	1,3-1,4	30°	10°	Muy abrasiva
Granito	10-150	1,4-1,5	35°	18°	Muy abrasiva
Grava	10-75	1,5-1,7	32°	20°	Muy abrasiva
Harina	0-2,5	0,6-0,9	0°-10°	10°	No abrasivo
Tierra	2,5-10	1,2-1,3	35°	17°	-
Coque	3-15	0,5-1	30°-45°	18°	Muy abrasiva
Lignito	15	0,7-1	40°	18°-22°	Abrasivo
Fosfatos	3	1	26°	11°	Abrasivo
Nitratos de Sodio	75	1,1-1,4	24°	11°	No abrasivo
Cobre	75	1,9-2-2	30°-45°	20°	Muy abrasivo

Fuente: Salinero Gervaso, Diseño de una banda transportadora mediante guide de matlab, Pág. 71

F) Definición del ancho de banda y velocidad

A la hora de proyectar una banda transportadora, los parámetros más importantes son la correcta elección del ancho de banda y la velocidad, cuya selección dependerá de los datos básicos correspondientes a:

- Material
- Geometría de la cinta
- Capacidad a transportar

La elección correcta de la velocidad y del ancho de banda evitara derramamientos del material, con lo cual, su elección es minuciosa y de vital importancia. Respecto a su elección, como ya se ha mencionado, el material influye especialmente por su tamaño. Los otros dos datos a considerar son: la geometría de la cinta y la capacidad de material a transportar. Estas dos dependen a su vez de otras características que serán detalladas en los apartados siguientes.

G) Longitud de la banda (L)

Se define la longitud de una banda como la distancia en metros, medida a lo largo de la cinta entre centros de los tambores terminales, de acuerdo con la trayectoria de la banda.

Nuestra banda tendrá una longitud de 123 cm.

H) Capacidad a transportar

Capacidad requerida y capacidad máxima.

La capacidad requerida es expresada en toneladas por hora (t/h), y es el valor máximo de capacidad requerida por el proceso, de acuerdo con las condiciones del usuario. (No es un valor promedio). Esta capacidad se empleara en los cálculos de la potencia requerida para accionar la cinta transportadora.

Por otra parte, también se debe definir la capacidad máxima de transporte. Esta capacidad dependerá del ancho de banda que se seleccione, de la velocidad de la banda, del ángulo de inclinación de los rodillos y de la densidad del material transportado. La capacidad máxima calculada deberá ser mayor que la capacidad requerida para que la banda opere sin problemas.

Se parte de la ecuación, donde el único parámetro anteriormente explicado es el peso específico del material, éste no depende de otros parámetros, únicamente es una característica particular de cada material. Los demás parámetros son analizados de forma independiente.

$$Q = 3600 \cdot V \cdot A \cdot \gamma \cdot K$$

Donde:

Q: Capacidad de transporte de la banda (t/h)

V: Velocidad de la banda (m/s)

A: Sección transversal del material sobre la banda (m²)

γ : Peso específico del material (t/m³)

K: Coeficiente de reducción de capacidad por inclinación.

Coeficiente de reducción de capacidad por inclinación (k)

La norma DIN 22101 indica los factores por los que hay que multiplicar los valores de la capacidad para obtener los valores reales (ver Tabla 3)

Tabla 3
Valores de K

Valores de k	
Inclinación δ	K
0	1
2	1
4	0,99
6	0,98
8	0,97
10	0,95

Fuente: Salinero Gervaso, Diseño de una banda transportadora mediante guide de matlab, Pág. 77

I) Velocidad (V)

A la hora de determinar la velocidad, en general, interesa que sea la máxima admisible (que permita la capacidad), pues de esta forma los anchos de banda serán más pequeños y por ello más económicos, pero a la hora de su elección, se debe tener en cuenta la influencia del material y las características de las que depende. Algunas de ellas son:

La fluidez: en la mayoría de los casos los materiales que son fluidos son pulverulentos, por lo tanto no se recomienda utilizar velocidades elevadas para este tipo de materiales, pues producirán polvo en los puntos de carga y descarga.

J) La abrasividad

Los materiales abrasivos suelen tener sus aristas afiladas, por ello es aconsejable no utilizar una velocidad elevada con estos materiales, pues pueden provocar cortes en la banda durante las transferencias. El tamaño también limita la velocidad, pues cuanto mayor sea el tamaño de los trozos, más pesados serán, y con ello su impacto debilitará el tejido de la banda. Siendo muy difícil de valorar toda esta característica, se consideran únicamente las relaciones empíricas que han determinado por procesos experimentales los diferentes fabricantes, dichas características se detallan en la tabla.

Tabla 4

Relación empírica del ancho de banda, velocidad y tamaño del material

Ancho de Banda (mm)	mínimo	Tamaños máximos (mm)		Velocidad máxima en m/s			
		Uniforme	Mixto	A	B	C	D
400		50	100	2,62	2,09	2,09	1,31
500		75	150	2,62	2,62	2,09	1,68
650		125	200	3,35	2,62	2,62	1,68
800		170	300	3,35	3,35	2,62	2,09
1000		250	400	4,19	3,35	3,35	2,09
1200		350	500	4,19	3,35	3,35	2,62
1400		400	600	4,19	3,35	3,35	3,35
1600		450	650	4,19	4,19	3,35	3,35
1800		500	700	4,19	4,19	3,35	3,35
2000		550	750	5,24	4,19	3,35	3,35
2200		600	800	5,24	5,24	4,19	4,19

A.-Materiales ligeros deslizables, no abrasivos con peso específico de 0,5-1 T/m³

B.- Materiales no abrasivos o muy poco abrasivo con tamaño medio, peso específico de 1-1,5 T/m³

C.- Materiales medianamente abrasivos y pesados, con peso específico de 1,5 a 2 T/m³

D.- Materiales muy abrasivos pesados y cortantes, peso específico mayor a 2 T/m³

Fuente: Salinero Gervaso, Diseño de una banda transportadora mediante guide de matlab, Pág. 76

Por otro lado la velocidad debe elegirse de acuerdo con la normalizada por la DIN 22101, cuyos valores se detallan en la Tabla 5.

Valores normalizados de velocidad, según la norma DIN 22101

Tabla 5

Valores normalizados de velocidad, según la norma DIN 22101

VELOCIDADES NORMALIZADAS (m/s)			
0,66	0,84	1,05	1,31
1,68	2,09	2,62	3,35
4,19	5,24		

Fuente: Salinero Gervaso, Diseño de una banda transportadora mediante guide de matlab, Pág. 76

Otras variables que influyen en la selección de la velocidad son la capacidad requerida y la potencia requerida.

Hasta donde la capacidad lo permita es deseable seleccionar una velocidad de banda de forma que la cinta se encuentre lo más ocupada posible, produciendo de esta forma un mejor patrón de desgaste de la cubierta de la banda.

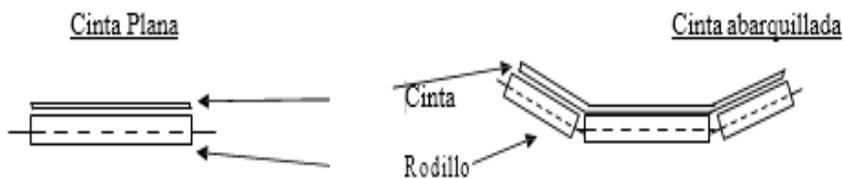
La velocidad tiene también un efecto sobre la potencia requerida, particularmente en bandas con poca o ninguna inclinación. Con un tonelaje horario constante, la potencia requerida disminuye a medida que la velocidad decrece. Esto se debe a que la potencia para hacer funcionar la banda varía con la velocidad.

K) Sección transversal (A)

La sección transversal del material a transportar depende obviamente del ancho de la banda, el ángulo de sobrecarga y el ángulo de artesa, así como de la longitud de los rodillos de la banda. Todas estas magnitudes, depende a su vez del material a transportar. Para calcular el valor de la sección transversal, se han aplicado las ecuaciones descritas en el catálogo del fabricante Dunlop. Dependiendo de la configuración de los rodillos, la sección transversal será diferente. Las configuraciones son:

- Rodillos en artesa
- Rodillo plano

Figura 20. Tipos de cinta



Fuente: Salinero Gervaso, Diseño de una banda transportadora mediante guide de matlab, Pág 80

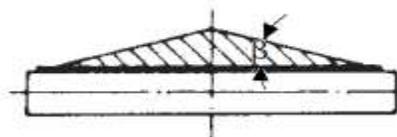
El ángulo de artesa (λ) depende principalmente de la flexibilidad de la banda empleada. Habitualmente se considera un $\lambda=35^\circ$. Si se transporta un material de tamaño mayor, el ángulo de artesa deberá aumentar su valor para impedir un posible vertido del material. El tipo de material generalmente no influye, pero si su tamaño.

El ángulo de sobrecarga (β) depende del grado de fluidez del material, a más fluidez, menor ángulo de sobrecarga. Esta fluidez limita la inclinación de la banda (δ).

La disposición de los rodillos, dependerá del uso para el que está destinada la banda transportadora. Dicha configuración, afectará principalmente al cálculo de la sección transversal del material. A continuación se detallan las ecuaciones para la forma de los rodillos.

L) Rodillo plano

Figura 21. Rodillo plano



Fuente: Salinero Gervaso, Diseño de una banda transportadora mediante guide de matlab, Pág 80

$$A = 0.25 \cdot \tan(\beta) \cdot [l + (b - l) \cdot \cos(\lambda)]^2$$

Siendo:

$$b = 0.9 \cdot B - 0.05 \quad \text{SI } B \leq 2000 \text{ mm}$$

$$b = B - 0.25 \quad \text{SI } B > 2000 \text{ mm}$$

Donde:

A: Sección transversal del material sobre la banda [m²]

β : Angulo de sobrecarga [°]

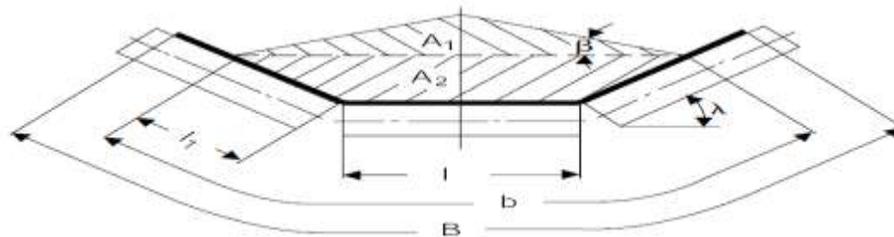
λ : Angulo de artesa [°]

L: longitud de los rodillos [m]

B: Ancho de banda [m]

M) Rodillos en artesa

Figura 22. Rodillo en artesa



Fuente: Salinero Gervaso, Diseño de una banda transportadora mediante guide de matlab, Pág 79

$$A = A1 + A2$$

$$A1 = 0,25 \cdot \tan(\beta) * [l + (b - l) * \cos(\lambda)]^2$$

$$A2 = l1 * \sin(\lambda) * [l + l1 \cdot \cos(\lambda)]$$

Siendo:

$$b = 0,9 * B - 0.05 \quad \text{SI } B \leq 2000 \text{ mm}$$

$$b = B - 0,25 \quad \text{SI } B > 2000 \text{ mm}$$

$$l1 = 0,5 * (b - l)$$

Donde:

A: Sección transversal total del material sobre la banda [m²]

A1: Sección transversal del material, zona superior [m²]

A2: Sección transversal del material, zona inferior [m²]

β : Angulo de sobrecarga [°]

λ : Angulo de artesa [°]

L: longitud de los rodillos [m]

B: Ancho de banda [m]

Los esfuerzos a los que está sometida la banda transportadora en funcionamiento varían a lo largo de su recorrido.

Se puede calcular la potencia necesaria para mover la cinta en vacío y la potencia necesaria para mover la cinta cargada con desplazamiento horizontal. Esto se corresponde con el esfuerzo necesario para vencer el rozamiento producido por los rodillos y por el peso de la banda cuando va cargada.

$$P = \frac{Cb * v + Qm}{Cl * kf}$$

Donde:

Cb: Factor de ancho de banda [kg/m]

V: Velocidad de la banda [m/s]

Qm: Capacidad de transporte de la banda [t/h]

Cl: Factor de longitud de la banda [m-1]

Kf: factor de servicio [-]

Los siguientes valores tabulados son valores empíricos otorgados por la empresa Dunlop.

Tabla 6
Factor del ancho de banda C_b

		Ancho de Banda [mm]										
Peso específico γ [TN/m ³]	γ	300	400	500	650	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
$\gamma \leq 1$		31	54	67	81	108	133	194	227	291	-	-
$1 < \gamma \leq 2$		36	59	76	92	126	187	277	320	468	554	691
$\gamma > 2$		-	65	86	103	144	241	360	414	644	727	957

Fuente: Salinero Gervaso, Diseño de una banda transportadora mediante guide de matlab, Pág. 84

Tabla 7
Factor de longitud de banda C_l

Longitud [m]	3	4	5	6	8	10	1,5	16	20
C_l	667	625	555	526	454	417	370	323	286
Longitud [m]	25	32	40	50	63	80	90	100	150
C_l	250	222	192	167	145	119	109	103	77
Longitud [m]	200	250	300	350	400	450	500	550	600
C_l	63	53	47	41	37	33	31	28	26
Longitud [m]	700	800	900	1000	1500	2000	>2000		
C_l	23	20	18	17	12	9	8		

Fuente: Salinero Gervaso, Diseño de una banda transportadora mediante guide de matlab, Pág. 84

Tabla 8
Factor de servicio, según condiciones de trabajo K_f

Condiciones de trabajo	k_f
Favorables, buena alimentación, bajas velocidades	1,17
Normal, condiciones estándar	1
Desfavorables, baja temperatura y alta velocidad	0,87-0,74
Temperaturas extremadamente bajas.	0,57

Fuente: Salinero Gervaso, Diseño de una banda transportadora mediante guide de matlab, Pág. 84

2.3.1.6 Silo o tolva⁵

La acumulación de productos puede realizarse en bolsas, silos o tolvas. Cuando se necesita acumular materias primas en grandes cantidades, se recomienda la utilización de silos ya que estos poseen las siguientes ventajas: ocupan menos espacio, facilitan la limpieza y requieren menor cantidad de personal. Al combinarlos con sistemas automatizados de extracción y alimentación de producto a la línea de producción, reduciendo también la probabilidad de que existan errores humanos.

Con el almacenamiento de granos en silos se consigue un mayor aprovechamiento del terreno y la probabilidad de guardar distintos productos sin posibilidad de mezclas.

A) Tipos de silos

Existe una gran diversidad de silos permanentes o temporales, verticales u horizontales. Se puede hacer uso de una gran variedad de recipientes, incluyendo tambores de metal o plástico; tubos de concreto de 2 m de diámetro y 2 m de altura o bolsas plásticas para empaque comercial. En las grandes fincas existen silos con capacidades de 100 m³ o más, altamente mecanizados que son llenados y vaciados mecánicamente. Esto aumenta la eficiencia del empleo del tiempo y reduce el costo de la mano de obra.

Clasificación de los silos

Los silos pueden clasificarse por las unidades de almacenamiento:

- Simples
- Múltiples
- Por la forma

⁵ García, E., Diseño y construcción de un prototipo con sistema SCADA aplicando al control del Micro clima y dosificación del producto almacenado en silos, “Silo o tolva”, Recuperado de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1902/3/02%20Diseno%20y%20construccion%20del%20prototipo.pdf>

- Cilíndricos
- Poligonales

2.3.1.7 Tolva báscula⁶

Para aplicación como báscula en la recepción de cereales (silos de cereales, descarga de barcos, etc.), es necesario tener en cuenta otros factores, los que se consideran en las básculas empleadas en las fábricas de harinas. Son consideraciones:

- Alta capacidad
- Conexión con un ordenador (computadora)
- Registro en continuo del valor real de cada pesada
- Exactitud

Todas ellas están en primer plano.

Para cumplir estas exigencias es ideal la báscula de pesada neta, es decir, el control neto de cada pesada.

Cuando se trata de pesar grandes capacidades hay que hacerlo con pesadas de gran volumen. El llenado y vaciado del depósito de la báscula no debe hacerse muy rápido para evitar que la exactitud de la pesada no se resienta. Por esta razón, para este tipo de básculas son necesarios depósitos de espera y después una báscula relativamente grande.

A) Depósito de espera sobre la báscula:

Mientras se produce la pesada y descarga de la báscula, el depósito previo debe estar cargando otra pesada.

⁶ W. A. Rohner, Mecánica para molineros, “*Tolva báscula*”, Pág. 118 al 121, 1989.

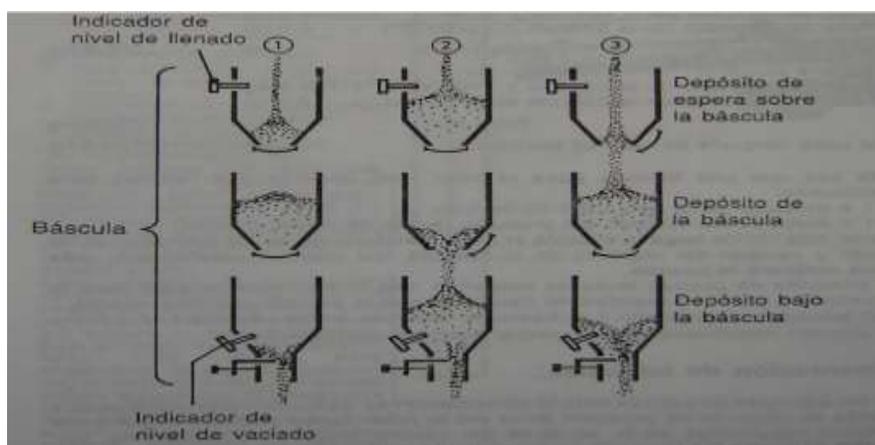
B) Depósito de la báscula:

El peso del material que llena el depósito de la báscula se estabilizará en el depósito, una vez estabilizado y registrado, vaciará.

C) Depósito posterior a la báscula:

El producto ya pesado en el depósito de la báscula fluirá al depósito posterior. Para ello, es conveniente que este depósito sea lo más grande posible.

Figura 23. Esquema de funcionamiento de una báscula tolva electrónica



Fuente: W. A. Rohner, Mecánica para molineros, Pág. 119

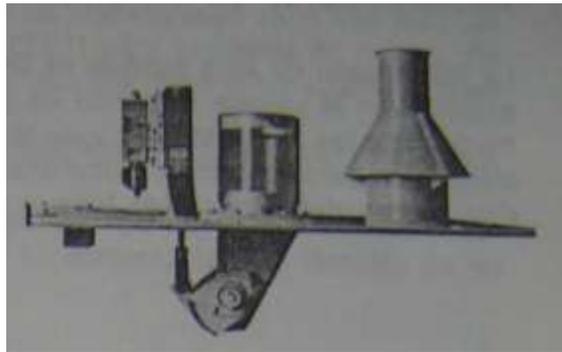
Durante el proceso de control de la pesada, el depósito de espera se está llenando de producto. Cuando el indicador de nivel de vaciado indica que el depósito está vacío, la rasera de cierre del depósito bajo báscula se abrirá, en cuyo momento, además de descargarse la báscula, registrará en el contador la pesada. Antes de que el depósito de la báscula se llene de nuevo, la báscula fijará la tara del peso. Después de esto, abrirá la rasera del depósito de espera sobre la báscula, el producto retenido en el depósito fluirá al de la báscula hasta alcanzar el valor del peso. Cerrará la rasera del depósito de espera sobre la báscula y en el depósito de la báscula se establecerá el proceso propio de pesado. Del peso total de tara con el depósito lleno se podrá restar, después de vaciar la pesada, la tara en vacío sumando sólo lo que es la pesada neta.

D) Alimentación de básculas:

Con las básculas de pesada neta la alimentación es de suma importancia, ya que además la corriente de producto debe ser lo más regular posible. Según cada producto, regularidad de la corriente del mismo, empleo de la báscula, etc., pueden aplicarse los dispositivos de alimentación siguientes:

- Alimentación por segmento
- Con sólo una compuerta para alimentación gruesa (ningún sistema de alimentación especial, sólo el mecanismo de cierre)
- Con sólo una compuerta para alimentación fina
- Con dos compuertas: Una para dosificación gruesa y otra para dosificación fina

Figura 24. Alimentación de la báscula por segmento



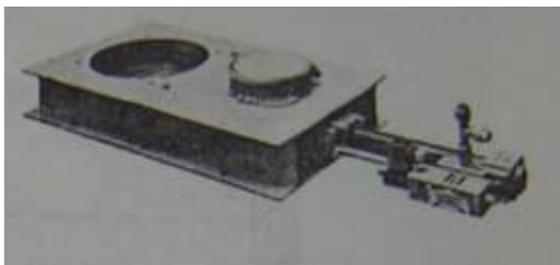
Fuente: W. A. Rohner, Mecánica para molineros, Pág. 121

E) Alimentación por rasera

Con sólo una rasera sin dosificación fina (como rasera de cierre). Sin mecanismo de alimentación propio.

- Con dos raseras: Una para dosificación gruesa y otra para dosificación fina

Figura 25. Alimentación de la báscula por rasera



Fuente: W. A. Rohner, Mecánica para molineros, Pág. 121

F) Alimentación por rosca

- Para dosificación gruesa con unas revoluciones determinadas
- Para dosificación fina, con unas revoluciones determinadas
- Para dos revoluciones: Una para dosificación gruesa y otra para dosificación fina

Figura 26. Alimentación de la báscula por rosca



Fuente: W. A. Rohner, Mecánica para molineros, Pág. 121

Estos equipos con sólo una alimentación gruesa están diseñados generalmente para pequeñas capacidades (hasta 3,6 T/h). El flujo de producto debe fluir regularmente y la capacidad debe ser constante, la alimentación no debe estar conectada con un depósito previo.

Estos sistemas de dosificación están indicados sólo para pequeñas capacidades. La alimentación trabaja llena y para ello necesita un depósito previo.

Esta alimentación trabaja también llena. Está indicada para alimentación de producto irregular. Según producto y densidad pueden incluso superar los 300 intervalos de pesada por hora.

2.4. Elementos, instrumentación y control en formulación y mezclado ⁷

2.4.1 Intervalo, rango de medida (campo)

Es el conjunto de valores de la variable medida que están comprendidos dentro de los límites superior e inferior de la capacidad de medida, de recepción o de transmisión, para el cual el equipo ha sido diseñado. Se expresa por los valores extremos.

2.4.3 Alcance, margen (span)

Es la diferencia algebraica entre los valores superior e inferior del campo de medida del instrumento.

2.4.4 Error

Es la diferencia algebraica entre el valor leído y el valor real de la variable medida.

2.4.5 Exactitud

Es la cualidad de un instrumento de medida por la que tiende a dar lecturas próximas al verdadero valor de la magnitud medida.

2.4.6 Precisión

Es la cualidad de un instrumento de medida por la que tiende a dar lecturas muy próximas unas a otras, es decir, es el grado de dispersión de las mismas. Un instrumento puede tener pobre exactitud, pero una gran precisión.

2.4.7 Linealidad

Es la aproximación de una curva de calibración a una línea recta especificada.

Un sensor se dice que es lineal, si existe una constante de proporcionalidad única que relaciona los incrementos de señal de salida con los correspondientes incrementos de señal de entrada, en todo el campo de medida.

⁷ Cerrón, J., *Instrumentación Industrial*, TECSUP, Pág. 12 al 14, 2015.

2.4.8 Zona muerta

Es el campo de valores de la variable que no hace variar la indicación o la señal de salida del instrumento, es decir que no produce respuesta.

2.4.9 Sensibilidad

Es la razón entre el incremento de la señal de salida o de la lectura y el incremento de la variable que lo ocasiona, después de haber alcanzado el estado de reposo.

2.4.10 Repetibilidad

Es la capacidad de reproducción de las posiciones de la pluma o del índice o de la señal de salida del instrumento, al medir repetidamente valores idénticos de la variable en las mismas condiciones de servicio y en el mismo sentido de variación, se expresa en %.

2.4.11 Histéresis (hysteresis)

Cuando se toman los datos de calibración de un instrumento, esto se hace con los datos de subida y los datos de bajada en la entrada, al representar gráficamente los datos de la medida del transductor (variable de salida o variable eléctrica), tendremos la representación de dos curvas de salida, una de subida y otra de bajada. Idealmente deberían ser iguales las curvas y a la diferencia entre estas dos curvas se define como la histéresis.

2.4.12 Protección IP

El sistema de clasificación IP proporciona un medio de clasificar el grado de protección de sólidos (como polvo) y líquidos (como agua) que el equipo eléctrico y gabinetes deben reunir.

Tabla 9
Grados IP de equipos

PRIMER NÚMERO- PROTECCIÓN CONTRA SÓLIDOS	SEGUNDO NÚMERO- PROTECCIÓN CONTRA LÍQUIDOS	TERCER NÚMERO- PROTECCIÓN CONTRA IMPACTOS MECÁNICOS (GENERALMENTE OMITIDO)
0 Sin Protección	0 Sin Protección	0 Sin Protección

1	Protegido contra objetos sólidos de más de 50 mm	1	Protegido contra gotas de agua que caigan verticalmente	1	Protegido contra impactos de 0,225 joules
2	Protegido contra objetos sólidos de más de 12 mm	2	Protegido contra rocíos directos a hasta 15° de la vertical	2	Protegido contra impactos de 0,375 joules
3	Protegido contra objetos sólidos de más de 2,5 mm	3	Protegido contra rocíos directos a hasta 60° de la vertical	3	Protegido contra impactos de 0,5 joules
4	Protegido contra objetos sólidos más de 1 mm	4	Protegido contra rocíos directos de todas las direcciones, entrada limitada permitida	4	Protegido contra impactos de 2,0 joules
5	Protegido contra polvo-entrada limitada permitida	5	Protegido contra chorros de agua a baja presión de todas las direcciones, entrada limitada permitida	5	Protegido contra impactos de 6,0 joules
6	Totalmente protegido contra polvo	6	Protegido contra fuertes chorros de agua de todas las direcciones, entrada limitada permitida	6	Protegido contra impactos de 20,0 joules
7		7	Protegido contra los efectos de la inmersión de 15 cm – 1m	7	
8		8	Protegido contra largos periodos de inmersión bajo presión	8	

Ejemplo: Un terminal con IP-64 está totalmente protegido contra la entrada de polvo y contra rocíos directos de agua de todas las direcciones.

Fuente: Cerrón Salcedo, Instrumentación Industrial TECSUP, Pág. 14

2.4.1 Controlador lógico programable

El controlador lógico programable (PLC) es un dispositivo operado digitalmente, que usa una memoria para el almacenamiento interno de instrucciones con el fin de implementar funciones específicas, tales como lógica, secuenciación, registro y control de tiempos, conteo y operaciones aritméticas, para controlar a través de entradas/salidas digitales o analógicas varios tipos de máquinas o procesos.

2.4.2 Sensores de nivel para sólidos

Los sensores de nivel para sólidos determinan la altura de un sólido que está contenido en un depósito y siempre con respecto a un valor de referencia. Esta referencia generalmente es el fondo del recipiente.

El nivel alcanzado en un tanque se emplea a menudo para calcular el volumen del sólido contenido o la masa contenida.

2.4.3 Sensores de velocidad

El sensor de velocidad mide la corriente que genera la bobina y es proporcional a la velocidad del movimiento.

El sensor de velocidad está hecho con una bobina de alambre más un imán. Están colocados de forma que al moverse el cárter, el imán permanece sin moverse. Se crea un movimiento relativo en el campo magnético y la bobina provoca una corriente que está en proporción a la velocidad del movimiento. Es autogenerador no necesita de aditamentos electrónicos para funcionar. Posee una impedancia de salida eléctrica baja, que lo hace casi insensible a la inducción del ruido. Otros sensores están hechos de una bobina móvil colocada fuera de un imán estacionario.

2.4.4 Variadores de velocidad

Es un equipo electrónico que permite controlar la velocidad, el torque, la potencia y la dirección de los motores de inducción de corriente alterna trifásica.

2.4.5 Sensores de peso (Celdas de carga, galgas extensiométricas)

Una galga extensiométrica o “strain gage” es un dispositivo de medida universal que se utiliza para la medición electrónica de diversas magnitudes mecánicas como pueden ser la presión, carga, torque, deformación, posición, etc. Se entiende por strain o esfuerzo a la cantidad de deformación de un cuerpo debida a la fuerza aplicada sobre él. El parámetro “strain” puede ser positivo (como tensión) o negativo (como compresión).

Las celdas de carga son sensores electrónicos de peso cuya finalidad es recibir la excitación eléctrica provocada por un peso determinado aplicado a la báscula o balanza y transmitirlo hacia un indicador de peso.

2.5. ESTRATEGIAS DE CONTROL EN FORMULACIÓN

2.5.1. Descripción del control

En esta parte identificaremos los elementos y dispositivos que existen en el área de formulación y mezclado.

2.5.1.2. Entradas y salidas del proceso de formulación

Tabla 10
Identificación de componentes en formulación y mezclado

Ítem	Equipo	Sensor o Actuador	Tipo	Funcionamiento
1	Tornillo transportador	Encóder	Sensor analógico	Verificar el giro y velocidad de dosificación
		Motoreductor	Actuador	Transmisión de giro.
		Variador de Velocidad	Actuador analógico	Manipular la velocidad de giro del tornillo transportador
		Térmico	Sensor de protección discreto	Proteger al motor de sobrecargas

2	Tolva báscula	Celdas de carga	Sensor de peso analógico	Obtener el peso en las tolvas
3	Tolvas de materia prima	Sensores de nivel	Sensor de nivel discreto	Obtener los niveles establecidos de materia en la tolva
		Motor	Actuador analógico	Energiza la mezcladora.
4	Mezcladora de cintas	Temporizador	Sensor discreto	Establece el tiempo que necesitamos.
		Térmico	Sensor de protección discreto	Proteger el motor de sobrecargas
		Encóder	Sensor analógico	Verificar el giro y velocidad de la mezcladora.

Fuente: Elaboración propia

2.5.2 Estrategias de control tradicional⁸

2.5.2.1. Control proporcional

Es en realidad un amplificador con ganancia ajustable. Este control reduce el tiempo de subida, incrementa el sobretiro y reduce el error de estado estable. Para una acción de control proporcional la relación entre la salida del controlador $u(t)$ y la señal de error $e(t)$ es:

$$u(t) = K_p e(t)$$

Ecuación 2.1

Donde K_p es la ganancia proporcional.

2.5.2.2 Control PID

La combinación de una acción de control proporcional, una acción de control integral y una acción de control derivativo se denomina control PID. Esta acción combinada tiene las ventajas de cada una de las tres acciones de control individuales.

⁸ Cerrón, J., Automatización Industrial, "Estrategias de control tradicional", TECSUP, Pág. 22, 2015.

La relación entre la salida del controlador $u(t)$ y la señal de error $e(t)$ de la acción de control PID está dada por:

$$u(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt$$

Ecuación 2.2

Donde K_p es la ganancia proporcional, T_i es el tiempo integral y T_d es el tiempo derivativo

2.5.3 Estrategias de control, en el proceso de formulación y mezclado⁹

2.5.3.1. Control feedforward

Se usa cuando la perturbación que afecta al proceso puede medirse pero no controlarse. El objetivo es compensar la perturbación antes de que ésta llegue a afectar a la variable controlada. Para ello, apenas se produce la perturbación, debe comenzarse a actuar sobre la variable manipulada de modo que el efecto de esta actuación compense el efecto de la perturbación y la salida del sistema no sufra cambios.

2.5.3.2. Control cascada

Sistema de control más elaborado, donde la idea básica es realimentar variables intermedias entre el punto donde entra la perturbación y la salida.

El control en cascada se utiliza principalmente para eliminar el efecto de perturbaciones en la variable manipulada y mejorar las características dinámicas de lazos de control en procesos compuestos por subprocesos.

⁹ López, I., Dinámica y control de procesos, “*Estrategias de control avanzado*”, Recuperado de

https://www.fing.edu.uy/iq/cursos/dcp/teorico/18_OTROS_SISTEMAS_DE_CONTROL.pdf

Básicamente el esquema de control en cascada involucra un lazo de control (interno o secundario) dentro de otro (externo o primario). La estructura del esquema muestra un controlador primario en el lazo primario y un controlador secundario en el lazo secundario.

El objetivo del lazo secundario es atenuar el efecto de la perturbación antes de que llegue a afectar significativamente la variable de salida.

Para que el sistema sea lo más insensible posible a las perturbaciones, es necesario que el lazo secundario sea más rápido que el primario. Esto es, la suma de las constantes de tiempo del lazo secundario debe ser menor que la suma de las constantes de tiempo del lazo primario.

Una desventaja del control feedback es que debe existir una señal de error para que ocurra una actuación. El control feedforward mejora este aspecto, particularmente importante cuando están involucradas constantes de tiempo grandes o delays. No obstante el feedforward requiere medir las perturbaciones en forma explícita, y además un modelo para calcular la salida del controlador. Una alternativa es usar un segundo punto de medida y un segundo controlador feedback (esclavo), que recibe la indicación del setpoint del controlador maestro. Por ejemplo, para un tanque agitado:

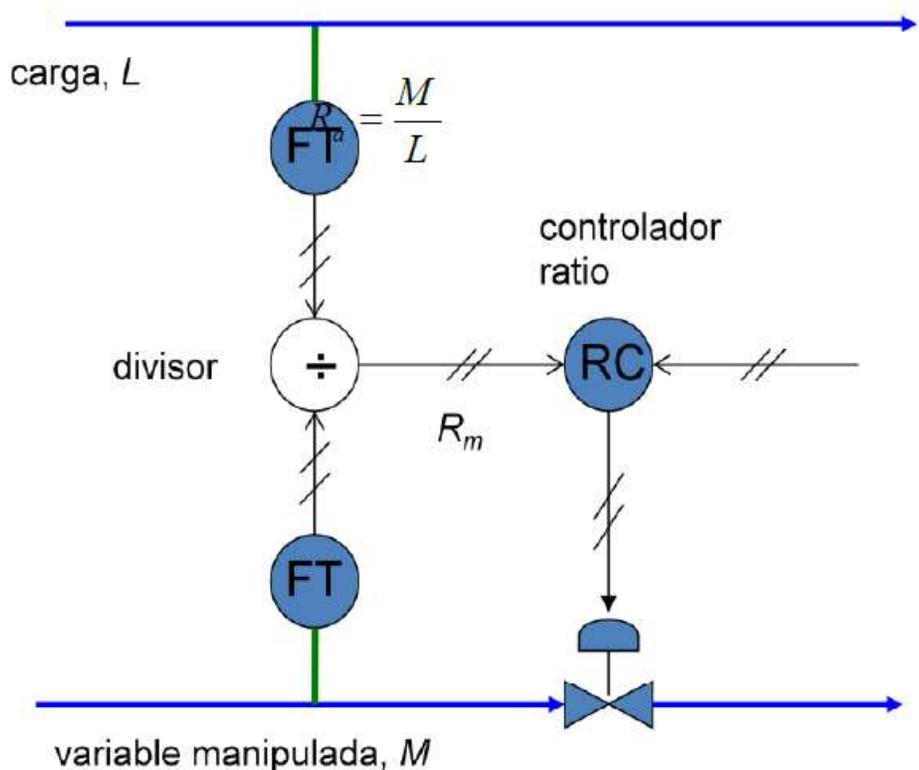
2.5.3.3. Control de relación

También llamado cascada en lazo abierto. Busca asegurar que dos o más caudales mantengan la misma relación aun cuando los mismos cambien. Es usado en aplicaciones como mezclas con una composición definida (neutralización de efluentes ácidos, mezclas aire/gas) o con propiedades físicas especificadas.

Es un tipo particular de control feedforward en donde el objetivo de control es la relación entre dos variables de proceso (ejemplo mantener determinada relación de mezcla, mantener relación estequiométrica de reactantes, mantener determinada relación de recirculación, mantener determinada relación de aire/combustible).

Se define la relación entre la variable manipulada y la carga:

Figura 27. Control de relación por divisor



Fuente: López Moreda, Dinámica y control de procesos, Pág. 4

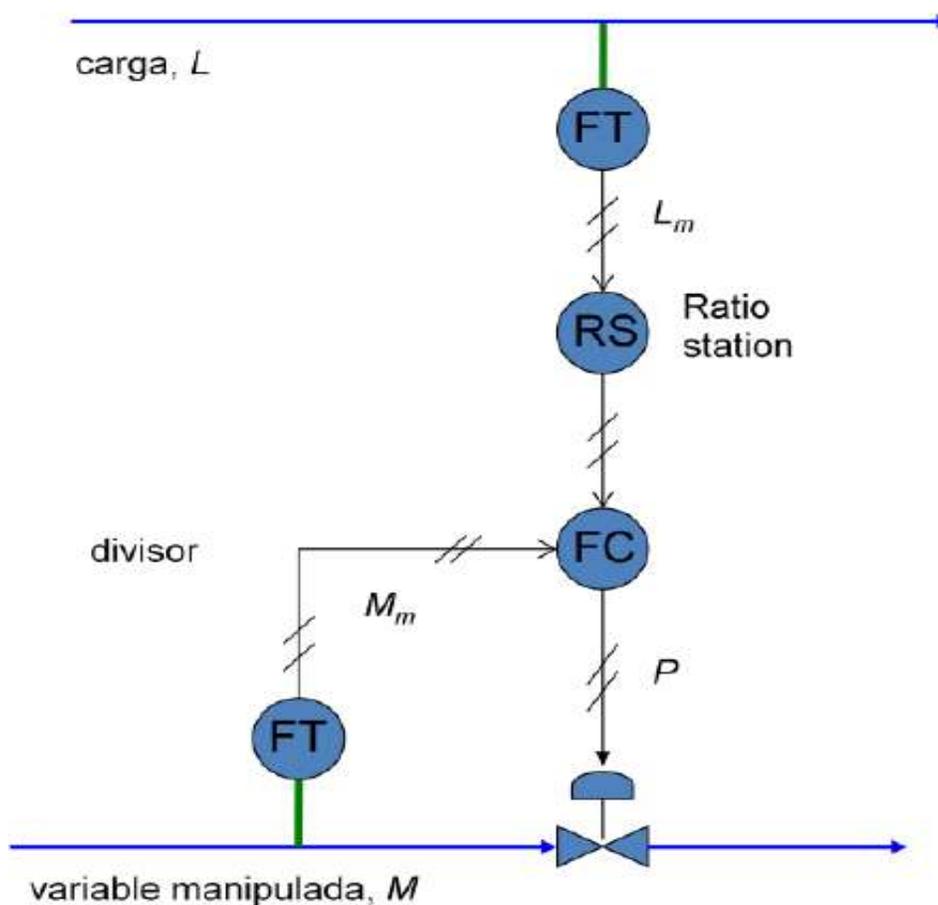
Hay que usar un divisor, que calcula la relación entre las variables medidas R_m , señal que se envía a un controlador PI. Esto implica que la ganancia del proceso es variable en forma no lineal con la carga.

$$K_p = \left(\frac{\partial R_a}{\partial M} \right)_L = \frac{1}{L}$$

Ecuación 2.5

Otra alternativa es la siguiente disposición: la “Ratio Station” multiplica la señal medida de la carga por un factor o ganancia ajustable K_R . La salida de esta “estación” es el setpoint del controlador.

Figura 28. Control de relación por multiplicador



Fuente: López Moreda, Dinámica y control de procesos, Pág. 4

$$K_R = R_d \frac{K_m}{K_l}$$

Ecuación 2.6

Donde K_m y K_l son los rangos (spans) de los transmisores de flujo de la variable manipulada y la carga respectivamente. Si se usaran orificios como medidores de presión la ganancia tendría que ser proporcional a R_d .

2.5.3.4. Control adaptativo

En este tipo de control los parámetros del controlador se ajustan automáticamente frente a cambios en las condiciones operativas del proceso. Puede usarse por ejemplo frente a: abordaje de

intercambiadores, condiciones inusuales de operación (paradas, arranques, sistemas en batch), perturbaciones grandes y frecuentes, grandes variaciones ambientales, cambios en las especificaciones de los productos, fuerte comportamiento no lineal.

Si se puede anticipar el cambio, entonces se puede recurrir a la adaptación programada. De lo contrario se recurre a controladores autoajustables (self-tuning).

2.5.3.5. Control selectivo

Existen selectores que permiten transferir el control de un bucle a otro cuando se supera cierto límite, accionando sobre el mismo actuador. Se aplica mucho cuando están en juego razones de seguridad.

2.5.3.6. Control inferencial

Hay ciertos casos en que la variable a controlar no puede medirse en línea. Sin embargo puede recurrirse a una estimación en base a cierta relación fisicoquímica o a cierto modelo. Por ejemplo, en una destilación la composición del producto no puede medirse en línea pero se recurre a medir la temperatura y en función de ello (por ejemplo usando la regla de las fases de Gibbs) inferir la composición. Cuando es en base a un algoritmo suele hablarse de “observadores” o “software sensores”.

2.5.3.7. Control override

El control override es una técnica mediante la cual las variables de proceso son mantenidas dentro de ciertos límites, usualmente con propósitos de protección. Existen otros esquemas de control más extremos orientados a la parada de la planta para enfrentar estados de disfunción grave de los equipos. El control override no es tan drástico y mantiene el proceso en operación pero dentro y bajo condiciones seguras.

2.5.3.8. Control dúplex o de rango medio

La señal de control acciona dos elementos finales de control alternativamente, dependiendo del rango en que se encuentre la señal de error.

2.5.3.9. Método de sintonización ¹⁰

La figura 2.34 muestra el control PID de una planta. Si se puede obtener un modelo matemático de la planta, es posible aplicar diversas técnicas de diseño con el fin de determinar los parámetros del controlador que cumpla las especificaciones en estado transitorio y en estado estable del sistema en lazo cerrado. Sin embargo, si la planta es tan complicada que no es fácil obtener su modelo matemático, tampoco es posible un enfoque analítico para el diseño de un controlador PID. En este caso, debemos recurrir a los enfoques experimentales para la sintonización de los controladores PID.

El proceso de seleccionar los parámetros del controlador que cumplan con las especificaciones de desempeño se conoce como sintonización del controlador. Ziegler y Nichols sugirieron más reglas para sintonizar los controladores PID (lo cual significa establecer valores K_p , T_i y T_d) con base en las respuestas escalón experimentales o basadas en el valor de K_p que se produce en la estabilidad marginal cuando sólo se usa la acción de control proporcional. Las reglas de Ziegler-Nichols, que se presentan a continuación, son muy convenientes cuando no se conocen los modelos matemáticos de las plantas. (Por supuesto, estas reglas se aplican al diseño de sistemas con modelos matemáticos conocidos.)

Reglas de Ziegler-Nichols para sintonizar controladores PID. Ziegler y Nichols propusieron unas reglas para determinar los valores de la ganancia proporcional K_p , del tiempo integral T_i y del tiempo derivativo T_d , con base en las características de respuesta transitoria de una planta

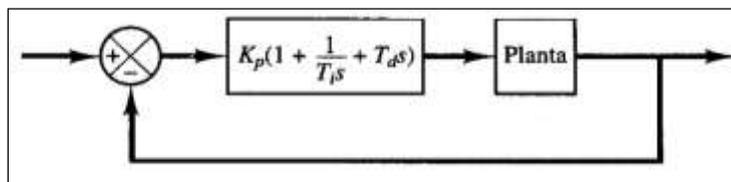
¹⁰ Katsuhiko Ogata, Ingeniería de control moderna, “Método de sintonización”, Pág. 568 al 570, 2010.

específica. Tal determinación de los parámetros de los controladores PID o de la sintonización de los controles PID la realizan los ingenieros en el sitio mediante experimentos sobre la planta. (Se han propuesto numerosas reglas de sintonización para los controladores PID desde la propuesta de Ziegler-Nichols Se les encuentra en la literatura, Sin embargo, aquí sólo presento las reglas de sintonización de Ziegler-Nichols.)

Existen dos métodos denominados reglas de sintonización de Ziegler-Nichols. En ambos se pretende obtener un 25% de sobrepaso máximo en la respuesta escalón (véase la Figura 31).

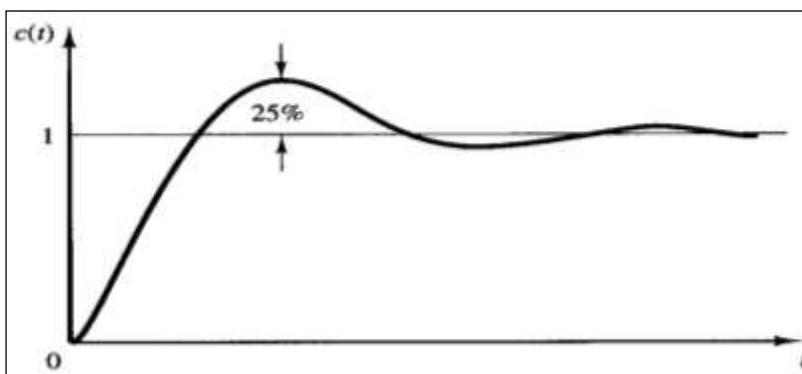
Primer método. En el primer método, la respuesta de la planta a una entrada escalón unitario se obtiene de manera experimental, como se observa en la Figura 32.

Figura 29. Control PID de una planta



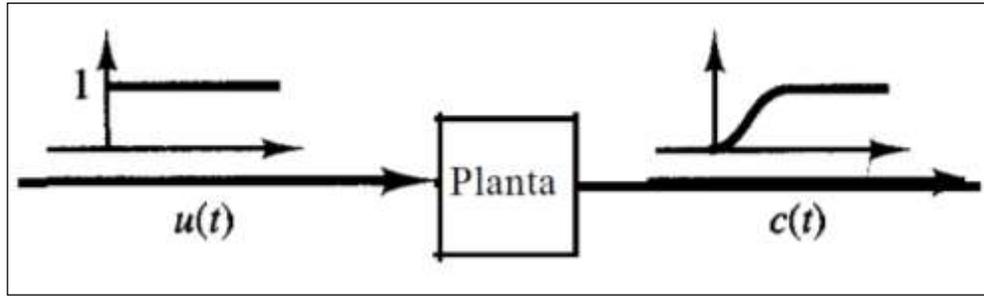
Fuente: Katsuhiko Ogata, Ingeniería de control moderna, Pág. 568

Figura 30. Curva de respuesta del escalón unitario que muestra un sobrepaso de 25%.



Fuente: Katsuhiko Ogata, Ingeniería de control moderna, Pág. 568

Figura 31. Respuesta del escalón unitario de la Planta



Fuente: Katsuhiko Ogata, Ingeniería de control moderna, Pág 569

Si la planta no contiene integradores ni polos dominantes complejos conjugados, la curva de respuesta escalón unitario puede tener forma de S, como se observa en la Figura 32. (Si la respuesta no exhibe una curva con forma de S, este método no es pertinente.) Tales curvas de respuesta escalón se generan experimentalmente o a partir de una simulación dinámica de la planta.

La curva con forma de S se caracteriza por dos parámetros: el tiempo de retardo Θ y la constante de tiempo T. El tiempo de retardo y la constante de tiempo se determinan dibujando una recta tangente en el punto de inflexión de la curva con forma de S y determinando las intersecciones de esta tangente con el eje del tiempo y la línea $c(t) = K$, como se aprecia en la Figura 33. En este caso, la función de transferencia $C(s)/U(s)$ se aproxima mediante un sistema de primer orden con un retardo de transporte del modo siguiente:

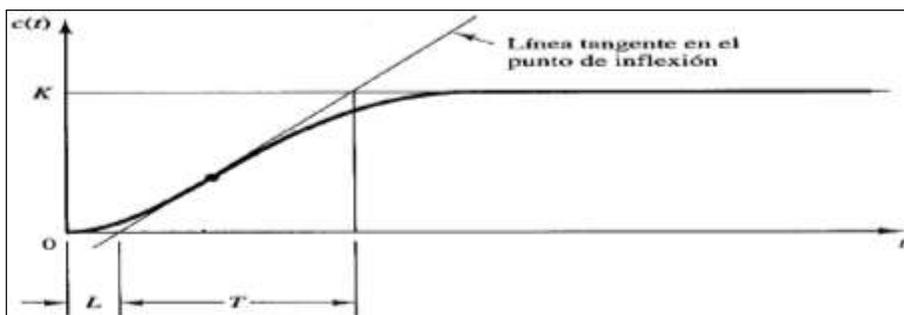
$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{K \times e^{-\Theta s}}{Ts + 1}$$

Ecuación 2.8

Ziegler y Nichols sugirieron establecer los valores de K_p , T_i y T_d de acuerdo con la fórmula que aparece en la Tabla 11

Observe que el controlador PID sintonizado mediante el primer método de las reglas de Ziegler – Nichols produce:

Figura 32. Curva de respuesta con forma de S.



Fuente: Katsuhiko Ogata, Ingeniería de control moderna, Pág. 569

Tabla 11
Regla de sintonización de Ziegler – Nichols

$\frac{Ke^{-\theta s}}{\tau s + 1}$	Kc	Ti	Td
P	$\frac{1}{K} * \left(\frac{\tau}{\theta}\right)$	-	-
PI	$\frac{0.9}{K} * \left(\frac{\tau}{\theta}\right)$	3.33θ	-
PID	$\frac{1.2}{K} * \left(\frac{\tau}{\theta}\right)$	2θ	0.5θ

Fuente: Katsuhiko Ogata, Ingeniería de control moderna, Pág. 570

$$G_c = Kc \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s\right) \quad \text{Ecuación 2.9}$$

$$= 1.2 \frac{T}{k\theta} \left(1 + \frac{1}{2\theta s} + 0.5\theta s\right) \quad \text{Ecuación 2.10}$$

CAPÍTULO III

TRABAJOS RELACIONADOS

TESIS: MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA DE UNA PLANTA DE ALIMENTO
BALANCEADO CON CAPACIDAD DE 3 tn / h

AUTOR: JORGE LUIS SALAZAR CASTRO

LIMA-PERÚ, 2008

RESUMEN

La finalidad del presente trabajo permitirá conocer el proceso para realizar el montaje y la puesta en marcha de planta de alimento balanceado, se evalúa criterios teóricos prácticos para la realización del diseño de planta, el grado de conocimiento y experiencia es fundamental para llevar correctamente la ejecución de un proyecto. Se debe considerar durante las etapas de montaje criterios de orden técnico económicos como la disponibilidad para alquilar maquinaria y/o herramientas que simplifiquen el trabajo de las personas, pero sin que esto afecte el presupuesto

ya elaborado; debemos evaluar alternativas de solución y finalmente establecer procedimientos de trabajo para poder conocer al detalle qué actividades desempeñará cada persona durante una etapa de montaje de equipos, para disminuir el riesgo y trabajar de forma más segura. Se mencionan actividades básicas donde el montajista mecánico deberá estar presente, para ajustar las tolerancias que ocurren durante las obras civiles, como la colocación de los anclaje tipo “U” o tipo “J”, que trae como consecuencia dificultades durante la etapa de montaje, por falla de tolerancias entre los anclajes y las placas o bases de montaje metálicos de las maquinas o estructuras. Finalmente durante la etapa de arranque y puesta en marcha verificaremos la capacidad real de los equipos, no siempre obtendremos valores iguales a los teóricos por lo cual durante esta etapa iremos incrementando progresivamente la carga hacia la maquinaria e iremos verificando los amperajes en los motores para evitar sobrecargarlos. Se realizarán pruebas de calidad en el alimento que es el objetivo principal de la planta. No se quiere analizar detalladamente cada proceso que de por sí ya es complejo, como: adición de vapor seco al acondicionador, sistema de secado, sistema de molienda, sistema de mezclado, sino ver la instalación de maquinaria en la planta de forma general, ver el proceso como un todo y hacer mención a los puntos más relevantes como estudio de suelos para las obras civiles, algunas formas de montar maquinaria y tolvas, procedimientos para arranque y puesta en marcha con la posterior calibración de la maquinaria.

**TESIS: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA DE ALIMENTOS
BALANCEADOS PARA LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI**

AUTOR: FERNANDO LUIS ARBE FALCÓN

LIMA-PERÚ, 2010

RESUMEN

La presente Tesis consistió en el diseño, construcción, puesta en operación y posterior ensayo de una Planta de Alimentos balanceados a partir de máquinas adquiridas y un edificio construido por la Universidad Nacional de Ucayali. La ubicación de la planta es en el campus universitario. Los fines para los cuales se concibió la planta fueron productivos, de investigación, de capacitación y de promoción. Tal diversidad de fines exigió una metódica identificación de términos de referencia para el diseño y construcción.

Este trabajo aprovechó los recursos de la Región, especialmente el empleo de maderas tropicales en la construcción de estructuras. Así como el empleo de los recursos tecnológicos de la localidad, lográndose la construcción de todos los componentes de la Planta –con excepción de las máquinas- en la ciudad de Pucallpa.

TESIS: ANÁLISIS Y PROPUESTA DE MEJORA DEL PROCESO PRODUCTIVO DE UNA LÍNEA DE FIDEOS EN UNA EMPRESA DE CONSUMO MASIVO MEDIANTE EL USO DE HERRAMIENTAS DE MANUFACTURA ESBELTA.

AUTOR: JOSÉ MIGUEL RAMOS FLORES

LIMA-PERÚ, 2012

RESUMEN

El presente trabajo surge de la necesidad de mejorar el proceso productivo de elaboración de fideos dentro de la empresa en estudio, mediante uso de herramientas de la filosofía de manufactura esbelta, con el objetivo de optimizar sus procesos y garantizar su supervivencia, en un mercado tan competitivo y cambiante en la cual la empresa y demás empresas manufactureras están inmersas, a través de la sistematización de la eliminación de los desperdicios y problemas presentes en dicho proceso. El objetivo de este trabajo de investigación es analizar la situación actual de la empresa en estudio y mediante ello, proponer la implementación de las herramientas de manufactura que le permita mejorar la calidad de sus productos, reducir el tiempo de entrega y responder de manera rápida a las necesidades cambiantes del cliente, para así poder mejorar su competitividad en el mercado y mejorar la satisfacción del cliente. El presente trabajo de investigación empieza con una breve descripción de la empresa en estudio, los productos que ofrecen, los procesos necesarios para la elaboración de fideos y los principales indicadores del área de producción y mantenimiento. Luego de identificar los principales procesos productivos, se procedió a priorizar las herramientas de manufactura esbelta 5S y uno de los pilares más importantes del TPM, el mantenimiento autónomo, para así poder atacar y eliminar los principales desperdicios identificados en el mapa de flujo de valor de manera sistemática. A continuación se evalúa el impacto económico del uso de las herramientas que han sido seleccionadas, a través de

la identificación de los costos y beneficio económico que brindará a la empresa en estudio, a través de su correcta implementación. Finalmente, se exponen las conclusiones de la propuesta de implementación de las herramientas de manufactura esbelta seleccionadas y las recomendaciones para el sostenimiento y correcta implementación de las herramientas mencionadas en líneas anteriores dentro de la empresa en estudio.

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DEL PROYECTO

DISEÑO DEL MÓDULO PARA EL PROCESO DE FORMULACIÓN

A continuación, se describe el desarrollo de la propuesta del prototipo en base a los objetivos.

4.1 CONSIDERACIONES DEL PROTOTIPO

Se requiere diseñar un prototipo de flujo de 10 kg/h. Contaremos con dos transportadores de cinta, llevando simultáneamente el producto hacia una tolva de recepción; el producto a utilizar será arena fina, la que tiene una densidad de 1500 kg/m^3 . Para el transporte del producto se utilizará dos motores, por medio de los cuales se controlará el flujo. Se utilizarán dos sensores de flexión en la descarga para controlar la relación del peso del material. Para el abastecimiento se utilizará dos tolvas, las que se hallarán montadas en los transportadores de cinta.

4.2 DISEÑO MECÁNICO

4.2.1 Dimensionamiento de la cinta transportadora

- **Selección del ancho-velocidad más apropiado**

Para llevar a cabo la selección final del ancho mínimo de banda se tomará de forma parcial un valor que cumpla con las consideraciones teóricas desarrolladas en el apartado 2.3 (cumpliendo con la granulometría y el tipo del material). De esta forma, se puede establecer una primera aproximación, para que más tarde se pueda ajustar este ancho de banda al valor correcto, considerando la capacidad a transportar. Para ello, según la Tabla 12 se selecciona el valor del ancho de banda mínimo y el valor de velocidad máxima que cumpla con las condiciones de abrasividad y peso específico del material.

El ancho de nuestra banda es de 7 cm y la velocidad se calculará relacionando los valores de la Tabla 12.

Si el ancho de banda de 400 mm tiene una velocidad de 2,62 m/s, entonces hallaremos una relación para un ancho de banda de 70 milímetros y poder calcular la velocidad:

Tabla 12
Ancho y velocidad para una cinta transportadora

Ancho mínimo de Banda (mm)	Tamaños máximos (mm)		Velocidad máxima en m/s			
	Uniforme	Mixto	A	B	C	D
400	50	100	2,62	2,09	2,09	1,31
500	75	150	2,62	2,62	2,09	1,68
650	125	200	3,35	2,62	2,62	1,68
800	170	300	3,35	3,35	2,62	2,09
1000	250	400	4,19	3,35	3,35	2,09
1200	350	500	4,19	3,35	3,35	2,62
1400	400	600	4,19	3,35	3,35	3,35
1600	450	650	4,19	4,19	3,35	3,35
1800	500	700	4,19	4,19	3,35	3,35
2000	550	750	5,24	4,19	3,35	3,35
2200	600	800	5,24	5,24	4,19	4,19

A.-Materiales ligeros deslizables, no abrasivos con peso específico de 0,5-1 T/m³

B.- Materiales no abrasivos o muy poco abrasivo con tamaño medio, peso específico de 1-1,5 T/m³

C.- Materiales medianamente abrasivos y pesados, con peso específico de 1,5 a 2 T/m³

D.- Materiales muy abrasivos pesados y cortantes, peso específico mayor a 2 T/m³

Fuente: Tomado de Salinero, M. (2013). Diseño de una faja transportadora transportadora mediante Guide de Matlab [Tesis]. Madrid: Ingeniería Industrial. Universidad Carlos III de Madrid.

$$v \text{ del prototipo} = \frac{\text{ancho de banda del prototipo} * \text{velocidad de banda normalizada}}{\text{ancho de banda normalizada}}$$

$$v \text{ del prototipo} = \frac{70 * 2,62}{400}$$

$$v \text{ del prototipo} = 0,45 \text{ m/s}$$

- **Disposición de los rodillos**

La disposición de los rodillos, dependerá del uso para el que está destinada la banda transportadora. Dicha configuración, afectará principalmente al cálculo de la sección transversal del material. A continuación, se detallan los cálculos llevados a cabo en el desarrollo del proyecto, se usará un rodillo plano para el módulo prototipo.

$$A = 0,25 * \tan(\beta) * [l + (b - l) * \cos(\lambda)]^2$$

Siendo:

$$b = 0.9.B - 0.05 \quad \text{Si } B \leq 2000 \text{ mm}$$

$$b = B - 0.25 \quad \text{Si } B > 2000 \text{ mm}$$

Donde:

A1: Sección transversal del material, zona superior [m²]

β : Ángulo de sobrecarga [°]

λ : Ángulo de artesa [°]

L: longitud de los rodillos [m]

B: Ancho de banda [m]

Con las siguientes consideraciones, se comenzará a calcular la sección transversal:

Se considera un ángulo de artesa de $\lambda=35^\circ$

Se considera un ángulo de sobrecarga de $\beta=5^\circ$

Los rodillos tienen una longitud de 0,06 m

El ancho de banda es de 0,07 m

Para el cálculo de b tenemos un ancho de banda de 0,07 m, la cual remplazaremos en la fórmula
 $b=0,9*0,07-0,05=0,013$

$$A = 0,25x \tan(\beta) x[l + (b - l)x \cos(\lambda)]^2$$

$$A = 0,25x \tan(5) x[0,06 + (0,013 - 0,06)x \cos(35)]^2$$

$$A = 1,011x10^{-5}$$

Para calcular la sección transversal del material, se utilizará la ecuación:

$$Q = 3600 * V * A * \gamma * K$$

Para ello tomaremos un $Q = 10\text{kg/h} = 0,01 \text{ t/h}$, la velocidad será la obtenida anteriormente

$v = 0,45 \text{ m/s}$, el peso específico $\gamma = 1500 \text{ kg/m}^3 = 1,5 \text{ t/m}^3$ y el $K= 1$ ya que no habrá inclinación

$$0,01 = 3600 * 0,45 * A * 1,5 * 1$$

$$A = \frac{0,01}{3600 * 0,45 * 1,5 * 1}$$

$$A = 4,12x10^{-6}$$

$$Q = 3600 * V * A * \gamma * K$$

$$Q = 3600 * 0,45 * 4,12 * 10^{-6} * 1,5 * 1$$

$$Q = 0,01 \text{ t/h}$$

$$Q = 10 \text{ kg/h}$$

- **Determinación de la capacidad de transporte de la banda**

La capacidad volumétrica de la banda transportadora está determinada por el área de la sección transversal de la carga que puede ser apilada encima de la cinta, sin ocasionar derrame del material,

ni pequeñas ondulaciones de la banda a su paso sobre los rodillos. Esta área de la sección transversal, se ve afectada por las características del material y depende en mayor medida del ángulo de sobrecarga.

Para el cálculo de la capacidad real de la banda, se debe tener presente los siguientes puntos:

Deben observarse las limitaciones en cuanto el ancho de la banda, debido al tamaño de grano máximo del material que se transporta, de acuerdo a la Tabla 12.

Deben observarse las limitaciones en cuanto a la velocidad de la banda en función del tipo de material y del ancho de la cinta, estando estos valores tabulados en la Tabla 12.

La forma y ubicación de la guía de carga y de la tolva en el punto de alimentación del material deben ser correctamente escogidas, para permitir la mayor ventaja inicial en cuanto a la forma de reposo del material, de tal manera que este ocupe el mayor espacio posible en el ancho de la banda.

La banda debe ser alimentada de tal manera que el punto de carga se ubique en el centro de la banda y con una pendiente no mayor a 8° en dicho punto.

El espaciamiento de los rodillos superiores debe ser apropiado de acuerdo a la tensión de la banda, para minimizar la vibración de la misma. Esto evitará un posible derrame del material.

Si se tienen tamaños de granos cerca del límite de ancho de la banda, es necesario colocar deflectores del material en la guía de carga para reubicar dicho material.

Una vez considerado todos los puntos anteriores, conocida el área de la sección transversal del material y la velocidad de transporte de la banda; el valor de la capacidad volumétrica de transporte se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Qv = 3600 * v * A * k$$

Donde:

Qv = Capacidad [m^3/h]

V= Velocidad [m/s]

A= Sección transversal del material sobre la banda [m²]

K= Coeficiente de reducción de capacidad por inclinación

Con los valores obtenidos anteriormente, calcularemos la capacidad volumétrica:

$$Qv = 3600 * v * A * k$$

$$Qv = 3600 * 0,45 * 4,12 * 10^{-6} * 1$$

$$Qv = 0,007 \text{ m}^3/\text{h}$$

La capacidad de transporte en toneladas por hora, se obtiene multiplicando la capacidad volumétrica por el peso específico del material transportado.

$$Qm = \gamma * Qv$$

Donde:

Qm: Capacidad de transporte de la banda [T/h]

Qv: Capacidad volumétrica de la banda [m³/h]

γ : Peso específico del material transportado [t/m³]

Con los valores obtenidos, calcularemos la capacidad de transporte de la banda:

$$Qm = \gamma * Qv$$

$$Qm = 1,5 * 0,007$$

$$Qm = 0,0105 \text{ t/h}$$

$$Qm = 10,5 \text{ kg/h}$$

4.2.2 Dimensionamiento del silo

Los silos que se van a diseñar tienen que ser capaces de almacenar cualquier tipo de granos, ya sea esto maíz, arroz, cebada, haba, trigo, cereales, etc.

Esto debe cumplir con ciertas condiciones como:

- Manejo del microclima dentro del silo.
- Permitir que el producto conserve sus características, sin perder sus nutrientes.
- Forma del silo

El diseño del silo a utilizar en la maqueta es el más utilizado en el país y en el mundo, su diseño básico es de un cilindro con cono en la punta para tener un mejor aprovechamiento a la hora del llenado o vaciado.

4.2.2.1 Dimensiones del silo

Cálculo del silo:

Para diseñar el silo hay que tomar en cuenta la relación entre la altura / diámetro < 1,5, para tener una mejor circulación de aire.

$$\frac{\text{Altura total}}{\text{diámetro}} < 1,5$$

Se divide en dos partes al silo:

Cilindro: Se calcula el volumen del cilindro asumiendo un radio de 15 cm.

Datos:

Altura: 15 cm (asumido)

Radio: r=10 cm (asumido)

$$V = \pi r^2 h$$

$$V = \pi * 10^2 * 15$$

$$V = \pi * 1500$$

$$V = 4712,38 \text{ cm}^3$$

Conos truncados: Se calcula el volumen en el cono asumiendo el radio que es de 15 cm. La altura es de 8 cm.

Datos

Radio: $R= 10$ cm (asumido), $r=2.5$

Altura: $hc= 8$ cm (asumido)

$$Vc = \frac{1}{3}\pi h(R^2 + r^2 + Rr)$$

$$Vc = \frac{1}{3}\pi 8(10^2 + 2,5^2 + 10 * 2,5)$$

$$Vc = 1099,55 \text{ cm}^3$$

El volumen total del silo es:

$$Vt = V_{cilindro} + V_{cono}$$

$$Vt = 4712,38 \text{ cm}^3 + 1099,55 \text{ cm}^3$$

$$Vt = 5811,38 \text{ cm}^3$$

Tendrá un ángulo de inclinación de 70° .

Cálculo de la cantidad a ensilar

Se determinará la cantidad de producto que se podrá almacenar en los silos. Para calcular el volumen de un grano almacenado, se utilizará el peso específico de la arena fina que es de 1500 kg/m^3 .

Para determinar el volumen que ocupa el silo diseñado, se utilizará la fórmula del peso específico:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Datos:

Volumen silo:

Peso específico de la arena fina $\rho=1500 \text{ kg/m}^3$

$$\rho = 1500 \frac{kg}{m^3} \left| \frac{1m^3}{1000000cm^3} \right| \frac{2.2 lib}{1 kg} = 0,0033 \frac{lib}{cm^3}$$

Cálculo de la masa

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = \rho V$$

$$m = 0,0033 \frac{lib}{cm^3} * 5811.38 cm^3$$

$$m = 19,18 lib$$

4.2.3 Cálculo de la potencia del motor

Los esfuerzos a los que está sometida la banda transportadora en funcionamiento varían a lo largo de su recorrido y se debe conocer la potencia necesaria para mover la cinta en vacío y la potencia necesaria para mover la cinta cargada con desplazamiento horizontal. Esto se corresponde con el esfuerzo necesario para vencer el rozamiento producido por los rodillos y por el peso de la banda cuando va cargada.

$$P = \frac{Cb \cdot v + Qm}{Cl \cdot kf}$$

De acuerdo con la Tabla 13, usaremos el valor del ancho de banda de 300 mm con un peso específico menor de 1 tonelada por metro cúbico; el cual tendrá un Cb de 31, para relacionarlo con nuestro ancho de banda y poder calcular el factor de ancho de banda Cb.

Ancho de banda en relación al peso específico

Tabla 13

Ancho de banda en relación al peso específico

		Ancho de Banda [mm]										
Peso específico γ		300	400	500	650	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
[TN/m ³]												
$\gamma \leq 1$		31	54	67	81	108	133	194	227	291	-	-

$1 < \gamma \leq 2$	36	59	76	92	126	187	277	320	468	554	691
$\gamma > 2$	-	65	86	103	144	241	360	414	644	727	957

Fuente: Tomado de Salinero, M. (2013). Diseño de una faja transportadora transportadora mediante Guide de Matlab [Tesis]. Madrid: Ingeniería Industrial. Universidad Carlos III de Madrid.

$$Cb = \frac{\text{ancho de banda del prototipo} \times Cb \text{ normalizado de la tabla}}{\text{ancho de banda normalizada}}$$

$$Cb = \frac{70 \times 31}{300}$$

$$Cb = 7,23$$

De acuerdo con la Tabla 14, usaremos el valor de longitud de 3 m con un factor Cl de 667, para relacionarlo con la longitud de banda de nuestro módulo y poder calcular el factor de longitud de banda Cl.

Factor de longitud de banda en relación al ancho de banda

Tabla 14

Factor de longitud de banda en relación al ancho de banda

Longitud [m]	3	4	5	6	8	10	1,5	16	20
Cl	667	625	555	526	454	417	370	323	286
Longitud [m]	25	32	40	50	63	80	90	100	150
Cl	250	222	192	167	145	119	109	103	77
Longitud [m]	200	250	300	350	400	450	500	550	600
Cl	63	53	47	41	37	33	31	28	26
Longitud [m]	700	800	900	1000	1500	2000	>2000		
Cl	23	20	18	17	12	9	8		

Fuente: Tomado de Salinero, M. (2013). Diseño de una faja transportadora transportadora mediante Guide de Matlab [Tesis]. Madrid: Ingeniería Industrial. Universidad Carlos III de Madrid.

$$Cl = \frac{\text{longitud de banda del prototipo} \times Cl \text{ normalizado de la tabla}}{\text{longitud de banda normalizada}}$$

$$Cl = \frac{0,6 * 667}{3}$$

$$Cl = 133,4$$

Se considera una condición de trabajo normal para lo cual nuestro Kf será de 1.

Con los valores obtenidos, procedemos a calcular la potencia del motor:

$$P = \frac{Cb.v + Qm}{Cl.kf}$$

$$P = \frac{7,23 \times 0,45 + 0,095}{133,4 \times 1}$$

$$P = 0,025 \text{ cv}$$

P= 0,024 HP

P=17,9 W

Consume 17,9 W

Alimentación 12 V

Corriente

$$I = \frac{P}{V} = \frac{17,9}{12} = 1,49 \text{ A}$$

El motor que utilizaremos en nuestro proyecto tiene una potencia de

$$P = 12V * 3A = 36W$$

Suficiente para el funcionamiento ya que los cálculos obtenidos no sobrepasan este valor.

4.3 DISEÑO ELÉCTRICO

4.3.1 Tablero de distribución

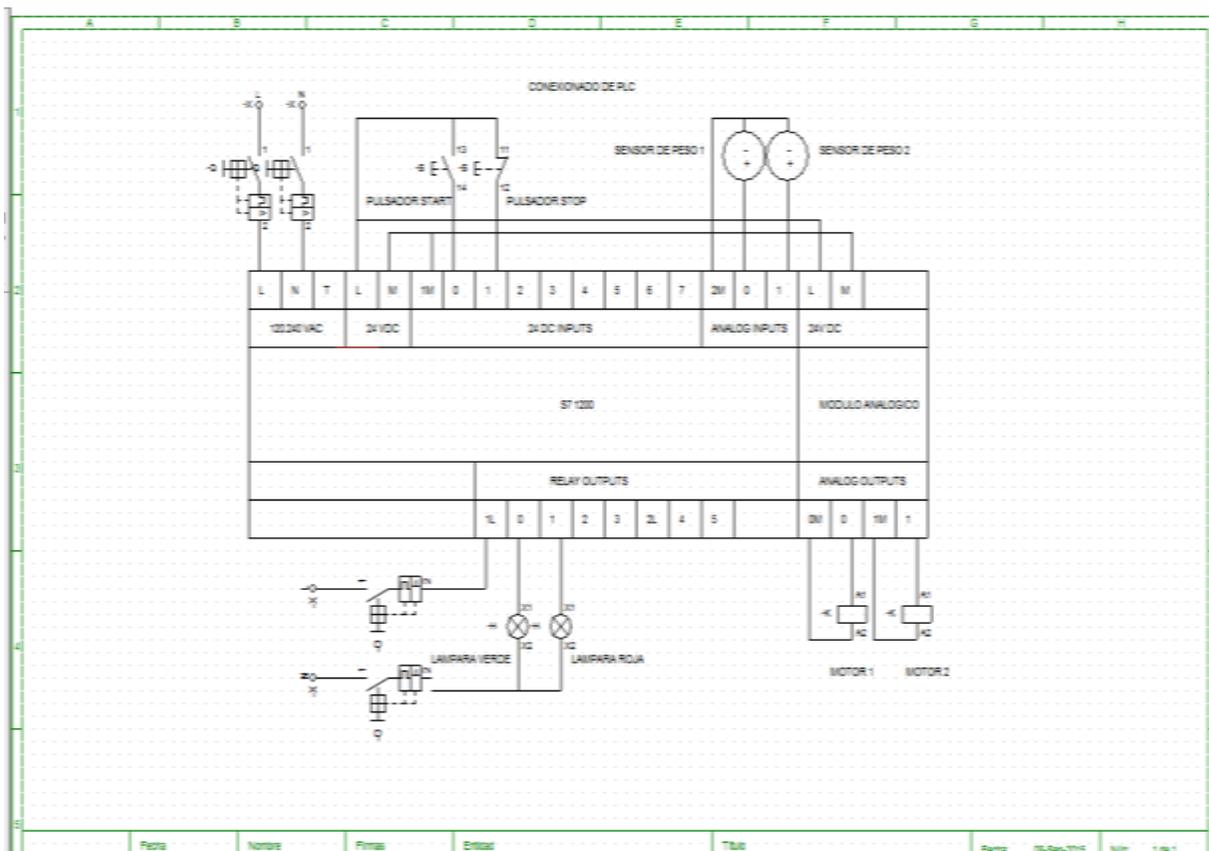
En el tablero de distribución, se tendrá en la parte principal los pulsadores START Y STOP, con los cuales se arrancará el proceso al pulsar START y se detendrá el proceso o se realizará una parada de emergencia en caso de algún problema en el prototipo, al pulsar STOP.

En la parte interna se encontrará la fuente de alimentación que alimentará a dos placas, la del regulador de voltaje, la que alimentará a los motores y también se tendrá el circuito de los sensores flexoresistivos y obtener salidas en voltaje.

4.3.2 Circuito de conexión al PLC y circuito de conexión al motor

En esta imagen se aprecia el diagrama de conexión del interruptor termomagnético, el cual va a proteger a los dispositivos: los pulsadores START y STOP, indicadores de arranque y parada del prototipo y lámparas indicadoras. El color verde indica que el proceso ha iniciado y el color rojo, que se ha detenido. También se aprecia los sensores de peso y los actuadores, que son los motores que controlarán el mecanismo de transporte, todos ellos están conectados al PLC, el cual muestra cómo serán las conexiones.

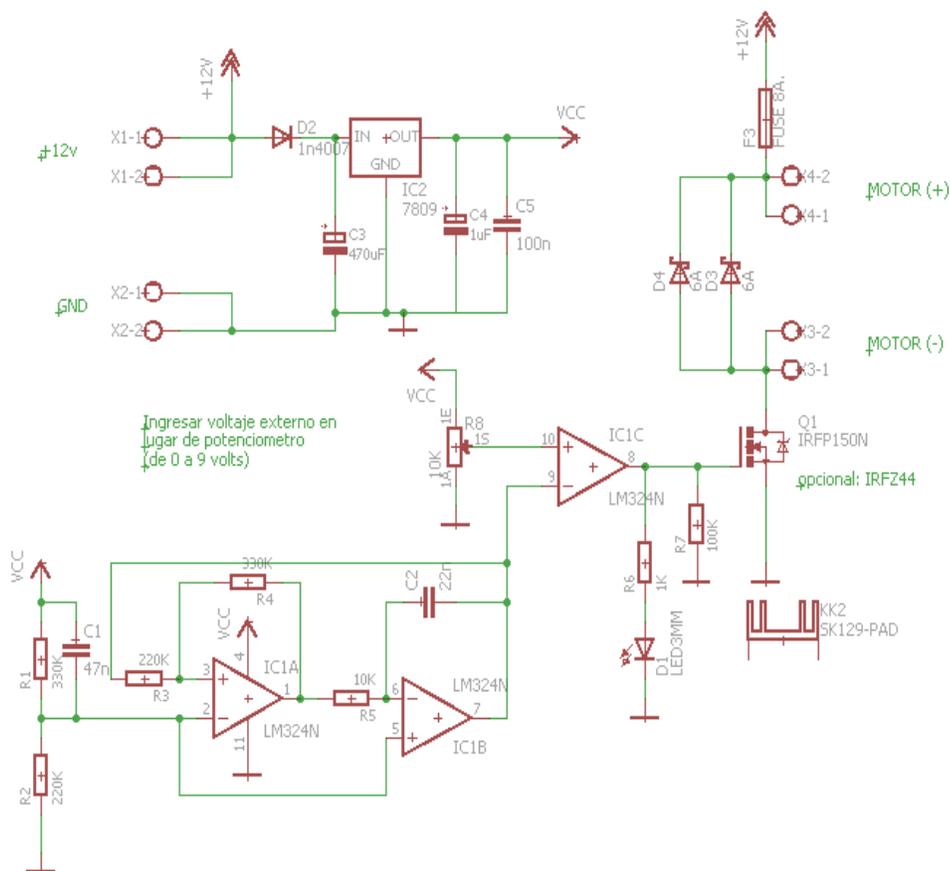
Figura 33. Esquema de conexión al PLC



Fuente: Elaboración propia

En esta imagen se muestra el esquema de conexión de los dispositivos para el control del motor a través de su ancho de pulso, el cual al variar el voltaje de 0 a 9 podrá variar la velocidad del motor.

Figura 34. Esquema del circuito de conexión para el control del motor



Fuente: Elaboración propia

4.4. DISEÑO DE LA INSTRUMENTACIÓN

4.4.1 Tarjeta de control del peso

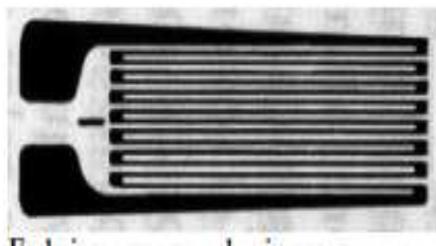
Para el diseño de instrumentación, se utilizará un sensor de flexión; este sensor cambia la resistencia en función del ángulo de curvatura que se emplea y convierte la variación de la curvatura a resistencia eléctrica; cuanto mayor sea la curva, mayor será el valor de la resistencia.

Se emplean usualmente en los guantes para detectar el movimiento del dedo; para controlar automóviles, productos de fitness, aparatos de medición, tecnología de asistencia, instrumentos musicales, entre otros.

El sensor será utilizado en la medición de materia transportada para obtener una relación, es decir, al caer una cantidad de materia al sensor y tanto mayor sea su flexión se producirá mayor resistencia; este valor de resistencia se transformará a un valor de voltaje, para luego ser fácilmente interpretado por el controlador a través de una entrada análoga. Por lo tanto, se utilizarán dos sensores de flexión, que serán las dos entradas analógicas hacia el controlador (Ver ficha técnica, Anexo A).

El sensor se ubicará sobre una base de plancha de acero inoxidable, la cual tendrá la forma de paleta y será utilizada para la recepción de la materia. Se escogió este material porque presenta una relación tensión-deformación, es decir, presenta una forma redondeada sin límite elástico definido. También porque el acero inoxidable puede absorber impactos considerables sin que sobrevenga la fractura, gracias a su excelente ductibilidad.

Figura 35. Sensor resistivo



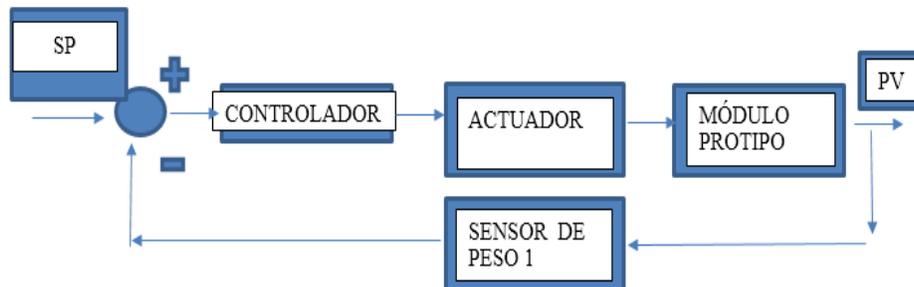
Fuente: Moreno Velasco, Sensores resistivos y su acondicionamiento

4.5. DIAGRAMA DE CONTROL DEL PROTOTIPO

4.5.1 Diagrama de bloques del sistema

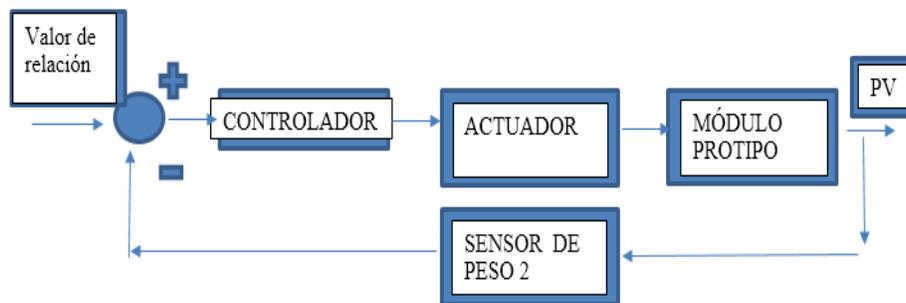
El diagrama que se muestra representa el proceso de formulación del módulo prototipo, en el cual tenemos una señal de set point (SP) que va a ser nuestro valor de referencia y lo enviaremos a nuestro control por relación; el control de relación que estamos utilizando es por multiplicación, es decir, tomaremos un valor el cual será multiplicado por una constante de relación, este valor es nuestro (SP), que será comparado con la señal de salida a través de nuestro sensor. Una vez comparado, la señal entrará el valor al controlador, que es nuestra variable de control (CV); el controlador se encargará de tomar decisiones para llegar al valor requerido y luego dar una orden al actuador, que es nuestra variable manipulada (MV). Luego de todos estos pasos se obtendrá la señal de salida, esta señal es nuestra variable de proceso (PV).

Figura 37. Diagrama de bloque del control de la tolva A



Fuente: Elaboración propia.

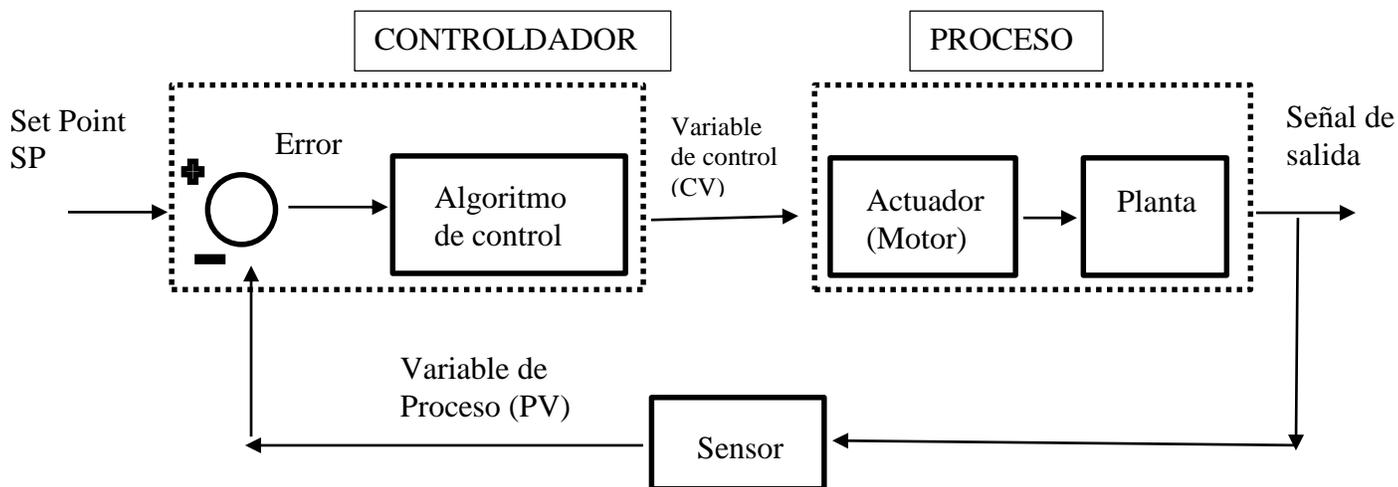
Figura 38. Diagrama de bloque del control de la tolva B



Fuente: Elaboración propia

4.5.2 Diagrama de control

Figura 39. Diagrama de bloques del control de relación del prototipo



Fuente: Elaboración propia

A) Valor de entrada o referencia SP

$$Sp(t) = R1 * Pa(t)$$

$Sp(t)$: Valor de entrada que representa la materia requerida de la tolva B.

$R1$: Constante de relación en la formulación del producto.

$Pa(t)$: Valor de materia que se requiere de la tolva A.

B) Sensor de peso

Genera una tensión $Sm(t)$ proporcional al peso medido a la salida $Y(t)$ por una constante Kp proporcional que amplificar el valor obtenido a la salida.

$$Sm(t) = Y(t) * Kp$$

C) Señal de error

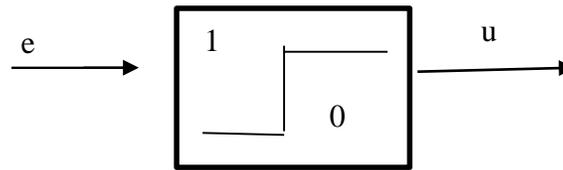
$$E(t) = Sp(t) - Sm(t)$$

$Sp(t)$: Valor de referencia setpoint.

$Sm(t)$: Señal entregada por el sensor que representa el peso de la materia de la tolva B.

D) Controlador

Figura 40. Controlador del proceso



Fuente: Elaboración propia

$$u(t) = \begin{cases} 1 & \text{Para } e(t) \geq 0 \\ 0 & \text{Para } e(t) < 0 \end{cases}$$

$u(t)$ = señal de salida del controlador.

$e(t)$: Señal de error entregada al controlador.

a : Valor de referencia del error para producir el cambio en la salida.

K_c : Constante que amplifica a la salida.

$$u(t) = K_c * u(e(t))$$

E) Señal de salida

$Y(t)$: valor proporcional a la materia que transporta la faja y descarga en el sensor de peso.

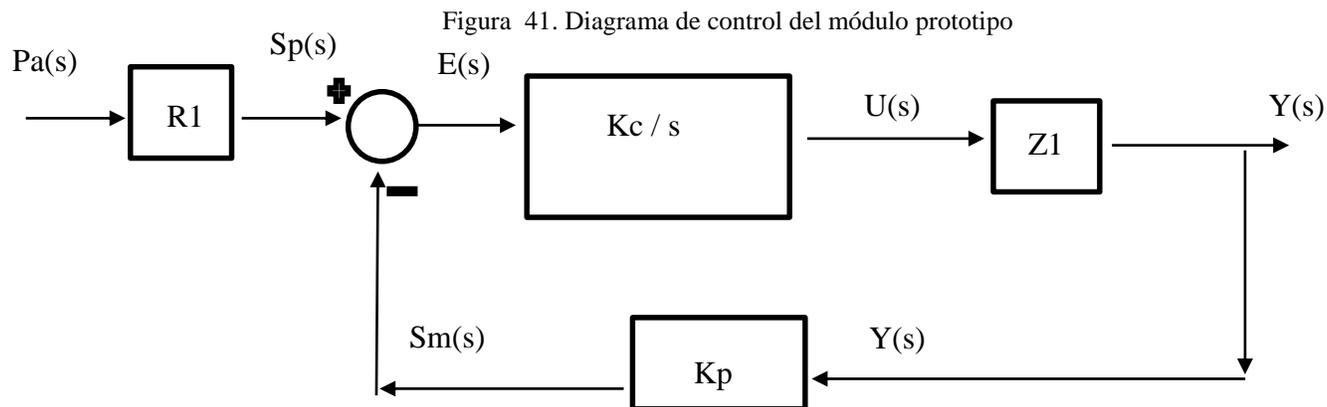
F) Proceso

$Z1$: Variable que representa el proceso de la planta, toma el valor de uno por que no altera el valor de entrada del controlador.

4.5.2.1 Sistema expresado en transformada de Laplace

- $S_p(s) = R1 * P_a(s)$
- $S_m(s) = Y(s) * K_p$
- $E(s) = S_p(s) - S_m(s)$
- $U(S) = K_c / s$

A) Diagrama de control del sistema



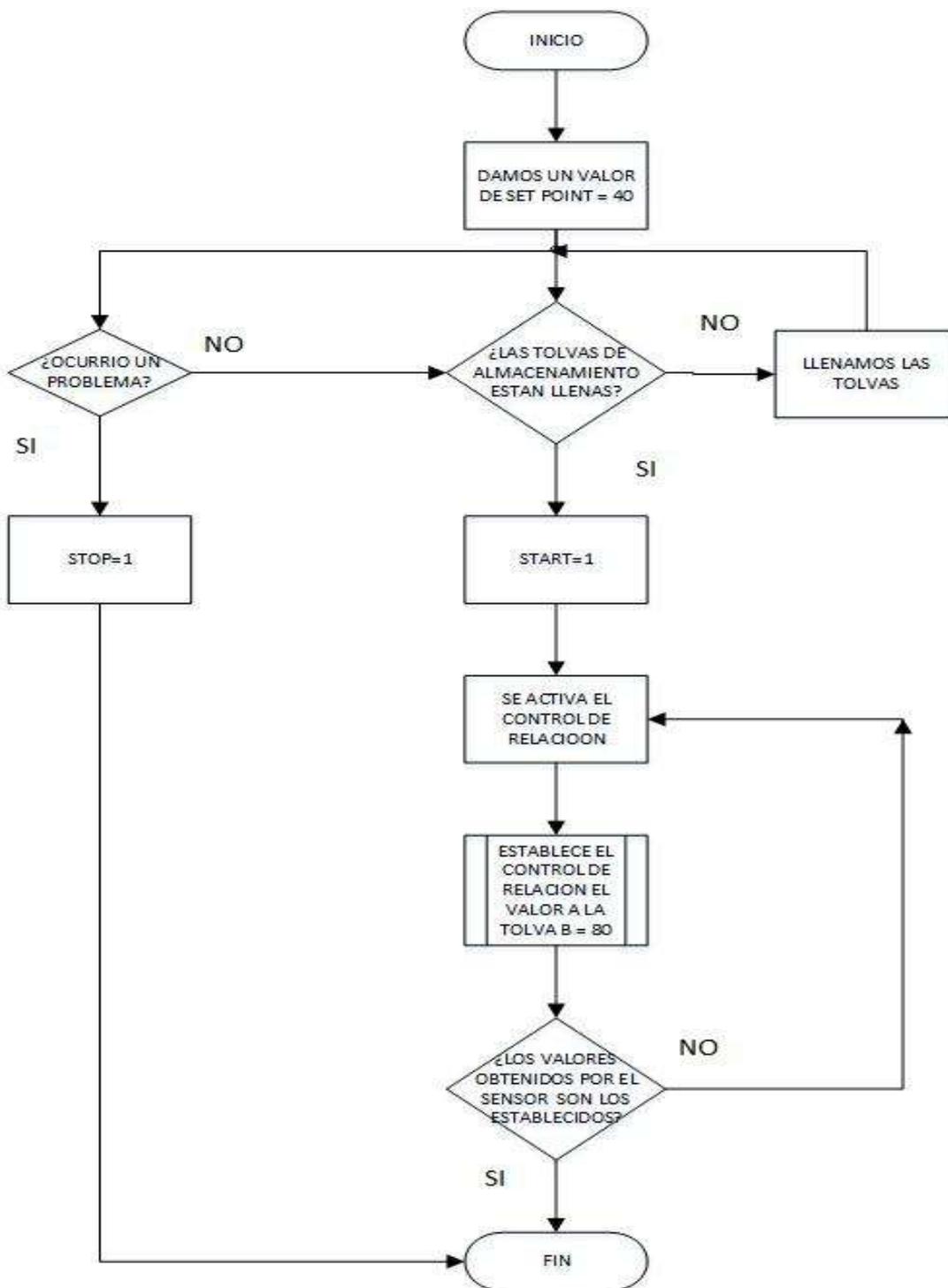
Fuente: Elaboración propia

B) Respuesta del sistema

$$\frac{Y(s)}{Pa(s)} = \frac{R1KcZ1}{s + KcKpZ1}$$

4.5.3 Diagrama de flujo

Figura 42. Diagrama de flujo del control del módulo prototipo



Fuente: Elaboración propia

4.6. DISEÑO DE ESTRATEGIA DE CONTROL

4.6.1 Selección de PLC

El PLC que se va a utilizar para el desarrollo del prototipo es el S7 1200 de Siemens, este producto es flexible y tiene la capacidad de controlar una gran variedad de dispositivos para las distintas tareas de automatización. Gracias a su diseño compacto, configuración flexible y amplio juego de instrucciones es idóneo para controlar una gran cantidad de aplicaciones.

La CPU incorpora un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, así como circuitos de entrada y salida en una carcasa compacta, conformando así un potente PLC. La CPU incorpora, así mismo, un puerto PROFINET, para la comunicación en una red PROFINET. Los módulos de comunicación están disponibles para la comunicación en redes RS485 o RS232 (Ver ficha técnica, Anexo B).

Relación de entradas y salidas

Tabla 15
Relación de entradas y salidas

TAG	DIRECCIÓN	EQUIPO/ SENSOR	FUNCIÓN
START	%I0.0	Pulsador NA	Inicia el programa.
STOP	%I0.1	Pulsador NC	Detiene todo en caso de emergencia.
SENSOR DE PESO 1	%IW64	Sensor de peso tipo flexo resistivo	Indica el peso necesario en la formulación.
SENSOR DE PESO 2	%IW66	Sensor de peso tipo flexo resistivo	Indica el peso necesario en la formulación.
NORMALIZADO 1	%MD20		Realiza la conversión de la entrada del sensor 1 en voltaje a dato tipo Real
NORMALIZADO 2	%MD24		Realiza la conversión de la entrada del sensor 2 en voltaje a dato tipo Real
PESO 1	%MD28		Es la variable que almacena el valor escalado en gramos que se obtiene del sensor 1.

PESO 2	%MD32		Es la variable que almacena el valor escalado en gramos que se obtiene del sensor 2.
NIVEL BAJO TOLVA 1	%M0.1	Sensor de nivel, tipo capacitivo.	Indica que está vacío la tolva
NIVEL ALTO TOLVA 1	%M0.2	Sensor de nivel, tipo capacitivo.	Indica que está lleno la tolva
NIVEL BAJO TOLVA 2	%M0.3	Sensor de nivel, tipo capacitivo.	Indica que está vacío la tolva
NIVEL ALTO TOLVA 2	%M0.4	Sensor de nivel, tipo capacitivo.	Indica que está lleno la tolva
FÓRMULA A	%MW100		Es la cantidad de materia específica requerida en la fórmula.
FÓRMULA B	%MW104		Es la cantidad de materia específica requerida en la fórmula.
LÁMPARA VERDE	%Q0.0	Lámpara	Indica que la planta está en funcionamiento.
LÁMPARA ROJA	%Q0.1	Lámpara	Indica que la planta se ha detenido.
MOTOR 1	%QW96	Motor de corriente continua	Permite que la faja 1 lleve la materia hacia la mezcla.
MOTOR 2	%QW98	Motor de corriente continua	Permite que la faja 2 lleve la materia hacia la mezcla.

Fuente: Elaboración propia.

4.6.2 Programación ladder

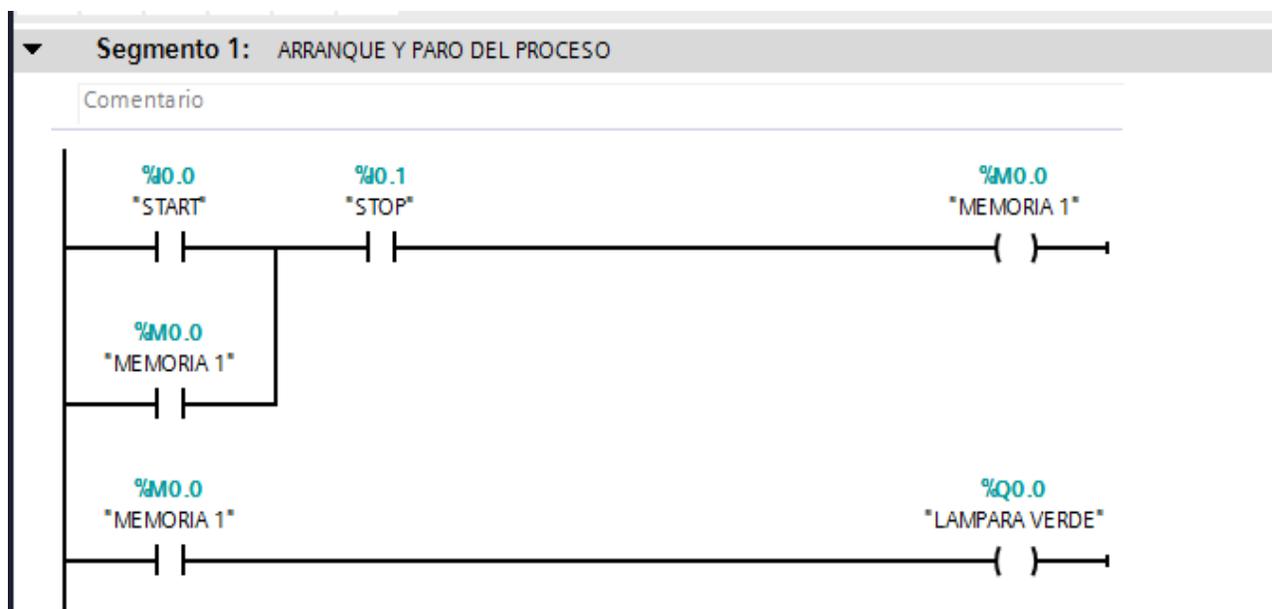
El lenguaje LADDER, también llamado diagrama de contactos o diagrama en escalera, es un lenguaje de programación gráfico muy común dentro de los autómatas programables, debido a que está basado en los esquemas eléctricos de control clásicos. Es uno de los varios lenguajes de programación para los controladores lógicos programables PLCs estandarizados con IEC 61131-3.

4.6.3. Programación del control de relación

En el segmento 1 se tiene el arranque y paro del proceso, en el cual, la primera línea cuenta con un pulsador para START y uno para STOP, que permiten activar y desactivar una memoria interna

del PLC. Es decir, si se presiona el pulsador START se activará la MEMORIA 1 y se mantendrá activa por el enclavamiento realizado; la misma que se desactivará al presionar STOP. En la segunda línea, al activarse la MEMORIA 1, activará la lámpara verde, que nos indicará que se inició el proceso.

Figura 43. Arranque y paro del proceso

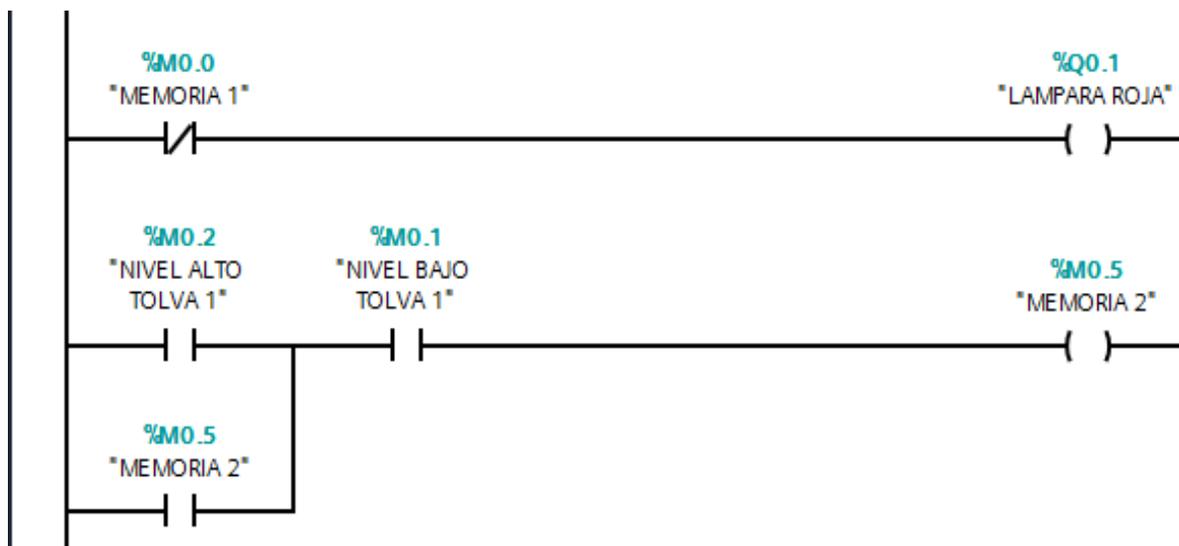


Fuente: Elaboración propia

En la tercera línea, tenemos a la MEMORIA 1 en estado cerrado, activando la lámpara roja, que indica que el proceso está parado o no se ha iniciado; por lo tanto, al activarse la MEMORIA 1 se apagará la lámpara roja.

En la cuarta línea, se tiene los sensores de nivel de la tolva que se va a simular; por lo tanto, en esta línea se tienen los sensores de la TOLVA 1, los cuales, al indicar que se encuentra llena la tolva activará la MEMORIA 2 y al indicar el sensor de nivel bajo que la tolva está vacía, desactivará la MEMORIA 2.

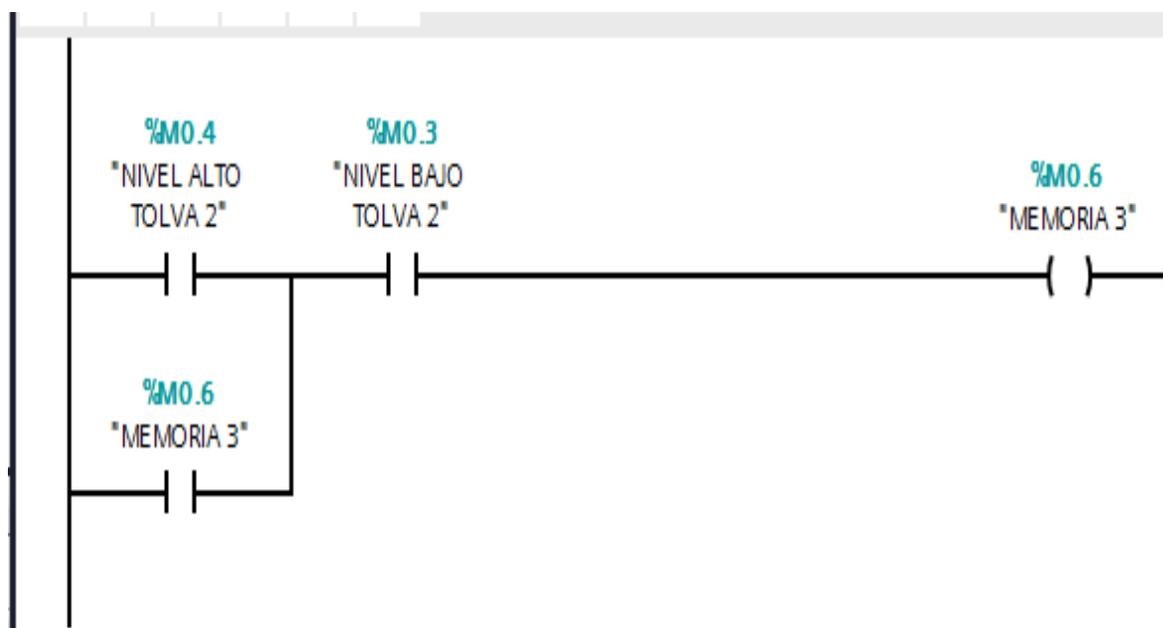
Figura 44. Arranque y paro del proceso



Fuente: Elaboración propia

En la quinta línea se insertan los sensores de nivel de la tolva 2, los cuales, al indicar que se encuentra llena la tolva, activará la MEMORIA 3 y al indicar el sensor de nivel bajo que está vacía la tolva, desactivará la MEMORIA 3.

Figura 45. Arranque y paro del proceso



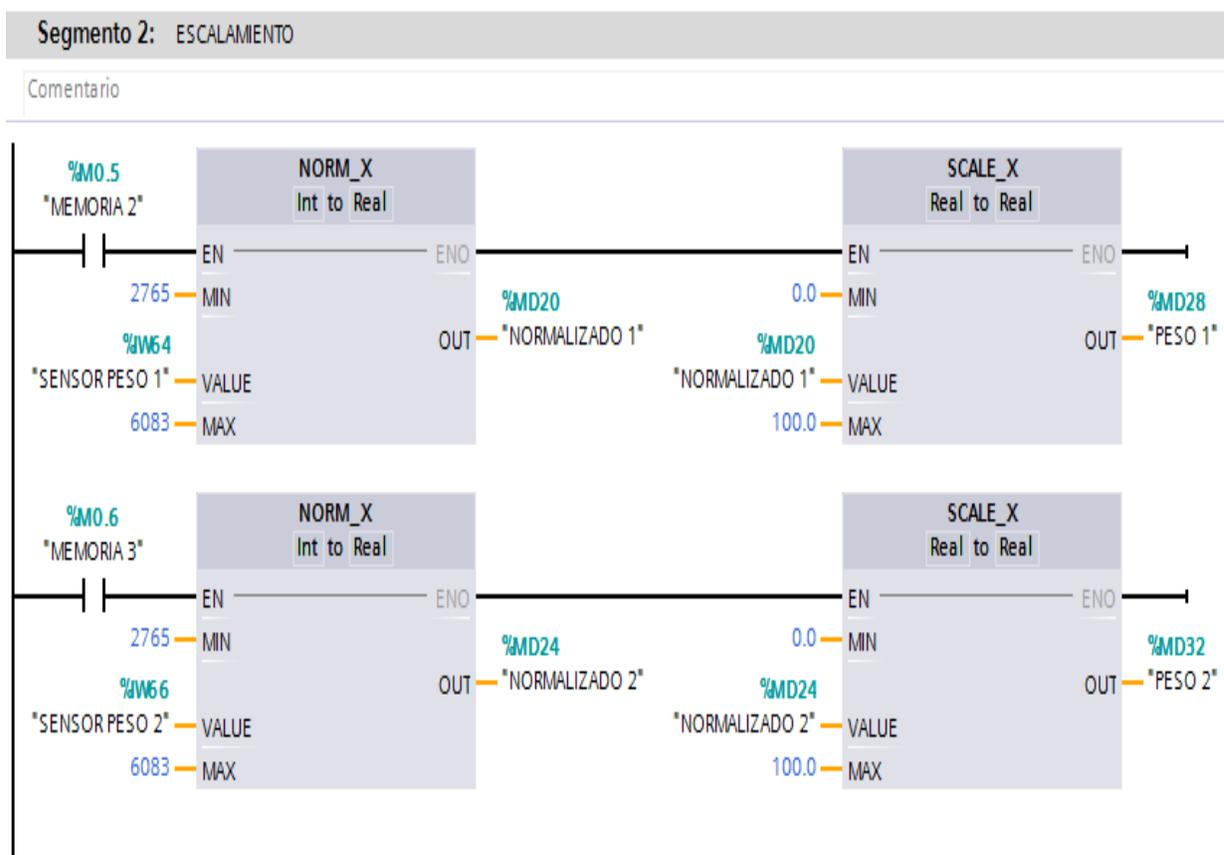
Fuente: Elaboración propia

En el segmento 2, se realizará el escalamiento de las entradas de los sensores analógicos para poder obtener valores en gramos, los cuales permitirán controlar el peso.

En la primera línea, al activarse la MEMORIA 2, se podrá escalar los valores de la entrada del sensor de peso 1 a través de la instrucción NORM_X, que normalizará los datos de entero a real; luego llevar ese dato a la instrucción SCALE_X, que escalará los valores a un rango deseado. El sensor de peso 1, toma valores de 1 voltio a 3 voltio y será escalado a valores de 0 a 100 gramos (1 voltio = 2765 y 3 voltio = 6083).

En la segunda línea, al activarse la MEMORIA 3, se podrá escalar los valores de la entrada del sensor de peso 2 a través de la instrucción NORM_X, que normalizará los datos de entero a real; luego llevar ese dato a la instrucción SCALE_X, que escalará los valores a un rango deseado. El sensor de peso 2 toma valores de 1 voltio a 3 voltio y será escalado a valores de 0 a 100 gramos (1 voltio = 2765 y 3 voltio = 6083).

Figura 46. Escalamiento



Fuente: Elaboración propia

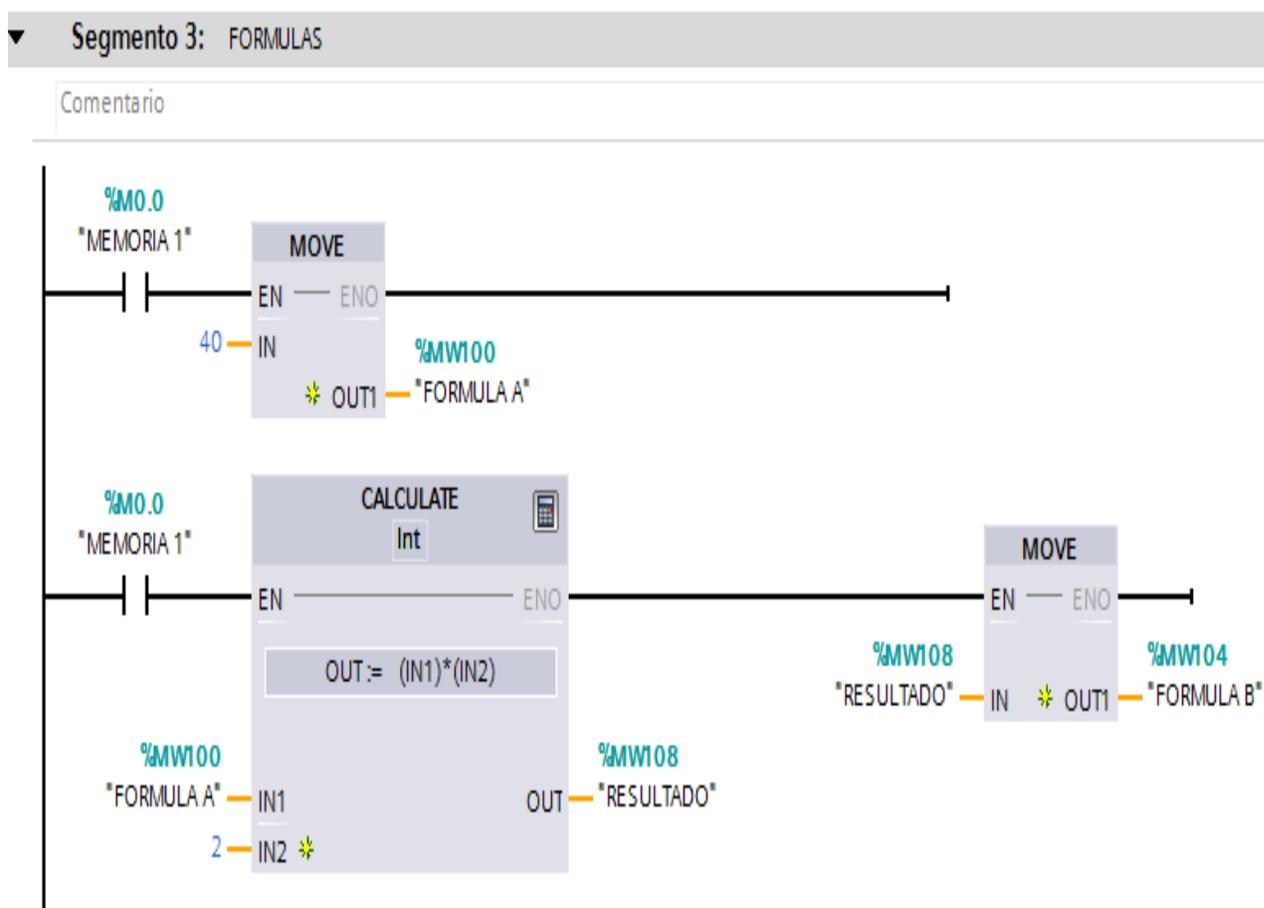
En el segmento 3, se cuenta con el área de formulación, en el cual se realiza la formulación del producto que se requiere en relación a la fórmula principal, para obtener la cantidad de ingredientes que se necesita.

Para este caso, solo se necesita dos materias de las cuales en la primera línea se contará con la fórmula principal, la que al activarse la MEMORIA 1 a través de la instrucción MOVE, se podrá dar la cantidad de materia necesaria de la FÓRMULA A.

En la segunda línea, se realiza el cálculo de la FÓRMULA B, a través de la instrucción CALCULATE de la tolva 2, con relación a la fórmula principal de la tolva 1, de nombre FÓRMULA A. La variable del nombre FÓRMULA B almacenará el dato del cálculo de la relación

de la materia A; es decir, la fórmula B es el doble de la cantidad de la fórmula A, por lo tanto, hay una relación entre la fórmula A y B.

Figura 47. Formulación

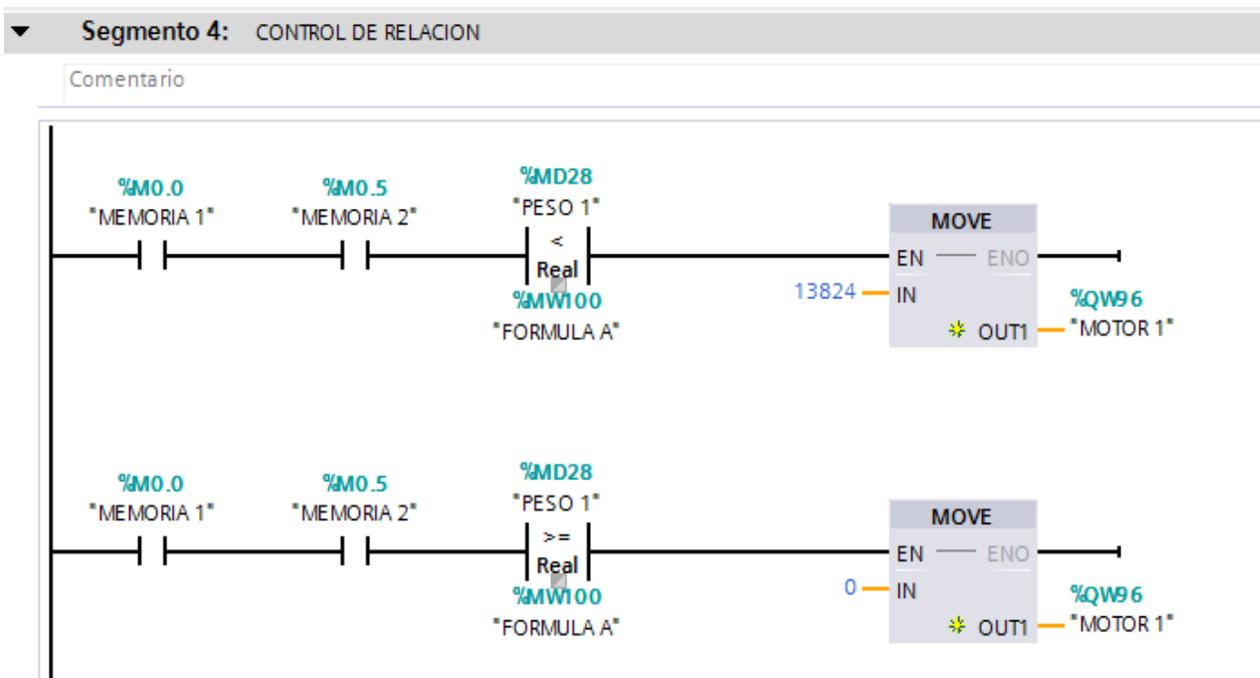


Fuente: Elaboración propia

En el segmento 4, tenemos el desarrollo del control de relación. En la primera línea, tenemos dos contactos abiertos de nombre MEMORIA 1 y MEMORIA 2, que al activarse permiten que el comparador “menor” pueda activar la instrucción MOVE que activará el MOTOR 1 con 5 V. Es decir, cuando el peso del sensor de la tolva A sea menor que la fórmula A activará el motor de la faja transportadora.

En la segunda línea, tenemos dos contactos abiertos de nombre MEMORIA 1 y MEMORIA 2, que al activarse permiten que el comparador “mayor igual” pueda activar la instrucción MOVE, la que activará el MOTOR 1 con 0 V. Es decir, cuando el peso del sensor de la tolva 1 sea mayor o igual a la fórmula A, detendrá el motor de la faja transportadora.

Figura 48. Control de relación



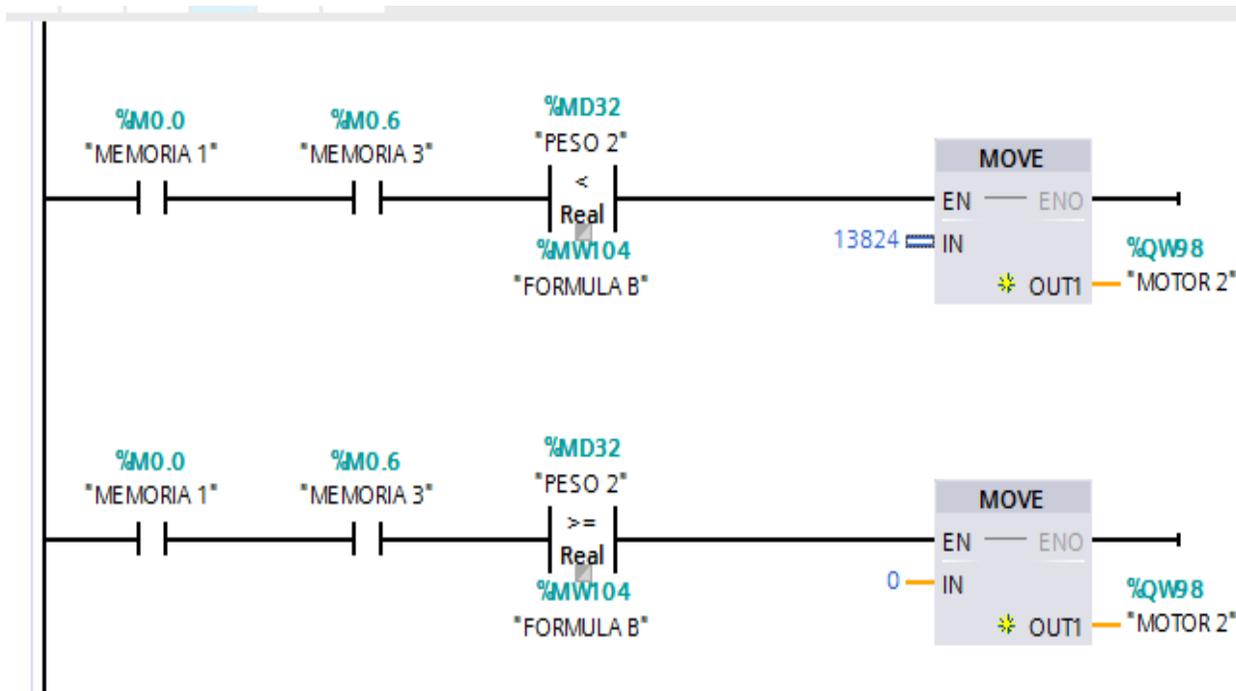
Fuente: Elaboración propia

Continuando en el segmento 4 del control de relación, en la primera línea tenemos dos contactos abiertos de nombre MEMORIA 1 y MEMORIA 3, que al activarse permiten que el comparador “menor” pueda activar la instrucción MOVE, que activará el MOTOR 2 con 5 V. Es decir, cuando el peso del sensor de la tolva B sea menor que la fórmula B, activará el motor de la faja transportadora.

En la segunda línea, tenemos dos contactos abiertos de nombre MEMORIA 1 y MEMORIA 3, que al activarse permiten que el comparador “mayor igual” pueda activar la instrucción MOVE,

la que activará el MOTOR 1 con 0 V. Es decir, cuando el peso del sensor de la tolva 2 sea mayor o igual a la fórmula B, detendrá el motor de la faja transportadora.

Figura 49. Control de relación

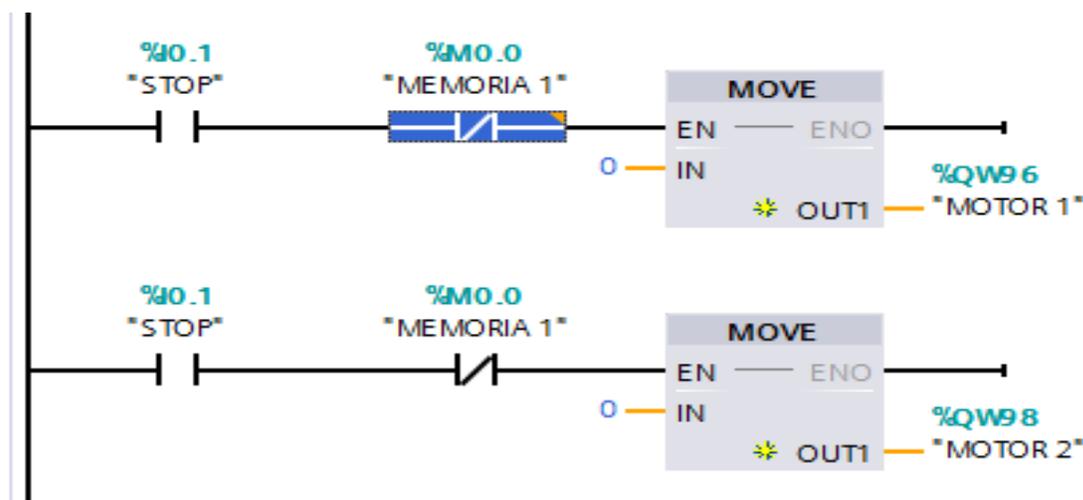


Fuente: Elaboración propia

Continuando en el segmento 4 del control de relación, en la primera línea se tiene un contacto abierto de nombre STOP y un contacto cerrado de nombre MEMORIA 1, y que al activarse el pulsador STOP permite que el motor 1 de la faja transportadora de la tolva 1 se detenga a través de la instrucción MOVE, la que mandará al motor 1 con 0V. Es decir, se podrá detener el proceso en cualquier instante o en caso de emergencia.

En la segunda línea, tenemos un contacto abierto de nombre STOP y un contacto cerrado de nombre MEMORIA 1, y al activarse el pulsador STOP permite que el motor 2 de la faja transportadora de la tolva 2 se detenga a través de la instrucción MOVE, que enviará al motor 2 0V. Es decir, se podrá detener el proceso en cualquier instante o en caso de emergencia.

Figura 50. Parada de emergencia



Fuente: Elaboración propia

4.7. DISEÑO DEL SISTEMA SCADA

Si se desea realizar un sistema SCADA del prototipo, se sugiere utilizar el software TIA PORTAL en el cual podemos conectar y enlazar un HMI y realizar la programación y diseño del sistema SCADA. En el siguiente punto, planteo un ejemplo de un sistema SCADA para mi prototipo.

4.7.1 Interface general

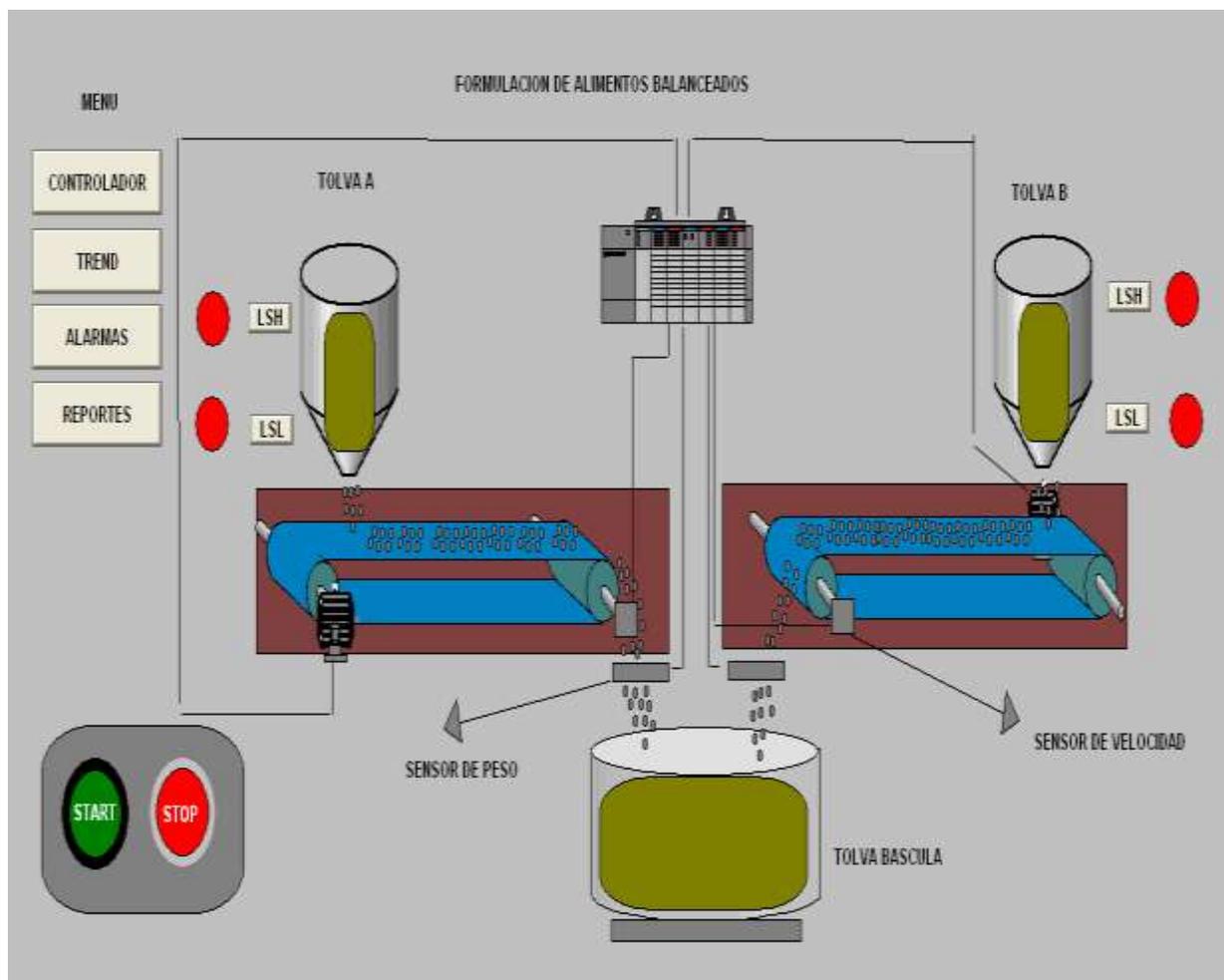
En esta sección, se muestra la interfaz gráfica del prototipo en el cual se muestra el proceso a través de los gráficos.

En esta imagen, se puede apreciar la pantalla principal donde se podrá observar el proceso del prototipo y también se podrá iniciar el arranque del prototipo desde la pantalla principal el cual cuenta con dos pulsadores de START Y STOP que estarán enlazados para poder manipular la planta desde el sistema SCADA.

También se puede observar un menú, el cual contiene botones que llevarán a otras pantallas, donde se mostrará el funcionamiento del controlador; el TREND, el cual indicará a través de curvas

el funcionamiento del proceso, alarmas, las cuales a través de sonidos indicarán alguna falla y reportes que proporcionen datos del sistema y las fallas que se produjeron.

Figura 51. Diseño del Sistema SCADA del módulo prototipo



Fuente: Elaboración propia

4.7. DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO PROPUESTO

4.7.1 Medidas

El módulo prototipo diseñado tiene una base de madera, la cual nos va a permitir simular el área de formulación de una planta de alimentos. El diseño se realizó en el software AUTOCAD como se muestra en los anexos y cuyas medidas están en mm (Ver planos en Anexo C).

4.7.2 Máquinas

El prototipo cuenta con dos fajas transportadoras, dos tolvas de abastecimiento y una tolva de recepción para el mezclado (Ver Anexo D).

4.7.3 Sensores

El prototipo cuenta con dos sensores flexos resistivos, ubicados en dos paletas de recepción de la materia, que van a permitir medir el peso del material que se vierte hacia la tolva de recepción a través de las fajas (Ver Anexo E). El sensor tiene un rango de 0-100 gramos, un span de 100 gramos y un error de $\pm 5\%$ para las pruebas realizadas, alcanzando un valor máximo de 105 gramos y un valor mínimo de 95 gramos.

4.7.4 Tablero eléctrico

El prototipo cuenta con un tablero eléctrico, el que nos permite iniciar o parar el proceso y también alimentar a los motores para el funcionamiento de las fajas, como se muestra en el anexo (Ver anexo F).

4.9. PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN / MENÚ DEL USUARIO

El sistema automático para el proceso de formulación del módulo cuenta con un pulsador de Botón START que iniciará el proceso y otro STOP, que lo detendrá en caso de emergencia.

Para el inicio del proceso se debe seguir ciertos requerimientos, como los niveles en las tolvas y la fórmula específica del producto.

Teniendo todos los requerimientos necesarios y los parámetros del proceso se procede a pulsar el botón START para que inicie el proceso, una vez pulsado se activará la lámpara verde, que indicará que el proceso se inició.

Al pulsar START y dar inicio, se activarán los motores; los cuales van a permitir que las fajas transportadoras se activen y transporten el material. Luego de activarse las fajas, el material que se encuentra en las tolvas se transportará hacia los sensores de peso.

Los sensores van a medir y entregar valores en función al peso de la materia, estos valores se llevarán al PLC.

La estrategia de control desarrollada en el PLC permitirá tener el control de los motores del sistema automatizado. El PLC activará o detendrá las fajas cuando se cumpla lo establecido.

En caso que ocurra algún problema, se procede a pulsar el botón STOP, el cual detendrá el proceso inmediatamente.

4.10. COSTOS DEL PROYECTO

Tabla 16
Costo del módulo prototipo

CANTIDAD	U.M.	DESCRIPCIÓN	MARCA	MODELO	PRECIO UNITARIO S/.	PRECIO TOTAL S/.
TABLERO ELÉCTRICO						
01	UND	Tablero eléctrico – de plancha de acero inoxidable.	Elaboración propia	Elaboración propia	80	80
01	UND	Fuente de voltaje de 12v 6a		B300	60	60
02	UND	Placas de control PWM 9v 5a	Elaboración propia	Elaboración propia	45	90
01	UND	Protoboard			12	12
02	UND	Resistencias			0,50	0,50
ELEMENTOS DE MANIOBRA Y PROTECCIÓN						
01	UND	Interruptor termo magnético 10 a 2 polos	CHINT		45	45
CABLES DE ENERGIA						
06	M	Cable rojo y negro #12 AWG			10	10
04	M	Cable blanco y negro #13 AWG			8	8
12	UND	Cables para protoboard			15	15
ELEMENTOS DE MANDO Y CONTROL						

01	UND	Pulsador NA verde	Schneider electrics	XB4BA21	14,80	14,80
01	UND	Pulsador NC rojo	Schneider electrics	XB4BA42	14,80	14,80
01	UND	Lámpara de señalización color verde 220v AC	Schneider electrics	XB4BV63	12,50	12,50
01	UND	Lámpara de señalización color rojo 220v AC	Schneider electrics	XB4BV64	12,50	12,50
01	UND	Plc s7 1200	Siemens	6ES7212- 1BE40-0XB0	2200	2200
01	UND	Módulo de salidas analógicas 0-10 v	Siemens	6ES7232- 4HB32-0XB0	400	400
SENSORES Y ACTUADORES						
02	UND	Sensor flexo resistivo			100	200
02	UND	Motor reductor 12V DC 0.048 hp			80	160
ESTRUCTURA Y COMPONENTES						
01	UND	Estructura de madera			90	90
02	UND	Fajas de material sintético poliéster			45	90
02	UND	Tolvas de almacenamiento			35	70
02	UND	Rodillos de teflón			7	14
02	UND	Ejes sin fin			5	10
02	UND	Acoples para ejes			4	8
TOTAL						3617.1

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1 RESULTADOS DE LOS VALORES OBTENIDOS EN EL PROTOTIPO

En las siguientes imágenes, se muestra el prototipo de funcionamiento a través de la ventana del software del TIA PORTAL V13. En las cuales se aprecia los contactos activados y valores obtenidos del prototipo.

En la próxima imagen, se aprecian los estados de los contactos en programa ladder, luego de haber cargado y establecido conexión con el PLC y el prototipo. Se puede apreciar a través de las líneas azules que no está circulando corriente; por lo tanto, las salidas no están activadas en la línea 1 y 2. En la línea 3, se puede observar que toda esta se encuentra de color verde; por lo tanto, hay circulación de corriente y se activa la salida, es decir, la lámpara roja está activada.

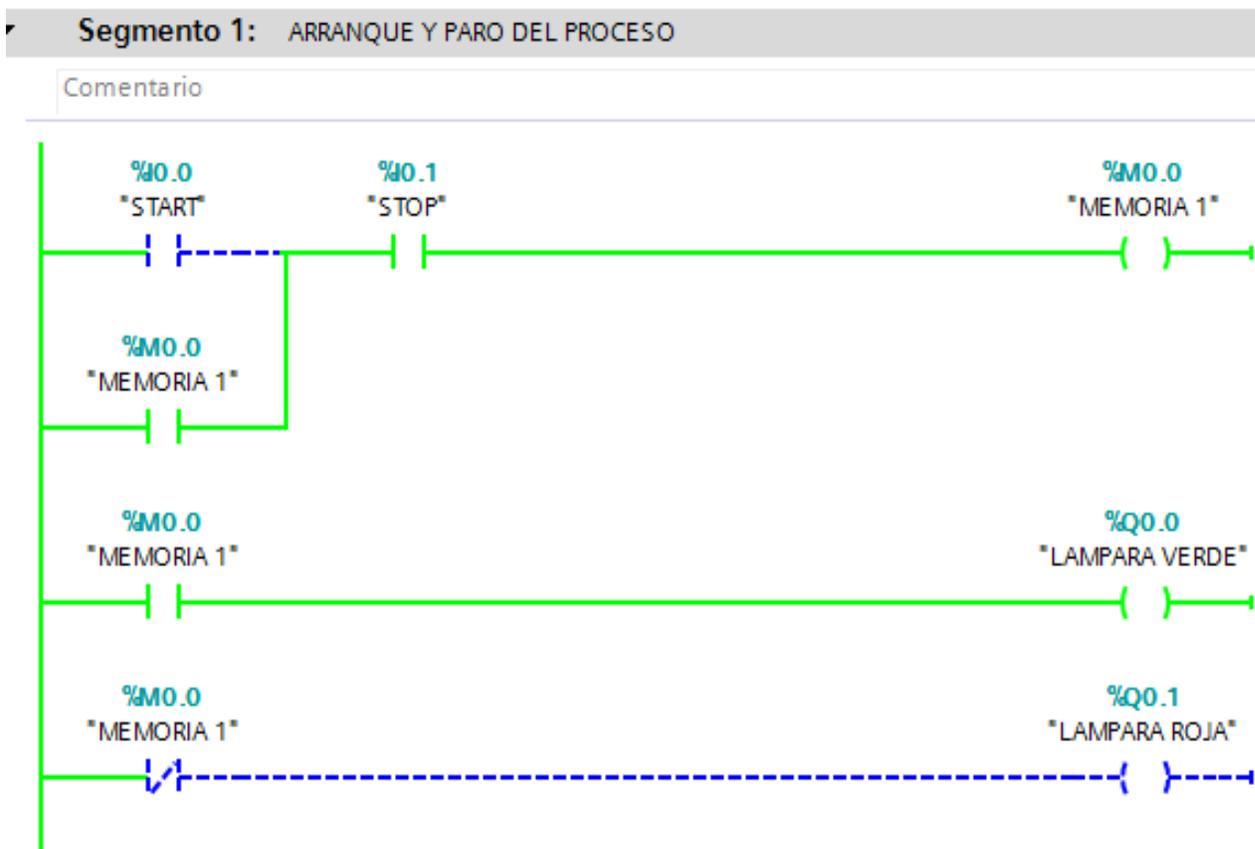
Figura 52. Funcionamiento del módulo prototipo a través del programa



Fuente: Elaboración propia

En la siguiente imagen, se puede observar que al pulsar START, la primera línea que observamos en la imagen anterior de color azul ha cambiado a color verde; por lo tanto, circula corriente y se activa la salida de nombre MEMORIA 1 y se mantiene activa por el enclavamiento del programa. La segunda línea también cambió de color; por lo tanto, se activa la salida de nombre lámpara verde, la cual podemos observar en el tablero eléctrico a través de las lámparas. En la tercera línea, se desactiva la salida de nombre lámpara roja, la cual se observa también en el tablero eléctrico.

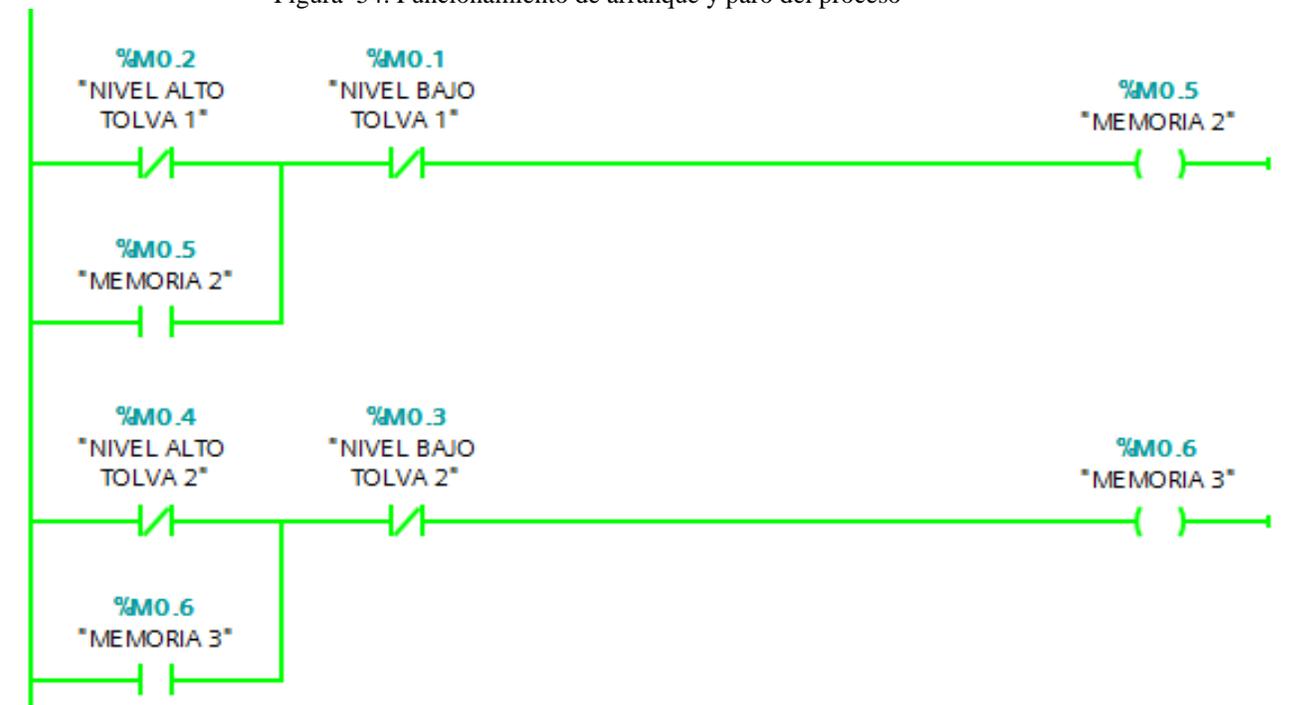
Figura 53. Funcionamiento de arranque y paro del proceso



Fuente: Elaboración propia

En la siguiente imagen, observamos los contactos de los sensores de nivel que usaremos para la simulación y los pondremos con el nombre NC, para simular que están activos los sensores, indicándonos que se encuentran llenas las tolvas 1 y 2. En la primera línea, se puede observar que al estar activos los sensores de nivel alto y bajo de la tolva 1, la salida está de color verde; por lo tanto, activa la salida de nombre MEMORIA 2. En la segunda línea, se puede observar que al estar activos los sensores de nivel alto y bajo de la tolva 2, está de color verde; por lo tanto, activa la salida de nombre MEMORIA 3.

Figura 54. Funcionamiento de arranque y paro del proceso

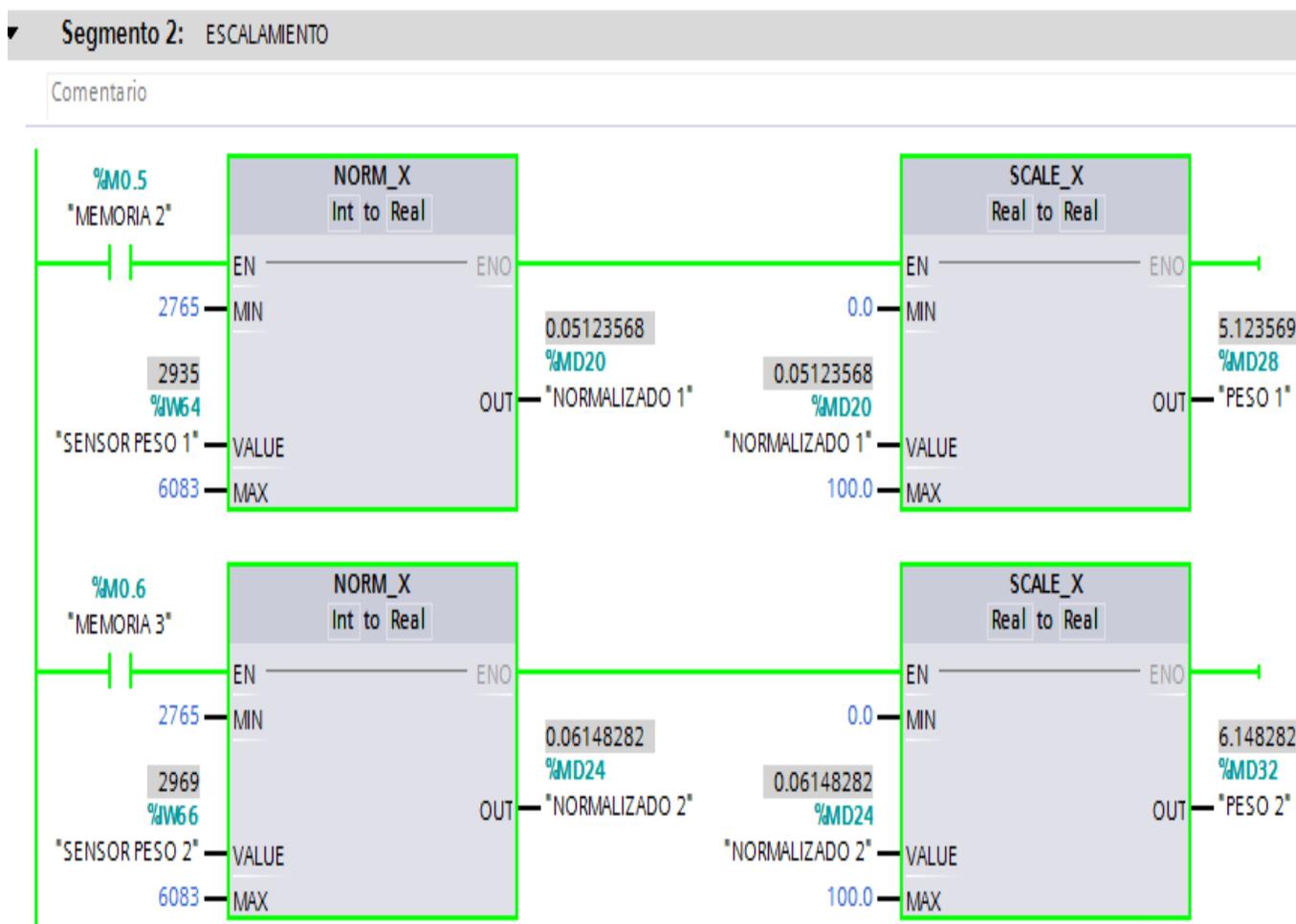


Fuente: Elaboración propia

En la siguiente imagen, tenemos el segmento 2; el cual contiene la parte de escalamiento de los sensores de peso, el que nos permite expresar los valores obtenidos en voltaje para un peso en un rango de 0 a 100 gramos, para el caso de nuestra simulación.

En la primera y segunda línea, podemos observar que se encuentran de color verde; por lo tanto, se está realizando el escalamiento a través de los bloques normalizador y escalador. Se observa que los sensores reciben datos, los cuales podemos observar encima de la variable sensor peso 1 y sensor peso 2, el que es un valor entero del PLC S7 1200, el mismo que se maneja de acuerdo al manual de funcionamiento. El normalizador va desde un valor mínimo de 2765 y cuyo valor entero representa 1V, hasta un valor máximo de 6083, el que representa un voltaje de 3V. La salida del NORMALIZADOR se llevará a un ESCALADOR, el que dará un valor de acuerdo a un rango entre 0 y 100.

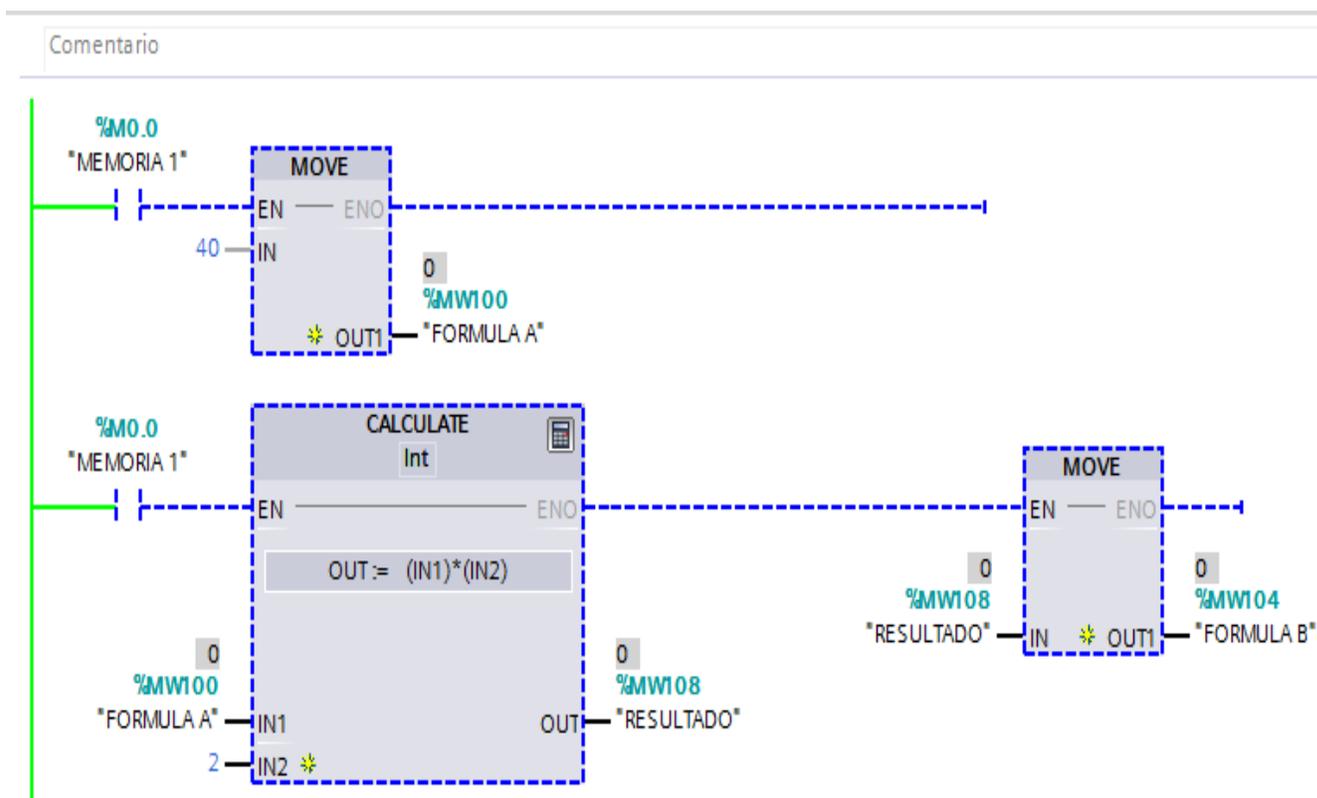
Figura 55. Prueba del escalamiento



Fuente: Elaboración propia

En la siguiente imagen se observa el segmento 3; el cual contiene la parte de formulación del producto. En la primera imagen, se observa que las líneas se encuentran de color azul, lo que indica que no está circulando corriente; por tanto, no se está activando ningún bloque.

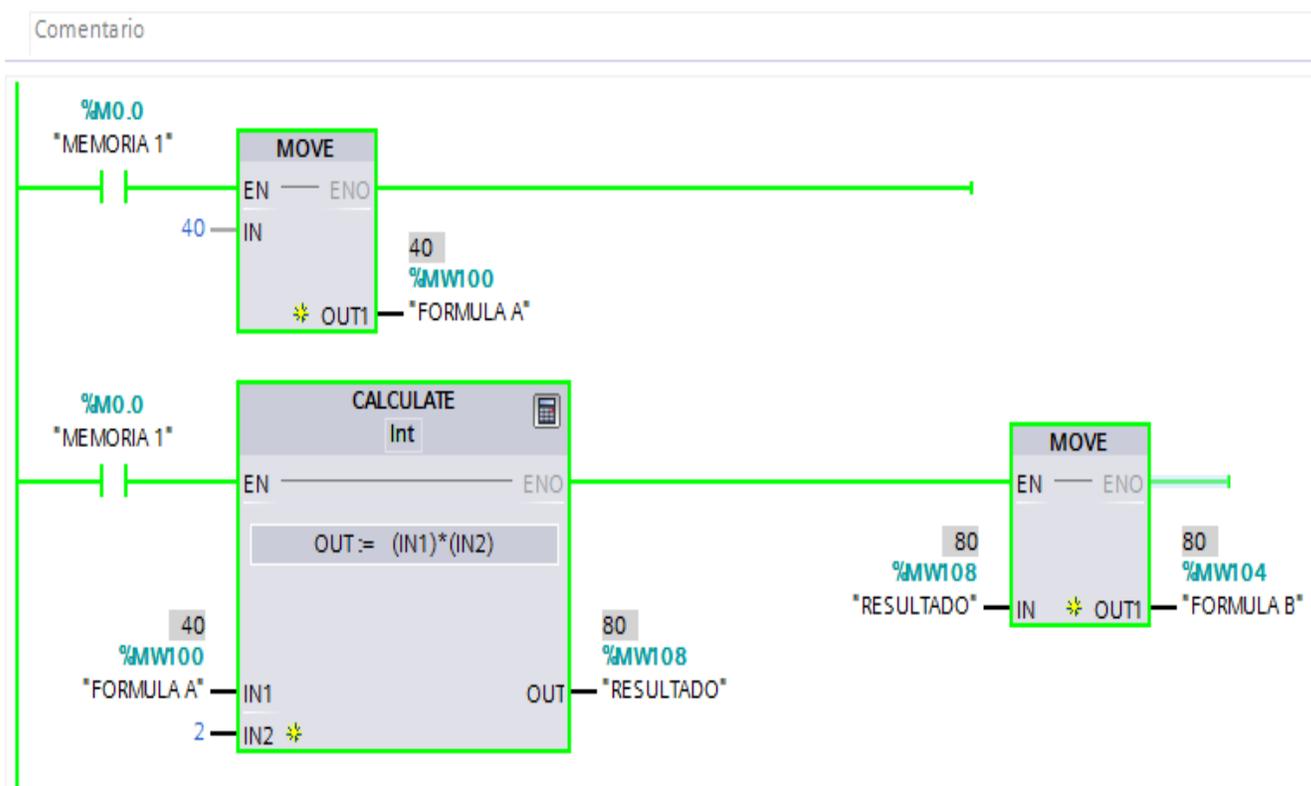
Figura 56. Prueba de las fórmulas del producto



Fuente: Elaboración propia

En la siguiente imagen, se observa que al estar activo el contacto de la MEMORIA 1 se activan los bloques MOVE, que proporcionan un valor a la fórmula A y el bloque CALCULATE, que permite calcular el valor de la fórmula B a través de la relación con la fórmula A. Por lo tanto, se puede observar que la fórmula A toma el valor de 40 y la fórmula B es el doble de la fórmula A, tomando el valor de 80.

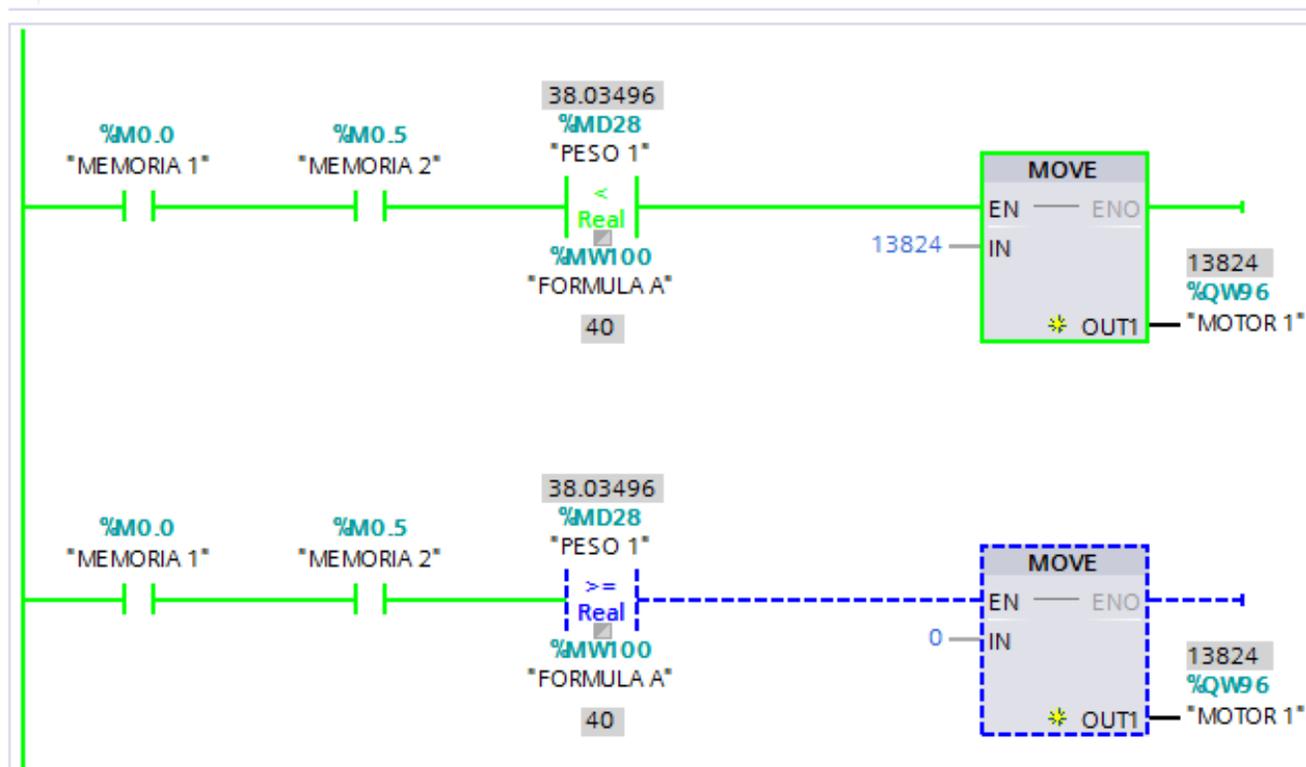
Figura 57. Prueba de las fórmulas del producto



Fuente: Elaboración propia

En las siguientes imágenes, se observa el segmento 4; el cual contiene la parte del control de relación. En la primera imagen, se observa el control del motor 1 a través de dos contactos y un bloque comparador; por lo tanto, al estar activos los contactos se observa que se encuentran las líneas con color verde. El motor 1 tomará el valor de 13824, valor entero del PLC que representa 5 voltio, cuando el valor del sensor sea menor que el valor de la fórmula A, a través del bloque comparador. El motor 1 tomará el valor de 0, valor entero del PLC que representa 0 voltio, cuando el valor del sensor sea mayor o igual que el valor de la fórmula A, a través del bloque comparador. El sensor muestra un margen de error de $\pm 5\%$.

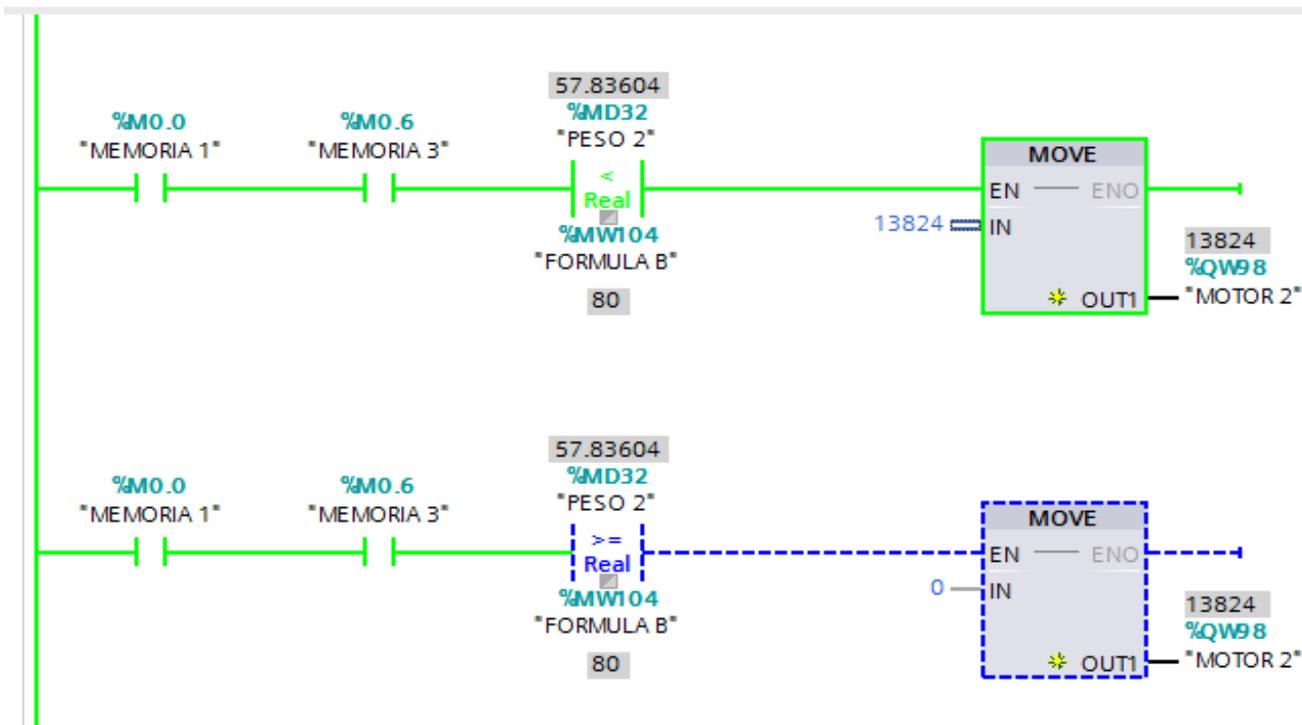
Figura 58. Prueba del control



Fuente: Elaboración propia

En la siguiente imagen, se observa el control del motor 2 a través de dos contactos y un bloque comparador; por lo tanto, al estar activos los contactos, se observa que se encuentran las líneas con color verde. El motor 2 tomará el valor de 13824, valor entero del PLC que representa 5 voltio, cuando el valor del sensor sea menor que el valor de la fórmula B a través del bloque comparador. El motor 2 tomará el valor de 0, valor entero del PLC que representa 0 voltio, cuando el valor del sensor sea mayor o igual que el valor de la fórmula B, a través del bloque comparador.

Figura 59. Prueba del control por relación



Fuente: Elaboración propia

5.2 ANÁLISIS DE LOS VALORES OBTENIDOS EN EL PROTOTIPO

Los valores obtenidos del sensor proporcionan valores que se pueden utilizar en pruebas a través del prototipo; por lo tanto, al realizar el arranque del prototipo, se obtuvieron los resultados esperados.

Se realizaron varias pruebas. Para la prueba 1, se estableció que la fórmula A sea de 20 gramos de colorante y la fórmula B sea el triple de la fórmula A; obteniendo 60 gramos de carne en polvo. Para fines reales, se representaría kilogramos o toneladas dependiendo de los requerimientos necesarios. Para la prueba 2, se estableció que la fórmula A sea de 40 gramos y la fórmula B sea el doble de la fórmula A; obteniendo 80 gramos. Para la prueba 3, se estableció que la fórmula A

sea de 50 gramos y la fórmula B sea el doble de la fórmula A, obteniendo un valor de 100 gramos. Finalmente, se estableció que la fórmula A tenga el valor de 60 gramos y la fórmula B sea la mitad de la fórmula A; obteniendo un valor de 30 gramos para la fórmula B.

Se observó que al establecer la conexión y arranque del proceso las fajas transportaron la materia de la tolva hacia la base de los sensores, donde se recogió el valor del pesaje del material y al llegar a los valores deseados, se cumplió el control de relación, deteniendo los mecanismos de transporte del material.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

PRIMERA: Se logró diseñar el sistema automático para el proceso del área de formulación de la planta de alimentos balanceados ALPROSA, la misma que permite disminuir los tiempos muertos de los cambios del turno del operario.

SEGUNDA: El diseño del sistema automático desarrollado permite obtener un mejor control de los parámetros del área de formulación de la planta de alimentos.

TERCERA: Se implementó el módulo prototipo, el cual trabaja con un sistema de control de relación automático, el cual permite obtener un control de los parámetros que intervienen en el proceso de formulación de alimentos balanceados, habiéndose realizado las pruebas del control con las siguientes materias: harina, arroz, arena fina.

CUARTA: Se diseñó la estrategia para el control de relación, permitiendo obtener un mejor control de los parámetros que intervienen en el proceso de formulación de alimentos con un margen de error de $\pm 5\%$.

6.2 RECOMENDACIONES

PRIMERA: Se recomienda implementar el sistema de control para el área de formulación de manera real en la empresa para obtener mayor rentabilidad, eliminando parte de los tiempos muertos.

SEGUNDA: Mejorar el módulo prototipo aumentando mayor cantidad de tolvas y sensores; así poder obtener una mayor relación de materias para la fórmula de un producto.

TERCERA: Para la implementación del sistema automático, se recomienda utilizar sensores de peso industrial, los cuales tienen un mayor rango de medición y precisión.

GLOSARIO

1. **Báscula:** Es un aparato que sirve para pesar en kg y tn.
2. **Batch:** Unidad de dosificación de materia por lote, por ejemplo si la variable es peso se dosificará en Gramos, Kilogramos o Toneladas.
3. **Cojinetes:** Es un elemento mecánico que reduce la fricción entre un eje y las piezas conectadas a éste por medio de rodadura, que le sirve de apoyo y facilita su desplazamiento.
4. **Control de relación:** Es la relación que existe entre dos mezclas a través de una constante que los relaciona.
5. **Dosificar:** Establecer la cantidad de un medicamento o de otra sustancia que ha de ingerirse en una toma.
6. **Estrategia de control:** Organización o distribución de dispositivos y equipos para gobernar o solucionar un problema.
7. **Ladder:** Es un lenguaje de programación gráfico muy popular dentro de los autómatas programables debido a que está basado en los esquemas eléctricos de control clásicos.
8. **Pellet o pelet:** Es una denominación genérica, utilizada para referirse a pequeñas porciones de material aglomerado o comprimido.
9. **Rosca:** Es el conjunto de un tornillo y una tuerca.
10. **SCADA:** Es un concepto que se emplea para realizar un software para ordenadores que permite controlar y supervisar procesos industriales de forma centralizada.
11. **Km y Kl:** Son símbolos que representan los rangos de los transmisores de flujo, Km es el valor mínimo y Kl es el valor máximo..
12. **Rd:** Variable que representa la ganancia si se usara medidores de presión en un control.

BIBLIOGRAFÍA

- Arbe Falcón, F. L. (2010). *Diseño y construcción de una planta de alimentos balanceados para la universidad nacional de ucayali*. Lima.
- Cerrón Salcedo, J. D. (2015). *Instrumentación Industrial*. Arequipa, Arequipa, Perú.
- García Torres, E. M. (s.f.). *Diseño y construcción de un prototipo con sistema SCADA aplicado al control de micro clima y dosificación del producto almacenado en silos*. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1902/3/02%20Diseno%20y%20construccion%20del%20prototipo.pdf>
- Katsuhiko Ogata. (2010). *Ingeniería de Control Moderna*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN S.A.
- López Moreda, I. (s.f.). Obtenido de https://www.fing.edu.uy/iq/cursos/dcp/teorico/18_OTROS_SISTEMAS_DE_CONTROL.pdf
- Ramos Flores, J. M. (2012). *Análisis y Propuesta de mejora del proceso productivo de una línea de fideos en una empresa de consumo masivo mediante el uso de herramientas de manufactura esbelta*. Lima.
- Rohner, A. W. (1989). *Mecánica para molineros*. Suiza.
- Salazar Castro, J. L. (2008). *Montaje y puesta en marcha de una planta de alimento balanceado con capacidad de 3 tn. / h*. Lima.
- Salinero Gervaso, M. (2013). *Diseño de una faja Transportadora mediante Guide de Matlab*. Madrid.

ANEXOS

Anexo A

Sensor de flexión



FLEX SENSOR FS

Special Edition Length

Features

- Angle Displacement Measurement
- Bends and Flexes physically with motion device
- Possible Uses
 - Robotics
 - Gaming (Virtual Motion)
 - Medical Devices
 - Computer Peripherals
 - Musical Instruments
 - Physical Therapy
 - Simple Construction
 - Low Profile

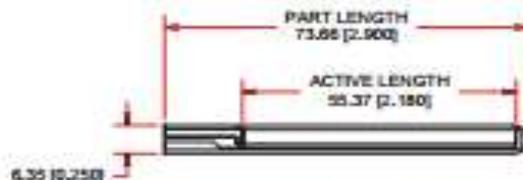
Mechanical Specifications

- Life Cycle: >1 million
- Height: $\pm 0.43\text{mm}$ (0.017")
- Temperature Range: -35°C to $+80^{\circ}\text{C}$

Electrical Specifications

- Flat Resistance: 25K Ohms
- Resistance Tolerance: $\pm 30\%$
- Bend Resistance Range: 45K to 125K Ohms (depending on bend radius)
- Power Rating : 0.50 Watts continuous, 1 Watt Peak

Dimensional Diagram - Stock Flex Sensor



How to Order - Stock Flex Sensor



How It Works



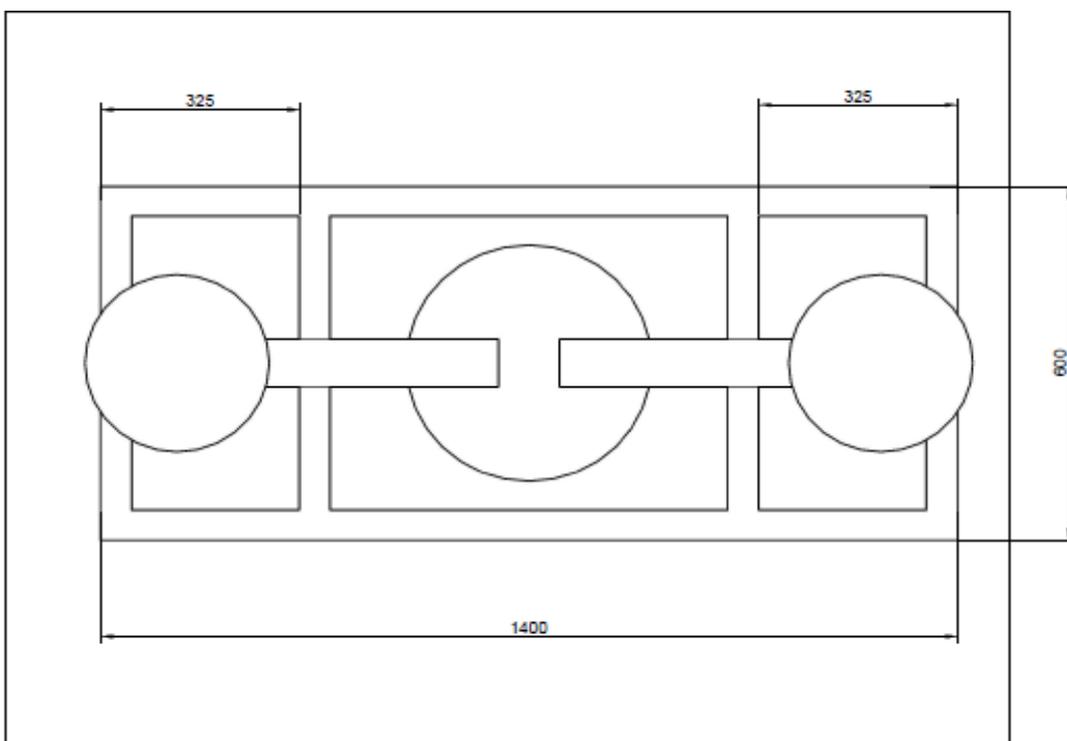
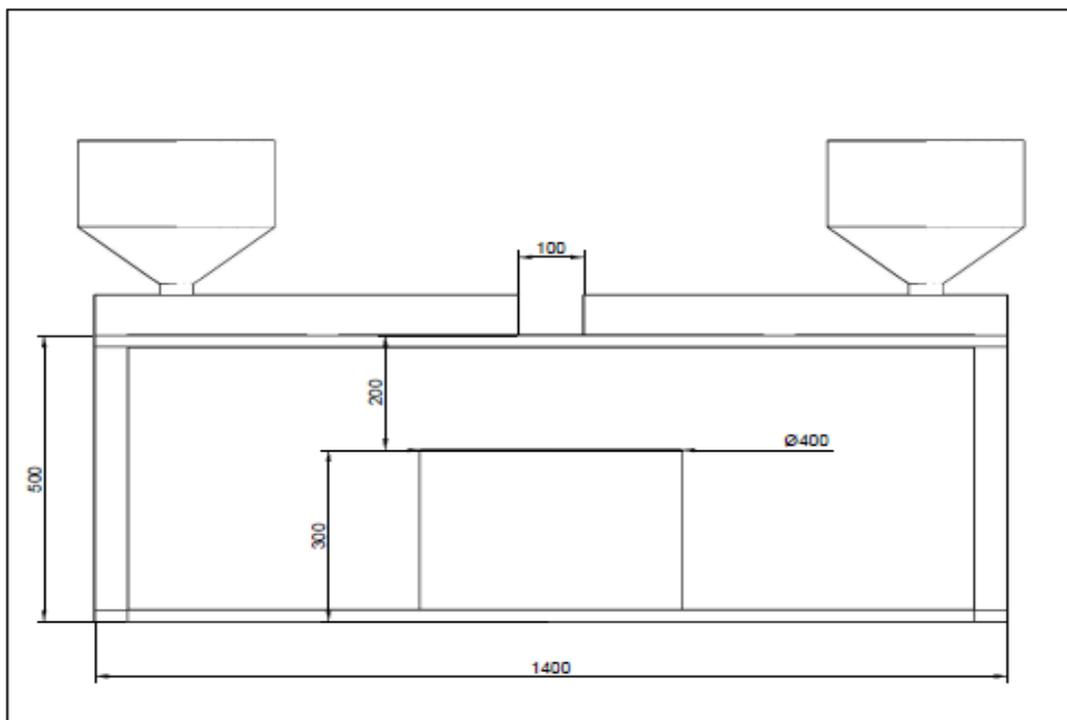
Anexo B

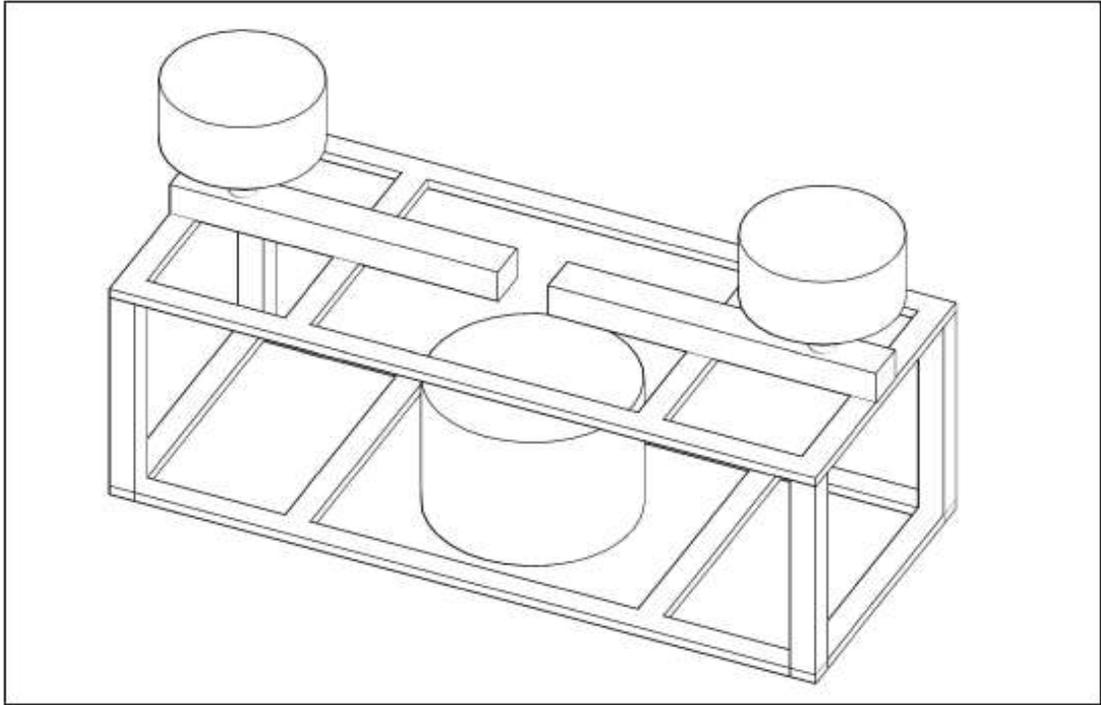
Datos técnicos del PLC SIEMENS S7 1200

Función	CPU 1211C	CPU 1212C	CPU 1214C
Dimensiones físicas (mm)	90 x 100 x 75		110 x 100 x 75
Memoria de usuario			
<ul style="list-style-type: none"> • Memoria de trabajo • Memoria de carga • Memoria remanente 	<ul style="list-style-type: none"> • 25 KB • 1 MB • 2 KB 		<ul style="list-style-type: none"> • 50 KB • 2 MB • 2 KB
E/S integradas locales			
<ul style="list-style-type: none"> • Digitales • Analógicas 	<ul style="list-style-type: none"> • 6 entradas/4 salidas • 2 entradas 	<ul style="list-style-type: none"> • 8 entradas/6 salidas • 2 entradas 	<ul style="list-style-type: none"> • 14 entradas/10 salidas • 2 entradas
Tamaño de la memoria imagen de proceso	1024 bytes para entradas (I) y 1024 bytes para salidas (Q)		
Área de marcas (M)	4096 bytes		8192 bytes
Ampliación con módulos de señales	Ninguna	2	8
Signal Board	1		
Módulos de comunicación	3 (ampliación en el lado izquierdo)		
Contadores rápidos	3	4	6
<ul style="list-style-type: none"> • Fase simple • Fase en cuadratura 	<ul style="list-style-type: none"> • 3 a 100 kHz • 3 a 80 kHz 	<ul style="list-style-type: none"> • 3 a 100 kHz 1 a 30 kHz • 3 a 80 kHz 1 a 20 kHz 	<ul style="list-style-type: none"> • 3 a 100 kHz 3 a 30 kHz • 3 a 80 kHz 3 a 20 kHz
Salidas de impulsos	2		
Memory Card	SIMATIC Memory Card (opcional)		
Tiempo de respaldo del reloj de tiempo real	Típico: 10 días / Mínimo: 6 días a 40 °C		
PROFINET	1 puerto de comunicación Ethernet		
Velocidad de ejecución de funciones matemáticas con números reales	18 µs/instrucción		
Velocidad de ejecución booleana	0,1 µs/instrucción		

Anexo C

Diseño de la estructura del prototipo





Anexo D

Fajas transportadoras y tolvas



Anexo E

Ubicación de sensores



Anexo F

Tablero eléctrico del prototipo



Anexo G

Matriz de consistencia

Tabla 17
Matriz de consistencia

MATRÍZ DE CONSISTENCIA						
TÍTULO	PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADOR	INSTRUMENTO
Diseño de un sistema automático para el proceso de formulación de una planta de alimentos balanceados, aplicando control de relación.	La empresa no cuenta con un sistema automatizado, que permita obtener la planta de alimentos operativa las 24 horas operativas sin tener errores y tiempos muertos por los operarios.	Diseñar un sistema automático para el proceso de formulación de una planta de alimentos balanceados, aplicando control de relación.	Es posible diseñar un sistema automático del proceso de formulación de una planta de alimentos balanceados.	Sensor capacitivo para nivel de Materia Prima en tolva de abastecimiento · Sensor flexoresistivo para peso de Materia Prima mezclada en tolva Báscula.	Voltaje eléctrico discreto de nivel. Voltaje eléctrico proporcional al peso en tolva báscula.	Pruebas en el Modulo Prototipo de la planta de alimentos del área de formulación.
TIPO DE INVESTIGACIÓN					Científica	

Fuente: Elaboración propia.