

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,

AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO EN

INGENIERÍA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL

PARA LA DOSIFICACIÓN DE MATERIAL QUÍMICO EN UNA

MÁQUINA DE MANUFACTURA DE ALFOMBRAS

JOSÉ ALEJANDRO LEÓN CAICEDO

DIEGO DAVID PILLAJO ANGOS

SANGOLQUÍ – ECUADOR

2013

CERTIFICACIÓN

En nuestra calidad de Director y Codirector, certificamos que los Señores José Alejandro León Caicedo y Diego David PillajoAngos han desarrollado el proyecto de grado titulado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE DOSIFICACIÓN DE MATERIAL QUÍMICO EN UNA MÁQUINA DE MANUFACTURA DE ALFOMBRAS.” bajo nuestra dirección.

Sangolquí, Miércoles 09 de Enero del 2013

Sr. Ing. Paúl Ayala

DIRECTOR

Sr. Ing. Hugo Ortiz

CODIRECTOR

AGRADECIMIENTO

Este proyecto es el resultado del esfuerzo conjunto de mi amigo Diego Pillajo y del mío. Por esto agradezco principalmente a él por ser una excelente persona y responsable. A mis padres por haber confiado en mí para terminar esta compleja carrera haciendo todo tipo de sacrificio para que nunca me falte nada. A mis hermanas por haberme acompañado en momentos de soledad y palabras de aliento. A mi enamorada por estar a mi lado en buenas y malas, en alegría y tristeza dios le pague por ser la voz que me motiva a salir adelante. A mi abuelita y a mi tía que son casi como madres y aportaron a mi formación como hombre de bien. A Diosito y a la Virgencita por haberme bendecido con personas tan especiales a mi lado. A mis grandes amigos Pancho, Chaka, Roberto, Paúl, Israel, Armando, Enrique, Esteban, Julio por haber hecho de la universidad una experiencia inolvidable, nunca les olvidare mis hermanos. A mis profesores a quienes les debo gran parte de mis conocimientos, gracias a su paciencia y enseñanza y finalmente un eterno agradecimiento a esta prestigiosa universidad la cual abrió abre sus puertas a jóvenes como nosotros, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como personas de bien.

José León

Para poder realizar este proyecto de tesis de la mejor manera posible, fue necesario del apoyo de muchas personas, principalmente del esfuerzo conjunto de mi amigo José León y del mío hemos logrado que este trabajo se cumpla.

Agradezco a mi madre quien a lo largo de mi vida me ha apoyado moral y económicamente en mi formación académica.

A mi director y codirector de tesis Ing. Paúl Ayala e Ing. Hugo Ortiz, a todos mis profesores e ingenieros que me brindaron todos sus conocimientos en el transcurso de la carrera, los cuales fueron de gran ayuda para lograr este fin. A mis hermanos y amigos por ayudarme y apoyarme sin condiciones. Finalmente un eterno agradecimiento a esta prestigiosa Universidad quien me abrió sus puertas y me preparó para un futuro competitivo, haciendo una persona de bien y un gran profesional.

Diego Pillajo

DEDICATORIA

A:

Mi mamita linda Nancy por haberme dado el mejor de los regalos que es la vida, por estar siempre dándome la mano y ayudándome a crecer como hijo, como persona, como amigo, como hombre. Nunca terminare de agradecerle por tanto mamacita linda. Dio toda su vida por criar a un buen hijo y este es uno de los resultados. Dios me bendijo con la mejor madre del mundo a la que cuidare con mi propia vida.

Mi padre José, por haberme regalado esta carrera que parecía interminable y que paso a paso logré terminarla. Usted es el más claro ejemplo de un hombre correcto de que todo se puede alcanzar en esta vida a base de duro trabajo, nunca terminare de agradecerle todo lo que hizo, hace y hará por mí, me siento orgulloso de tener un padre que es como mi mejor amigo.

Mi hermana Carito, mi pequeña cuantas cosas que hemos vivido juntos me faltan palabras para decir lo especial que eres en mi vida, siempre pude encontrar en ti a mi mejor amiga a mi confidente siempre me tendrás llevándote de la mano cuidándote de todo lo malo.

Mi hermana menor Tefa, por siempre darme el mejor ejemplo de constancia y disciplina en una persona. Nunca te olvides que me tienes a tu lado para las buenas y malas Siempre serás mi hermanita menor.

Mi querida tía Mónica quien es casi como mi madre y que a pesar de la distancia siempre encontró la manera de hacerme sentir su cariño haciendo que añore más el momento de tenerle cerca, lleva un gran espacio en mi corazón. Dios le pague por tanto.

Mi ahijado por haberme puesto una de las tareas más difíciles, ser el modelo a seguir, Hare todo lo posible para nunca decepcionarte José.

Mi abuelita Martha que por su manera de ser, por la sabiduría que tiene y sobretodo el amor que tiene para con todos, me hizo sentir como el nieto más importante del mundo, dios le pague por ser más que una abuelita por ser casi como una madre.

Mi enamorada Evelyn que es una de las mujeres más maravillosas que he podido conocer, hemos tenido un sinfín de experiencias unas buenas, otras malas y otras que nos esperan pero por sobretodo las hemos sabido superar juntos. Con sus acciones ha sabido ganarse un lugar muy especial en mi corazón y sobretodo en mi vida. Dios me bendijo con un amor como el suyo. Le amo mi corazón, siempre juntos.

Mis familiares, por siempre preocuparse de mi avance profesional y aportar a mi formación.

Mis hermanos Julio, Esteban, Enrique, Armando, Israel, Roberto, Pancho, Chaka quienes supieron brindarme másque su amistad durante toda esta carrera, pasando momentos de preocupación, de triunfo, derrota, victoria, risa. Son invaluable en mi vida.

Todas aquellas personas que no recordé al momento de escribir esto.

José León

A mi madre María.

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mi hermana Adriana por ser el ejemplo de una hermana mayor y de la cual aprendí aciertos, principalmente en el apoyo e insistencia de que ingrese en esta prestigiosa Universidad, por ese motivo te agradezco.

A mis hermanos Marco, María, Verónica, Paulina que en algún momento de esta vida supieron darme el apoyo y motivación para que salga adelante frente a las diferentes circunstancias que nos da esta vida.

A mis amigos de infancia Andrés, Ronald, Jonathan, Marcelo, Luis, Josephe, que son parte de mi vida, quienes siempre supieron demostrar con hechos que estaban ahí cuando se les necesitaba en alegrías y tristezas.

A Francisco, José, Paúl, Andrés mis compañeros de banca y grandes amigos que juntos hicimos que la Universidad no sea tan difícil como en realidad a veces lo es, esto va por todos esos años que nos apoyamos unos a otros.

A todos aquellos que en este momento no se me vienen en mente, que forman y formaron parte de mi vida, ya que también aportaron para que consiga este logro.

Gracias a todos ustedes!

Diego Pillajo

PRÓLOGO

Buscando satisfacer las necesidades empresariales nace este trabajo, el cual busca mejorar el proceso de dosificación en la empresa ALFINSA S.A. a través de la ejecución del presente proyecto que se denomina Diseño e Implementación de un Sistema de Control para la Dosificación de Material Químico en una Máquina de Manufactura de Alfombras. El sistema se basa en el control de velocidad de motores AC para el movimiento de la alfombra, control de dosificación y control de temperatura de un horno industrial; el sistema consta de variadores de frecuencia, PLC, panel de operador para la HMI, sensor de temperatura y elementos de maniobra.

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN	I
AGRADECIMIENTO	II
DEDICATORIA	III
PRÓLOGO	IV
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3. ALCANCE DEL PROYECTO E IMPLEMENTACIÓN	3
1.4. OBJETIVOS	3
1.4.1. OBJETIVO GENERAL	3
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.5. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO.....	4
CAPÍTULO II	6
IDENTIFICACIÓN DE LA MAQUINARIA DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN .	6
2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO GENERAL DE MANUFACTURA DE ALFOMBRAS.....	6
2.2. PROCESO DE DOSIFICACIÓN	9
2.2.1. ELEMENTOS PARA LA DOSIFICACIÓN	10
2.3. PROCESO DE CALANDRADO	17
2.3.1. ELEMENTOS DE LA CALANDRA	18
2.4. PROCESO DE TRANSPORTE DE LA ALFOMBRA	27

CAPÍTULO III	29
DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL	29
3.1. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA.....	29
3.2. DIAGRAMA P&ID DE LA MÁQUINA DOSIFICADORA	31
3.3. ALIMENTACIÓN PRINCIPAL	38
3.4. DISEÑO DEL CIRCUITO DE FUERZA.....	39
3.5. DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONTROL	42
3.5.1. CONSIDERACIONES PARA EL CONTROL DE TEMPERATURA	43
3.6. ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE CONTROL	46
3.7. DIMENSIONAMIENTO DE LOS COMPONENTES	47
3.7.1. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE	48
3.7.2. VARIADOR DE FRECUENCIA	50
3.7.3. PANEL DE OPERADOR	54
3.7.4. CONTACTORES.....	55
3.7.5. FUSIBLES.....	57
3.7.6. GUARDAMOTORES.....	57
3.8. DIMENSIONAMIENTO DEL CABLEADO	58
3.9. CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL SOFTWARE	61
3.10. LISTA RESUMEN DE LOS DISPOSITIVOS	62
 CAPÍTULO IV	 65
IMPLEMENTACIÓN	65
4.1. SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS.....	65
4.1.1. GABINETE DE MONTAJE	65
4.1.2. RIELES DE SOPORTE	67
4.1.3. BORNERS DE CONEXIÓN	68
4.1.4. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC SIEMENS S7-1200)	69
4.1.5. VARIADORES DE FRECUENCIA	71
4.1.6. PANEL VIEW	76
4.1.7. CONTACTORES	77
4.1.8. GUARDAMOTORES	79
4.1.9. FUSIBLES	80

4.2. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL	81
4.2.1. INSTALACIÓN	81
4.2.2. MONTAJE	86
4.3. PROGRAMACIÓN Y PARAMETRIZACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS	89
4.3.1. DIAGRAMA DE FLUJO	89
4.3.2. PROGRAMACIÓN DEL PLC	91
4.3.3. PARAMETRIZACIÓN DE LOS VARIADORES DE VELOCIDAD	95
4.4. DESARROLLO Y CONFIGURACIÓN DE LA HMI	98
4.5. PUESTA EN MARCHA	104
4.5.1. PRUEBAS A LAS CONEXIONES ELÉCTRICAS.....	104
4.5.2. PRUEBAS AL FUNCIONAMIENTO DEL PLC Y HMI	105
4.5.3. PRUEBAS A LOS VARIADORES DE VELOCIDAD.....	106
4.5.4. PRUEBAS AL CONTROL DE TEMPERATURA	106
 CAPÍTULO V	 108
PRUEBAS EXPERIMENTALES Y RESULTADOS	108
5.1. PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE LA ALFOMBRA	108
5.2. PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN.	111
5.3. PRUEBAS Y RESULTADOS DE TODO EL SISTEMA.....	114
 CAPÍTULO VI
119 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	119
7.1. CONCLUSIONES	119
7.2. RECOMENDACIONES.....	120
BIBLIOGRAFÍA	121
ANEXOS	123
ÍNDICE DE FIGURAS	141
ÍNDICE DE TABLAS	144
GLOSARIO	147

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

ALFINSA nace en Quito-Ecuador en el año de 1994, la empresa tiene 18 años prestando servicios de manufactura de alfombras automotrices a las principales firmas automotrices a nivel nacional. Se encuentra ubicada en la Provincia de Pichincha, Cantón Rumiñahui, en las calles Gonzalo Roja #12 y Av. Panamericana Norte, dicha empresa cuenta con una planta industrial, responsable de la confección de una amplia gama de productos, principalmente de alfombras automotrices termoformadas cuya confección es la unión de distintos procesos, para lo cual la alfombra sea nacional o importada llega en rollos de 25 metros de largo y ancho entre 1.60 y 1.80 metros según el modelo del vehículo. Se detalla el proceso mencionando con todos los pasos a seguir, primero se coloca una determinada pieza de alfombra en la máquina dosificadora la cual se encarga de suministrar una cantidad de material químico dependiendo de la longitud de la alfombra para que en la etapa siguiente el material químico (polietileno) sea fundido en la alfombra por medio del uso de calor (altas temperaturas) teniendo como producto final, la alfombra plastificada y lista para ser transformada, se escoge el modelo de alfombra que se va a confeccionar y el modelo del auto al que pertenece. Se ajusta al correspondiente molde la alfombra para proceder a prensarlo y realizar los orificios para fijar la misma a la carrocería del automóvil, terminando así el proceso de manufactura.

Se establece diseñar e implementar un sistema de control para el proceso de dosificación de la máquina de manufactura de alfombras, ya que la maquinaria actualmente no está calibrada de manera óptima.

Debido de que la seguridad y salud de los trabajadores tienen la máxima prioridad en el desarrollo de las actividades de la compañía, se ejecutan trabajos en ambientes seguros y confortables, aplicando procedimientos con estricto control de los riesgos que amenacen la integridad de las personas y del activo operativo. Para esto la compañía desarrolló métodos y sistemas de gestión preventiva para mantener un ambiente de seguridad, enmarcada en las leyes y normas vigentes en materia de prevención de riesgos ocupacionales, con el apoyo de recursos técnicos, financieros y materiales para la implementación y mejora continua de la presente política¹.

1.2. JUSTIFICACIÓN

En los últimos años el proceso de dosificación en la máquina de manufactura de alfombras de marca Villars modelo 91 SP 61 de la empresa ALFINSA S.A de la ciudad de Quito no ha funcionado de la manera apropiada debido a la avería de la unidad de control de tres fases (DRY-310), el principal inconveniente, es la dosificación ya que se efectúa a regar un suministro aproximado del químico en la alfombra, esta se da por medio del uso de relaciones y tablas desarrolladas por el operador con las cuales se llega a valores cercanos a los deseados más no los necesarios implicando desperdicio de químico y pérdidas para la empresa en cuestión. El diseño e implementación de un sistema de control para la dosificación en una máquina de manufactura de alfombras se enfoca principalmente en aumentar la producción y optimizar el uso de recursos, el proceso que se implementará cumple los parámetros mencionados que beneficiará productivamente a ALFINSA S.A y agregando la virtud de poder ser aplicado para distintas tareas.

¹http://www.cinae.org.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=87&Itemid=497&lang=es

1.3. ALCANCE DEL PROYECTO E IMPLEMENTACIÓN

Se pretende diseñar un sistema de control para dosificar material químico en una maquinaria de confección de alfombras, por medio del uso de distintos dispositivos programables o las soluciones más acordes a las necesidades de la maquinaria. El sistema de control poseerá un actuador directo siendo un tamizador accionado por un motor que va a ser controlado en velocidad para poder ajustar de manera precisa las cantidades de químico que se va a suministrar en las alfombras para poder garantizar la calidad de las mismas.

El sistema contará con un panel de control en el que se va a poder fijar la cantidad requerida de material químico en función de la velocidad de transporte, también constará de la respectiva parada de emergencia y parámetros relevantes de producción. Además un sistema de control de temperatura para fijar de manera eficiente la temperatura en la que el químico se va a fundir en la alfombra en función de la cantidad de material químico y la velocidad de transporte de la alfombra. Una HMI para que el operador pueda interactuar de manera eficiente con los distintos parámetros de la producción.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un sistema de control para la dosificación de material químico en una máquina de manufactura de alfombras.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar un sistema de control para el proceso de dosificación de material químico.

- Desarrollar una HMI para interactuar con el proceso y de fácil manejo para el operador.
- Acoplar el control de velocidad y temperatura en un solo sistema de control.
- Implementar el sistema de control en la maquinaria de dosificación de polvo de polietileno de alfombras.

1.5. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

En la ciudad de Quito en el sector de Carcelén industrial se encuentra ALFINSA S.A una empresa dedicada a la confección y manufactura de distintos productos textiles automotrices. Hace diez años ALFINSA S.A adquirió una máquina de dosificación y fusión de material químico (91 SP 61) de origen Suizo la cual se desempeñaba de manera ejemplar cumpliendo requerimientos de dosificación de polvo de polietileno, fusión calorífica a las alfombras de material químico y almacenamiento de estas, con el paso del tiempo la máquina llego a experimentar anomalías de tipo técnico debido al suministro eléctrico lo que produjo una avería significativa en la máquina, específicamente en el módulo DRY-310 el cual experimentó un daño irreparable, lo que desembocó en la poca fiabilidad de dosificación de material químico en las alfombras a ser tratadas.

Actualmente la máquina (91 SP 61) se encuentra en funcionamiento pero con capacidades limitadas en el proceso de dosificación de material químico, haciendo uso de métodos poco eficientes y confiables como: tablas, inspección y conversiones, todas estas determinadas por el operario, para poder llegar a valores aproximados en la dosificación del material químico suministrado en la alfombra, siendo así, este el principal problema que representa implícitamente costos de pérdida del material químico.

La máquina de dosificación tiene un principio básico, se maneja por medio de un controlador (PI en el módulo DRY-310) que controla a un motor trifásico jaula de ardilla, el cual, por medio de un tamizador que está adaptado al motor suministra las cantidades de material químico a la alfombra, la velocidad de transporte de la alfombra se da por medio de rodillos conectados a tres

motorestrifásicos jaula de ardilla. La alfombra es trasladada a una velocidad variable de 5 m/min hasta 15 m/min y por medio de esta velocidad se realizará el control de dosificación y temperatura.

La finalidad de este proyecto de grado, es que por medio de la implementación de un sistema de control para el proceso de dosificación de material químico, se obtendrán las cantidades deseadas de material químico para la alfombra y la fusión, de esta manera se garantiza la calidad del producto resultante.

CAPÍTULO II

IDENTIFICACIÓN DE LA MAQUINARIA DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN

2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO GENERAL DE MANUFACTURA DE ALFOMBRAS

ALFINSA utiliza alfombras con fibra de poliéster de origen nacional o importada, la cual llega en rollos de 25 metros con un ancho entre 1.60 y 2.00 metros. A esta alfombra se le aplica polvo de polietileno con una concentración entre 200 y 500 gramos por metro cuadrado la cual pasa por un proceso de calentamiento con la finalidad de que la alfombra quede plastificada y pueda ser manipulada para realizar el corte y la adaptación para el termoformado y prensado. La dosificación de material químico es una de las principales operaciones en la producción de alfombras automotrices.

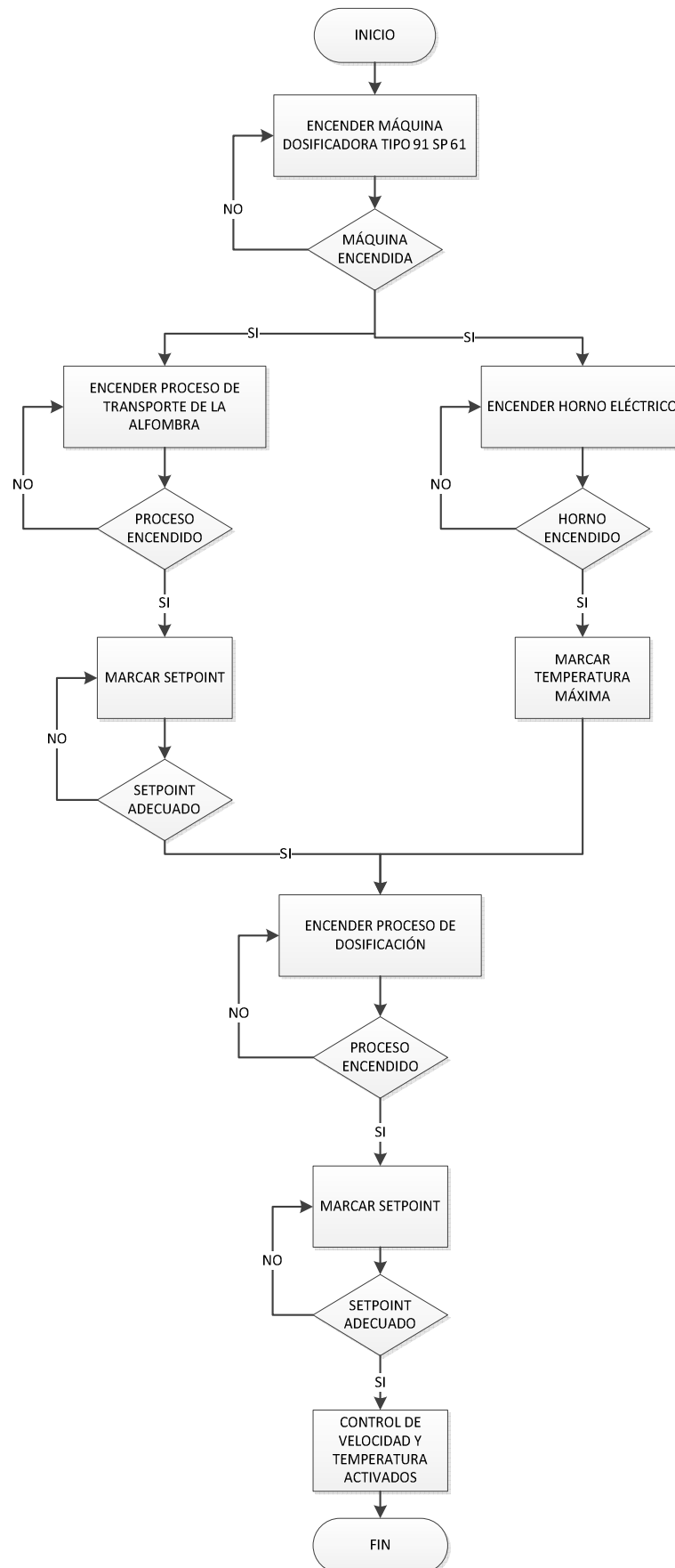
En la tabla 2.1 se muestran los diferentes valores de dosificación para el proceso de plastificación de alfombras que produce ALFINSA S.A, por lo tanto, el rango de operación de dosificación para el nuevo sistema de control está dado entre los 100 gr/m² y 500 gr/m² con un error del $\pm 10\%$.

El modo de operación está determinado por el comportamiento de la velocidad aplicada a los motores, la cantidad de material químico suministrado a las alfombras y el control de temperatura para plastificar dicha alfombra, con estas tres etapas se culmina el proceso de tratamiento de alfombras.

TIPO	ALFOMBRA	ANCHO (cm)	LECTURA EN LA MÁQUINA Gr/m ²	TEMPERATURA (°C)	LECTURA REAL Gr/m ²
VELOURS GRIS OBSCURO/ GRIS	PISO LUV D-MAX CS/CD	160±5	510	230±20	300±20
VELOURS GRIS OBSCURO/ GRIS	/ PISO KIA RIO	160±5	370	230±20	220±20
LISA GRIS POLIESTER	PISO DELANTERO /ASIENTO TRASERO KIA PREGIO	170±5	510	250±20	300±20
VELOURS GRAFITO	PISO GV3/5 PUERTAS/, PISO VITARA BASICO	170±5	450	230±20	270±20
LISA GRIS A POLIESTER	LATERALES KIA RIO	200±5	510	250±20	300±20
VELOURS NEGRA JASPEADA	PISO JIII	170±5	620	250±20	370±20
VELOURS NEGRA JASPEADA	BAÚL JIII	160±5	370	230±20	220±20
VELOURS GRIS OBSCURO	PISO BT 50	165±5	510	250±20	300±20
GRAFITO LISA	KIA SPORTAGE	155±5	420	230±20	250±20
ALFOMBRA GRIS CHINA	ALFOMBRA DE PISO SAIL	160±5	510	230±20	300±20
FIELTRO RIGIDO R.8	INSONORIZANTES CAPOT FACE LIFT	185+/-5	180	210±20	110+/-20
FIELTRO RIGIDO R.12	INSONORIZANTE / MOTOR PREGIO	185 +/- 5	180	210±20	110+/-20
NO TEJIDO POLIESTER (NEGROY BLANCO)	ASIENTO TRASERO CON POLIURETANO /CAPOT FACE LIFT /MOTOR GV 5P/ CAPOT GV5P/ASM DASH/MOTOR KIA RIO/ MOTOR SAIL	150+/-5	180	210±20	110+/-20
NO TEJIDO POLIESTER	BATERIA SPORTAGE	150+/-5	760	210±20	450±20

Tabla. 2.1. Valores de Dosificación

La figura 2.1 ilustra el diagrama del proceso de dosificación que realiza la máquina dosificadora Tipo 91 SP 61, que es descrito desde la etapa inicial (encendido de la máquina) hasta la etapa final (control de velocidad y temperatura activados), en todo el proceso existen características influyentes como por ejemplo la configuración de la velocidad de transporte (calandra), la temperatura para la fusión del material químico; las que modifican el desarrollo del proceso y los elementos que controlan. Dependiendo de las variables involucradas todo el proceso avanzará, de manera que todas las variables se verán reflejadas en el producto final que es la alfombra ya procesada con características propias y definidas por el operador.

**Figura. 2.1. Operación de la Máquina Dosificadora**

En la figura 2.2 se especifican los componentes que intervienen en el proceso general de manufactura de alfombras.

- A** Proceso de Dosificación
- B** Proceso de Calandrado
- C** Proceso de Transporte de la Alfombra

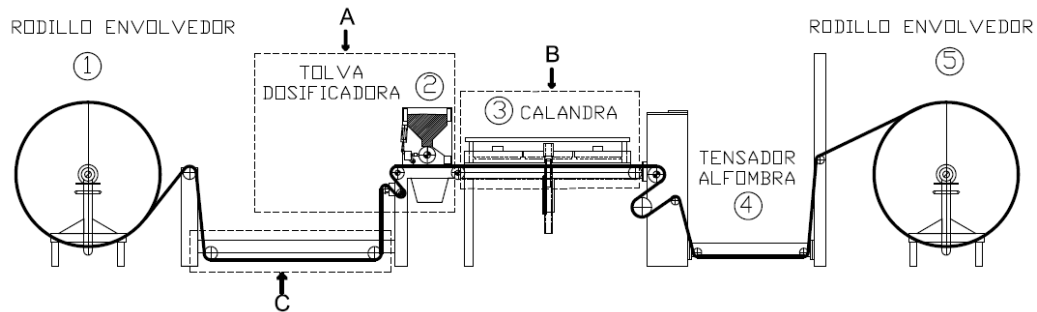


Figura. 2.2. Componentes del Proceso de Dosificación

2.2. PROCESO DE DOSIFICACIÓN

El proceso de dosificación tiene como función, suministrar polvo de polietileno en la alfombra. La variable que se controla en este proceso es la velocidad de giro de un motor. Inicia este proceso cuando el motor dosificador es encendido y procede a girar un cepillo cilíndrico en sentido anti-horario, haciendo que el polvo de polietileno empiece a caer en la alfombra, sin antes llenar la tolva dosificadora de material químico (polietileno). Un esquema del dosificador se muestra en la figura 2.3.

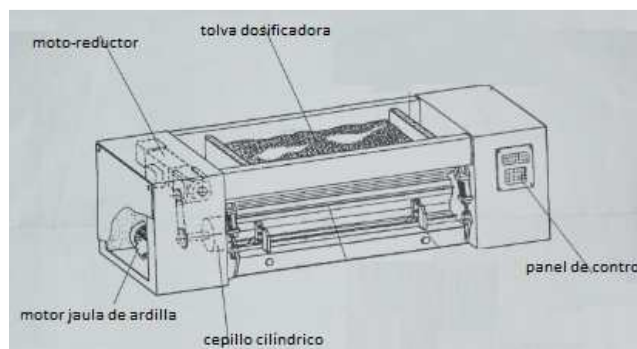


Figura. 2.3. Dosificador de Polvo de Polietileno

2.2.1. ELEMENTOS PARA LA DOSIFICACIÓN

Para realizar la dosificación se utiliza un cepillo cilíndrico acoplado mecánicamente a un motor mediante un sistema de piñones ubicados de acuerdo al esquema de la Figura 2.3. Dicho motor es comandado por la tarjeta DRY-310.

Los elementos que intervienen en el sistema de dosificación son:

- Tolva Dosificadora
- Cepillo Cilíndrico
- Motor Dosificador
- Tarjeta de Control DRY-310

Tolva Dosificadora

La tolva volumétrica se usa para agregar un producto o una mezcla a cierta velocidad. Consta de un transportador sobre el cual se monta un depósito de acumulación de polvo de polietileno, además es fabricada de acero inoxidable ya que está en contacto con el producto².

La figura 2.4 ilustra la tolva dosificadora y el cepillo cilíndrico. La tolva es utilizada para acumular el polvo de polietileno y por medio de la unidad de control denominada DRY-310 efectúa el control de velocidad para que el polvo de polietileno se suministre en la alfombra.

Cepillo Cilíndrico

Cuerpo plástico con una serie de perforaciones donde se insertan los mechones de fibra que dan una gran ligereza y una excelente relación calidad - precio. Los cepillos cilíndricos sin subcuerpo son de 100 mm como mínimo. Están provistos de una cavidad para el eje. Cuando el diámetro del eje es menor, se

² <http://www.premiertechieg.com/es/productos/tolva-volumetrica/>

pueden montar casquillos en las cavidades del eje para reducir su peso lo máximo posible.

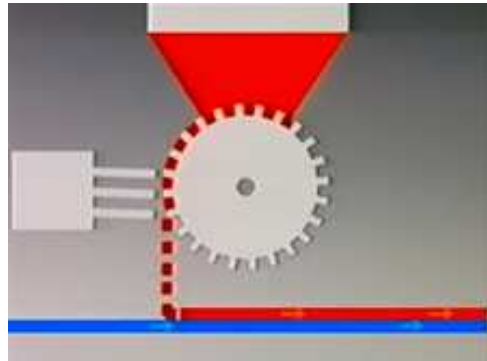


Figura. 2.4. Tolva Dosificadora

A fin de elegir el cepillo idóneo para cada caso, se deben tener en cuenta su finalidad y los materiales que se vayan a tratar. Actualmente, los cuerpos de plástico son la mejor solución. La figura 2.5 ilustra el cepillo industrial cilíndrico utilizado en la máquina dosificadora.

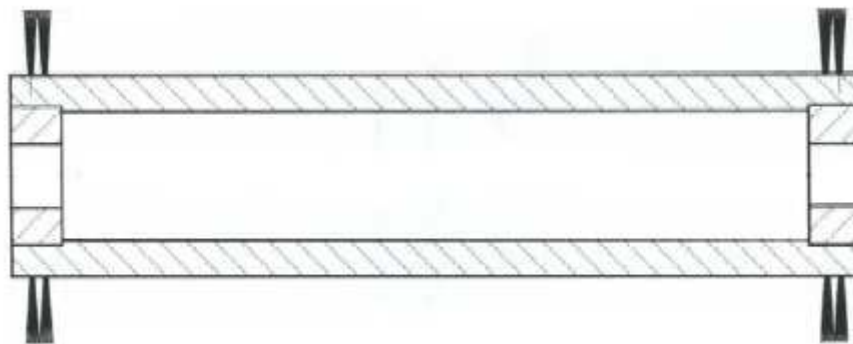


Figura. 2.5. Cepillo Cilíndrico

Materiales del cuerpo

La tabla 2.2 muestra los tipos de materiales del cuerpo del cepillo cilíndrico.

PP	Polipropileno, inocuo, gran rigidez y muy buena resistencia a los ácidos, resistente a temperaturas de 0 °C a +110 °C.
PA	Poliamida, buena resistencia a la lejía, consistente y dura, resistente a temperaturas de -40 °C a +110 °C.
PE	Polietileno, buena resistencia a los golpes, muy buena resistencia a los ácidos y la lejía, resistente a temperaturas de -50 °C a +70 °C.
POM	Polioximetileno, gran rigidez y resistencia, buena resistencia a los ácidos y la lejía, resistente a temperaturas de -40 °C a +100 °C.
PVC	Gran resistencia a los golpes, buena resistencia a los ácidos, resistente a temperaturas de -5 °C a +60 °C.

Tabla. 2.2. Tipo de material del cepillo cilíndrico

Densidad de la mata

EA 1 - Gran densidad de mata.

EA 2 - Densidad de mata normal.

EA 3 - Poca densidad de mata.

Clases de mata

Pelo natural, fibras vegetales, cerdas sintéticas, cerdas de esmerilar, alambres.³

Motor Dosificador

Para el proceso de dosificación la máquina consta de un motor trifásicojaula de ardilla de 1 HP a 220 V, y un moto-reductor de 2 HP a 220 V, con un índice de reducción (i) de 10.

³ <http://www.incale.com/es/productos/cepillos/tenicosindustriales/redondoscilindricos/421.html>

El motor jaula de ardilla es accionado por un contactor, es decir por arranque directo, el cual realiza la función de mover la tolva a una velocidad constante y en forma continua durante todo el proceso.

El moto-reductor es controlado mediante la tarjeta DRY-310, principalmente para mover el cepillo cilíndrico y así suministrar la caída de polvo de polietileno según lo que se desee.

Motor Jaula de Ardilla

Motores bajo norma internacional IEC, especialmente diseñados para ambientes severos y aplicaciones en industria pesada. Ideales para la industria del cemento, minería, metales, pulpa, papel y petroquímica; entre otras. Su diseño flexible permite que operen a tres tensiones y que su arranque se realice ya sea de manera directa, en estrella-triángulo, con arrancador suave o con variador de velocidad lo cual posibilita su aplicación en la totalidad de condiciones disponibles. Gracias a su alta resistencia mecánica y rodamientos especiales, pueden operar confiablemente por prolongados periodos de tiempo a pesar de estar sometidos a diferentes esfuerzos mecánicos.

Estructura de un Motor Jaula de Ardilla

Los motores de jaula de ardilla constan de dos partes fundamentales:

1. El estator, parte fija de la máquina, compuesta de una serie de chapas magnéticas aisladas entre sí para evitar las corrientes de Foucault, con una serie de ranuras interiores en las que se alojan los devanados de excitación, con un número de fases igual a las de la corriente eléctrica a la que esté conectado el motor.
2. El rotor, parte móvil de la máquina, constituida por unas barras de cobre o aluminio unidas en sus extremos por un disco de idéntico material⁴.

La figura 2.6 muestra la estructura de un motor trifásico jaula de ardilla.

⁴http://grupos.emagister.com/debate/control_de_motores_electricos_parte_2/1007-35525

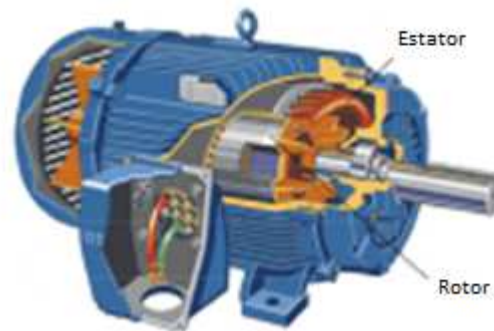


Figura. 2.6. Motor Trifásico Jaula de Ardilla

Características técnicas del Motor

- Tensiones conmutables 230V / 400V / 460VAC a 60Hz.
- Posibilidad de arranque directo en todos los tamaños constructivos.
- Posibilidad de arranque en estrella – triángulo a 230 VAC y 460 VAC.
- Clase térmica F.
- Tipo de servicio: S1
- Temperatura ambiente: -15 / 40°C
- Aptos para ser accionados con variador de velocidad.
- Disponibilidad en 2, 4 y 6 polos (3600, 1800 y 1200rpm)

El motor jaula de ardilla para este proceso tiene las siguientes características técnicas. Véase tabla 2.3.

Parámetro	Valor
Potencia nominal	1 [HP]
Voltaje nominal	220 V estrella / 440 V delta
Corriente nominal	3,5 A estrella / 1,75 A delta
Velocidad nominal	1650 [rpm]
Frecuencia nominal	60 [Hz]

Tabla. 2.3. Características Técnicas del Motor Jaula de ardilla

Moto-reductor

El moto-reductor está constituido por un motor jaula de ardilla y un reductor de tipo ortogonal.

Reductor

Un reductor es un equipo mecánico que reduce la velocidad a una tasa fija (relación de reducción i), transfiriendo potencia y amplificando el par (torque).

Reductor cónico-helicoidal

Son utilizados normalmente en aplicaciones en las cuales se requiere alta potencia acompañados de elevados torques de salida de manera constante. Son ortogonales (eje 90° respecto del eje del motor). Este tipo de reductor está disponible con eje macizo o hueco. Ver figura 2.7.



Figura 2.7. Reductor

Características técnicas del Reductor

- Carcasa con patas o brida
- Potencia: Hasta 240 kW
- Torque: Hasta 20,000 Nm
- Velocidad de salida: 0,06... 367 rev/ min

El moto-reductor encargado para el suministro de material químico en la máquina dosificadora posee las siguientes características. Véase tabla 2.4.

Parámetro	Valor
Potencia nominal	2 [HP]
Voltaje nominal	220 V estrella / 440 V delta
Corriente nominal	6,2 A estrella / 3,1 A delta
Velocidad nominal	1650 [rpm]
Factor de reducción	10 [i]
Frecuencia nominal	60 [Hz]

Tabla. 2.4. Características Técnicas del Moto-Reductor

Tarjeta de Control DRY-310

La unidad de control trifásica DRY-310 es la que permite la regulación de la velocidad de los motores trifásicos jaula de ardilla. La velocidad del motor se mantiene constante en el rango del torque del motor según lo que requiera el operador.

La figura 2.8 muestra el diagrama básico de la tarjeta de control DRY-310.

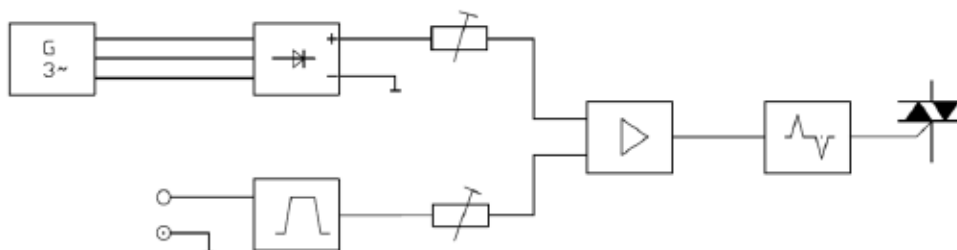


Figura. 2.8. Diagrama de la Tarjeta DRY-310

El valor de realimentación para el suministro de polvo de polietileno en el proceso de dosificación está generado por un tacómetro trifásico 3 x 20V/1000 r.p.m., ajustado en el moto-reductor y diseñado para operaciones libres de

mantenimiento. El voltaje trifásico A.C. es convertido en un voltaje D.C. por medio de un rectificador activo electrónico. Este voltaje D.C. es realimentado al amplificador de control y representa el valor de la velocidad.

El valor de referencia para el suministro de polvo de polietileno es usualmente provisto por un potenciómetro externo cuyo valor nominal es de 5 [kOhms]. La unidad de encendido genera pulsos para los triacs dependiendo de las señales de salida del amplificador de control y el cambio de fase de la carga. La etapa de encendido esta sincronizada acorde a la corriente a través los triacs. Los pulsos de encendido están en el primer o tercer cuarto del periodo sinusoidal. El consumo de energía es aproximadamente 2 watts.⁵

Características técnicas de la tarjeta DRY-310

En la tabla 2.5 se incluye datos técnicos relativos a la maquinaria que interviene en el proceso completo de manufactura de alfombras.

Encabezado	Descripción
Modelo	Scatter Coater Type 91
Dimensiones	4.25x13.5
Peso de la Máquina	Peso de la base Peso/m 400 kg 100 kg
Capacidad de suministro	5-4000g/m por minuto dependiendo de las RPM del cilindro enrollador
Poder E.L	3-fases
Hp instalado	P=1.4 [kW]
Ubicación del panel de control	Ubicado en la parte posterior

Tabla. 2.5. Ficha técnica de la tarjeta DRY-310

En la tabla 2.6 se muestra las características técnicas de la tarjeta DRY-310.

2.3. PROCESO DE CALANDRADO

Calandrado es un proceso de conformado que consiste en pasar un material sólido a presión entre rodillos de metal que giran para realizar el transporte de la alfombra. La finalidad de este proceso es obtener una alfombra plastificada.

⁵Manual técnico de la máquina dosificadora, tarjeta DRY 310, otorgado por la empresa ALFINSA S.A.

Se denomina calandra a la máquina que se emplea en los telares o alfombras con el propósito de dar un acabado de calidad a la tela o alfombra en producción.⁶

Enunciado	Descripción
Suministro Principal	3x380V+Mp/50...60Hz
Pre-Fusibles Principales	3x10[A] super rápidos
Punto de carga central	min. 10[A]
Variación principal de voltaje	+/- 10 %
Variación de frecuencia	+/-5 %
Voltaje de referencia	+10[V]
Carga en los terminales 16 y 18	10[mA]
Dependencia principal de voltaje	+/-0.5 %
Dependencia de temperatura	+/-0.2 %.. °C
Valor de Voltaje nominal	0...+10[V] DC
Mínima impedancia nominal del circuito	Aprox. 120[k Ohm]
Mínima carga del valor nominal	2.2[k Ohm]
Carga recomendada del valor nominal	4,7.5 [k Ohm]
Máximo valor de voltaje realimentación 3AC	0...80[V]
Valor de corriente de Realimentación	3[mA]
Precisión del Control (con referencia a los 10V del valor estático nominal)	
a +/-50 % variación de la carga	+/-1 %
a +/-5 % variación del votaje principal	+/-1 %
a +/-10 % variación de la temperatura	+/-1 %
Rango velocidad de control con tacómetro trifásico	1 : 300 2-pol
Valor real mostrado	Max. 10 [V] DC
Voltímetro Recomendado	0... 5 [V] DC
con potenciómetro ajustado Ri/min. 1k Ohm/V)	5...15 [V] DC
Rango de Temperatura sobre	
1000 m sobre el nivel del mar a JN	0...45°C
Max. Altitud de instalación	4000 [m] sobre n.d.m
edución de la corriente entre >45°C a max. 65°C	1,5 % °C
Resistividad climática DIN 40040	Clase G

Tabla. 2.6. Datos técnicos tarjeta DRY-310

El proceso de calandrado empieza cuando la alfombra está cubierta de polvo de polietileno, ya que el primer paso es calentar la alfombra para que el material químico sea fundido y mediante el transporte de la alfombra se obtiene el producto plastificado.

2.3.1. ELEMENTOS DE LA CALANDRA

El proceso de calandrado está conformado por un sistema de calentamiento para la alfombra, constituido por una plancha industrial y tres resistencias

⁶ <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4838/1/CD-4431.pdf>

eléctricas que son las que realizan el trabajo de calentamiento. El control de temperatura es realizado a base de una unidad de control denominada MCM 134, siendo controlado por un sensor de temperatura (termocupla tipo K) y un switch electromagnético como actuador. La velocidad del rodillo de la calandra está controlado por la tarjeta DRY-310, que controla un motor trifásico mediante una velocidad variable. Véase figura 2.9.

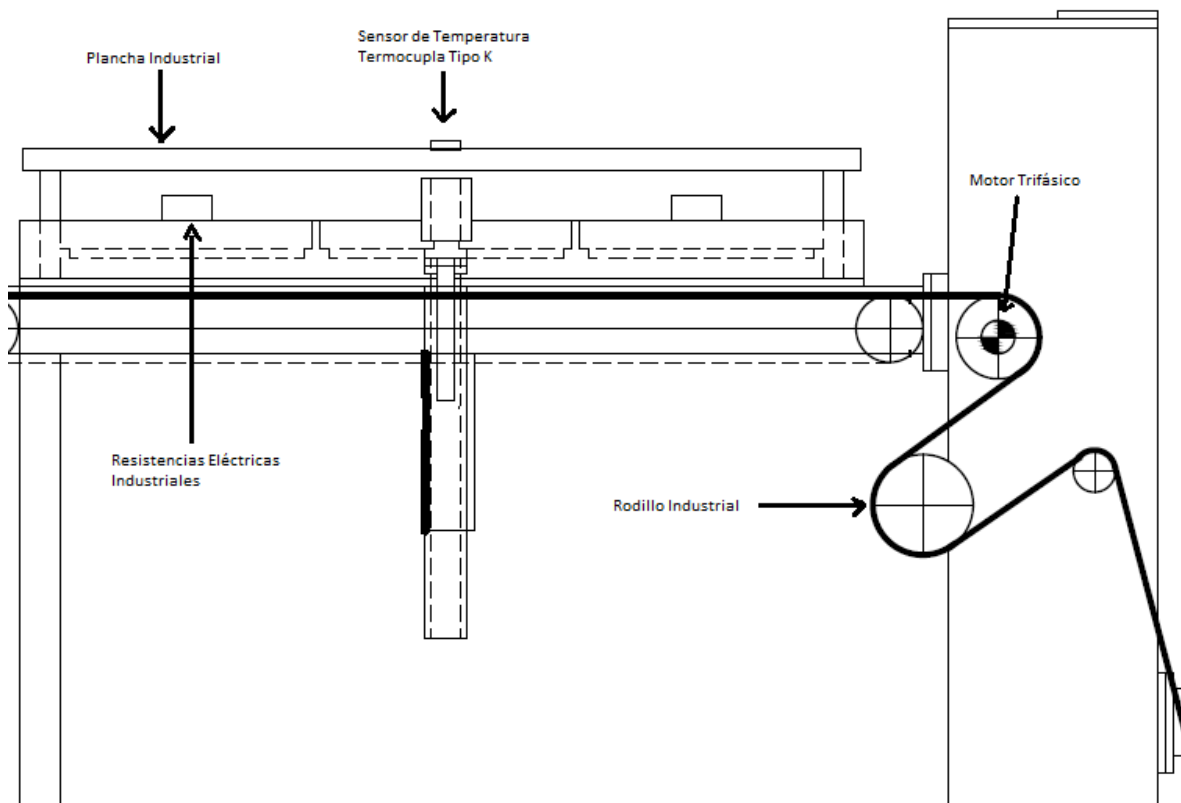


Figura. 2.9. Sistema de Calandrado

Los elementos que intervienen en el Proceso de Calandrado son:

- Plancha Industrial.
- Resistencia Eléctrica Industrial.
- Controlador de Temperatura.
- Rodillo Industrial.
- Motor Trifásico.

- Sensor de Temperatura (Termocupla tipo K).

Plancha Industrial

La plancha industrial tiene la misma función de un horno industrial de resistencias, ya que son aquellos en que la energía requerida para su calentamiento es de tipo eléctrico y procede de la resistencia óhmica directa de las piezas o de resistencias eléctricas dispuestas en la plancha que se calientan por efecto Joule y ceden calor a la carga por las diversas formas de transmisión de calor. Véase figura 2.10.

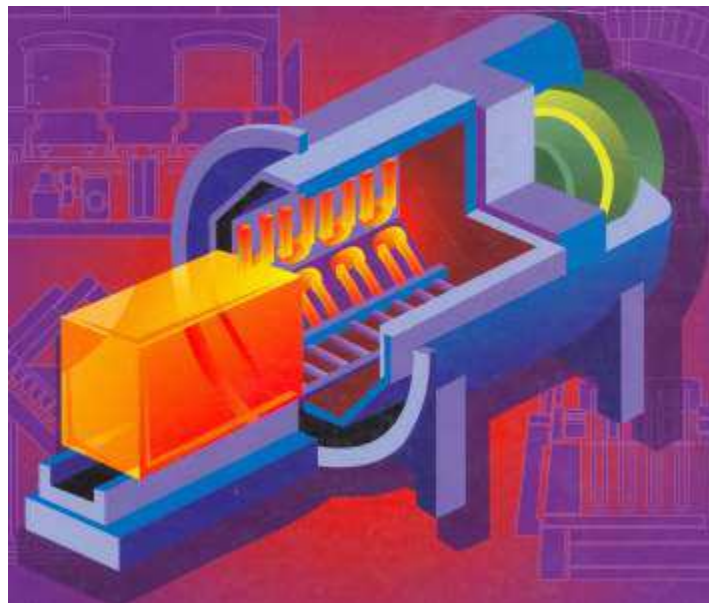


Figura. 2.10. Horno de Resistencias.

El efecto Joule fue definido de la siguiente manera: "La cantidad de energía calorífica producida por una corriente eléctrica, depende directamente del cuadrado de la intensidad de la corriente, del tiempo que ésta circula por el conductor y de la resistencia que opone el mismo al paso de la corriente". Matemáticamente:

$$Q = I^2 * R * t \quad \text{Ecuación (2.1)}$$

Donde:

Q = Energía calorífica producida por la corriente expresada en Julios

I = Intensidad de la corriente que circula

R = Resistencia eléctrica del conductor

t = Tiempo

Resistencia Eléctrica Industrial.

El calentamiento de piezas por resistencias eléctricas puede ser directo, cuando la corriente eléctrica pasa por las piezas, o indirecto, cuando las piezas se calientan por radiación, convección o una combinación de ambas, procedente de las resistencias propiamente dichas dispuestas en las proximidades de las piezas.

El calentamiento por resistencia directa es adecuado para piezas metálicas de gran longitud y sección pequeña y uniforme, tales como barras, palanquillas, varillas, alambres y pletinas. Como se obtienen tiempos de calentamiento muy cortos, pueden acoplarse los equipos a la cadencia de laminación, forja o conformado en caliente.

La conexión directa de las resistencias a la red es de 220 o 380 VAC, lo que en circuitos en estrella o en triángulo permite tener en cada rama de las resistencias 127, 220 o 380 VAC⁷.

Las resistencias eléctricas son de pletina ubicadas en la parte superior de la plancha industrial. La figura 2.11 ilustra las resistencias eléctricas utilizadas en la máquina dosificadora.



Figura. 2.11. Resistencias Eléctricas utilizadas en la Máquina Dosificadora.

⁷<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion2.Hornos.RESISTENCIAS.2006.pdf>

El sistema consta de una potencia de 5 HP de tal manera que la potencia de la resistencia eléctrica debe ser de un mínimo de 3 KWatts.

Controlador de Temperatura

La figura 2.12 muestra el controlador de temperatura MCM 134.



Figura. 2.12. Controlador de Temperatura.

El controlador de temperatura MCM 134 consta de las siguientes características:

- AutoTuning.
- Control PID por zonas y por grupos.
- 3 puntos de seteo.
- Entrada/Salida universal.
- Alarma sobrecalentamiento.
- Protección IP 65.

Utiliza una termocupla tipo K para sensar la temperatura y utiliza la salida para accionar un relé de estado sólido que funciona como elemento de potencia para encender y apagar la resistencia eléctrica.

Relé de Estado Sólido

Es el elemento de potencia utilizado en el proceso de calentamiento de la plancha industrial. El relé tiene dos funciones importantes; la primera es la de aislar la potencia y el control del sistema de calentamiento con el fin de proteger al controlador frente cualquier falla. La segunda es la de amplificar la corriente ya

que su entrada consume poca energía y la corriente de salida depende de la carga instalada y puede llegar a ser de 40 A.

La principal ventaja de los relés de estado sólido es que no tienen partes móviles por tanto son mucho más rápidos en su accionamiento. Además no requieren ningún mantenimiento y su tiempo de vida útil es mayor con respecto a los relés convencionales. Véase figura 2.13.



Figura. 2.13. Relé de Estado Sólido.

Rodillo Industrial

Los rodillos para banda proveen el soporte para la carga y la guía de la banda tanto en tanto en el lado de transporte como en el de retorno. Siguiendo la más estricta aplicación de la norma CEMA los rodillos están diseñados para una larga vida útil que permita proveer a su transportador de banda largos períodos de operación. La figura 2.14 ilustra uno de los rodillos de la máquina dosificadora.



Figura. 2.14. Rodillo Industrial de la Máquina dosificadora.

Motor Trifásico

El motor utilizado para el movimiento de la banda mediante el rodillo industrial es de 1,1 HP, este motor es controlado por la tarjeta de control DRY-310.

Sensor de Temperatura

La termocupla es el sensor de temperatura más utilizado industrialmente. Una termocupla se hace con dos alambres de distinto material unidos en un extremo (soldados generalmente). Al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño (por efecto Seebeck) del orden de los milivolts el cual aumenta con la temperatura. Por ejemplo, una termocupla "tipo J" está hecha con un alambre de hierro y otro de constantán (aleación de cobre y nickel) Al colocar la unión de estos metales a 750 °C, debe aparecer en los extremos 42,2 milivolts.

Normalmente las termocuplas industriales se consiguen encapsuladas dentro de un tubo de acero inoxidable u otro material (vaina), en un extremo está la unión y en el otro el terminal eléctrico de los cables, protegido adentro de una caja redonda de aluminio (cabezal). Este tipo de sensor se fundamenta en la generación de una fuerza electromotriz producida por la unión de dos metales conductores distintos que están sometidos a temperatura, siendo el valor de la fuerza electromotriz, proporcional a ésta. Dependiendo del material de los conductores, se pueden encontrar los siguientes tipos más comunes y sus rangos de trabajo.

Termocupla Tipo K: Níquel / Cromo Níquel; Rango 0 a 1000°C. Se usa típicamente en fundición y hornos a temperaturas menores de 1300 °C, por ejemplo fundición de cobre y hornos de tratamientos térmicos.

El sensor que utiliza la máquina dosificadora es una termocupla tipo K con vaina metálica, cabezal de aluminio y bornera cerámica. Este tipo de construcción podrá presentarse con vainas de acero inoxidable AISI 304, AISI 316 o Inconel 600

en distintos diámetros. El cabezal de aluminio con tapa roscada y en distintos tamaños normalizados, podrá suministrarse con bornera de conexiones o transmisores de temperatura con salida 4-20 mA. La conexión a proceso será roscada, pudiendo ser fija o giratoria y deslizable para su ajuste final. Cuando las condiciones del proceso resulten mecánicamente agresivas, estos sensores podrán proveerse con construcción tipo compactada con aislación mineral. Ver figura 2.15.



Figura. 2.15. Sensor de Temperatura termocupla tipo K.

Linealización

La dependencia entre el voltaje entregado por la termocupla y la temperatura no es lineal, por lo tanto, el instrumento electrónico destinado a mostrar la lectura, debe efectuar la linealización. La figura 2.16 muestra la curva de la termocupla tipo K.

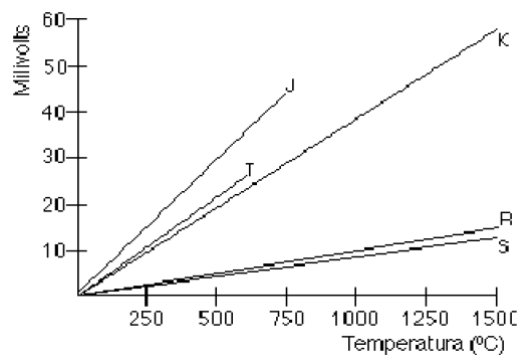


Figura. 2.16. Curva del Sensor de Temperatura termocupla tipo K.

Medición de temperatura con termocupla y voltímetro

1. Medir con un voltímetro (en la escala de mV) el voltaje que entrega la termocupla (Vt).
2. Medir la temperatura ambiente Ta (temperatura del contacto de las puntas del voltímetro con los cables de la termocupla).
3. Buscar en la tabla 2.7. el voltaje que corresponde a la temperatura Ta.
4. Hacer la suma de los 2 voltajes obtenidos ($V = Vt + Vta$).
5. Buscar en la tabla 2.7 a que temperatura corresponde esta tensión (V). Esta será la temperatura real a la que está sometida la termocupla.

Por ejemplo: Se mide en una termocupla K un voltaje de 8,90 mV. Si la temperatura ambiente en los contactos es 25 °C, entonces en la tabla esto corresponde a 1,00 mV. Luego $V = 8,90 + 1,00 = 9,90$ mV, esto según la tabla 2.7 corresponde a 244°C.⁸

Termocupla tipo K - Equivalencias: grados celsius - milivoltios													
°C	mV	°C	mV	°C	mV	°C	mV	°C	mV	°C	mV	°C	mV
0	0,00	200	8,13	400	16,40	600	24,91	800	33,30	1000	41,31	1200	48,89
10	0,40	210	8,54	410	16,82	610	25,34	810	33,71	1010	41,70	1210	49,25
20	0,80	220	8,94	420	17,24	620	25,76	820	34,12	1020	42,09	1220	49,62
30	1,20	230	9,34	430	17,67	630	26,19	830	34,53	1030	42,48	1230	49,98
40	1,61	240	9,75	440	18,09	640	26,61	840	34,93	1040	42,87	1240	50,34
50	2,02	250	10,16	450	18,51	650	27,03	850	35,34	1050	43,25	1250	50,69
60	2,43	260	10,57	460	18,94	660	27,45	860	35,75	1060	43,64	1260	51,05
70	2,85	270	10,98	470	19,37	670	27,87	870	36,15	1070	44,02	1270	51,41
80	3,26	280	11,39	480	19,79	680	28,30	880	36,55	1080	44,40	1280	51,76
90	3,68	290	11,80	490	20,22	690	28,72	890	36,96	1090	44,78	1290	52,11
100	4,10	300	12,21	500	20,65	700	29,14	900	37,36	1100	45,16	1300	52,46
110	4,51	310	12,63	510	21,07	710	29,56	910	37,76	1110	45,54	1310	52,81
120	4,93	320	13,04	520	21,50	720	29,98	920	38,16	1120	45,92	1320	53,16
130	5,33	330	13,46	530	21,92	730	30,39	930	38,56	1130	46,29	1330	53,51
140	5,73	340	13,88	540	22,35	740	30,81	940	38,96	1140	46,67	1340	53,85
150	6,14	350	14,29	550	22,78	750	31,23	950	39,35	1150	47,04	1350	54,20
160	6,54	360	14,71	560	23,20	760	31,65	960	39,75	1160	47,41	1360	54,54
170	6,93	370	15,13	570	23,63	770	32,06	970	40,14	1170	47,78	1370	54,88
180	7,33	380	15,55	580	24,06	780	32,48	980	40,53	1180	48,15		
190	7,73	390	15,98	590	24,48	790	32,89	990	40,92	1190	48,52		

Tabla. 2.7. Equivalencia de temperatura termocupla tipo K.

⁸ <http://www.metring.com/notes/Hi-10-10-MT2009.pdf>

2.4. PROCESO DE TRANSPORTE DE LA ALFOMBRA

El proceso de transporte de la alfombra está conformado por rodillos envolvedores en el inicio y fin de la máquina dosificadora.

Para acoplar el rodillo de la calandra, la máquina dosificadora consta de dos rodillos más, acoplados a motores trifásicos controlados por la tarjeta DRY-310, este acople se lo realiza para que la alfombra no se enrede en el transcurso del transporte.

Tensador para la alfombra

El tensador es utilizado para el transporte de la alfombra, este es colocado en los rodillos de la máquina y es controlado por la tarjeta DRY-310 que controla los motores trifásicos mediante una velocidad variable.

Rodillo envolvedor

El rodillo envolvedor es utilizado para colocar la alfombra, y esta sea desenrollada durante la trayectoria del proceso, la colocación de la alfombra es un proceso manual realizado por los trabajadores del proceso.

La figura 2.17 ilustra el proceso de transporte de la alfombra.

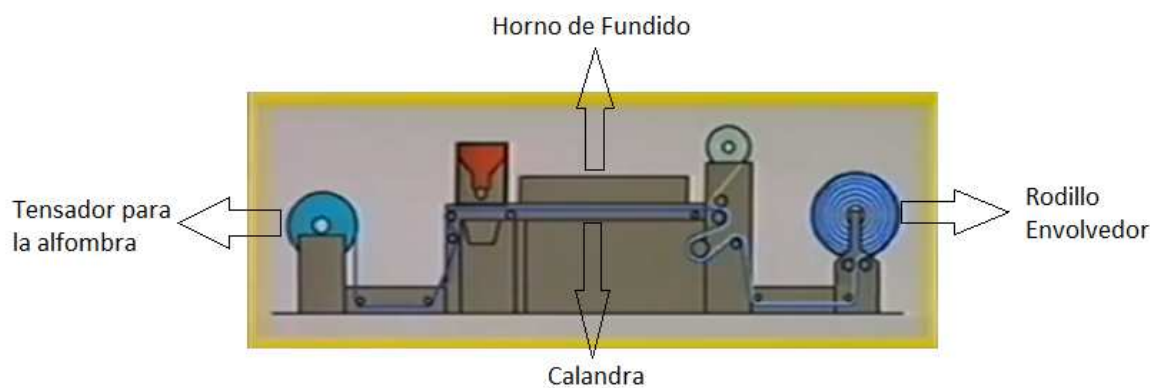


Figura. 2.17. Proceso de transporte de la alfombra.

Para la calandra, los rodillos de transporte y la dosificación se debe utilizar diferentes tarjetas DRY-310, por lo tanto el sistema consta de 4 tarjetas DRY-310 ubicados de la siguiente manera:

- Para la calandra 1 tarjeta DRY-310.
- Para los rodillos de transporte 2 tarjetas DRY-310.
- Para la dosificación 1 tarjeta DRY-310.

CAPÍTULO III

DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

El diseño de ingeniería se describe como el proceso de aplicación de las diversas técnicas y principios científicos, con el objeto de definir un dispositivo, un proceso o un sistema con suficiente detalle para permitir su realización.

3.1. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

Los requerimientos del nuevo sistema de control establecidos por parte de la empresa son los siguientes:

- Sistema de control basado en un controlador lógico programable.
- Para la visualización y control del proceso se requiere de un panel de operador táctil.
- La comunicación entre el PLC y el panel view debe ser Ethernet.
- Control de Temperatura on-off con histéresis.
- Inclusión de pulsadores para la desconexión inmediata de cargas encaso de emergencia y para operaciones de rutina.
- Incorporación de señalización y alarma.
- El sistema de control debe estar operativo 12 horas al día.

Los requerimientos del proceso vienen dados por los siguientes aspectos a mencionar.

Funcionamiento

Para el diseño del sistema de fuerza y control se tuvo presente que el nuevo sistema de control cumpla con las mismas funciones que el anterior ya que es un reemplazo de las tarjetas de control por el PLC, por lo que se analizó el funcionamiento del proceso.

Necesidades de los Operadores

En razón al trabajo rutinario y repetitivo realizado por los operadores es necesario que el nuevo sistema no represente un cambio drástico en lo que se refiere al manejo y operación del proceso, puesto que esto involucra tiempos de readaptación más largos e innecesarios.

Seguridad

El nuevo sistema debe garantizar una seguridad para el personal de operación y mantenimiento, por lo que se deben aplicar normas de seguridad para instalaciones eléctricas industriales. Los elementos de protección deben ser bien dimensionados y seleccionados para garantizar la vida útil de los componentes electrónicos.

Voltaje y frecuencia de la red eléctrica

Se debe tomar en cuenta que la empresa tiene una red de alimentación a 440 [VAC], 60 [Hz].

Adaptación del sistema

El nuevo sistema debe estar en la posibilidad de adaptarse fácilmente a modificaciones o ampliaciones que se presenten en el proceso de dosificación.

Condiciones ambientales

El nuevo sistema debe considerar principalmente condiciones de polvo, agua y vibraciones para los componentes que irán dentro del gabinete industrial.

3.2. DIAGRAMA P&ID DE LA MÁQUINA DOSIFICADORA

El diagrama P&ID (figura 3.1.) representa gráficamente los elementos que permitirán realizar la automatización del proceso. Los P&ID son el paso inicial de la ingeniería básica, en la que se estudia una fase de conceptualización, plan o resumen que resulta de los trabajos preliminares y selección de la mejor opción para el proceso de dosificación.

Para designar y representar los instrumentos de medición y control se empleó la norma ISA (Instrument Society of America).

La nomenclatura y símbolos básicos de los elementos se muestran en la tabla 3.1.

El proceso general de dosificación de alfombras está compuesto por tres procesos; Dosificación, Transporte y Calandrado, por lo que se detalla los componentes presentes en cada proceso:

1. El proceso de dosificación tiene como función, suministrar polvo de polietileno en la alfombra por medio de una tolva dosificadora con un mecanismo de tamizado del material químico por medio del ajuste de la velocidad de un moto-reductor. El mecanismo de conexión entre el moto-reductor de dosificación y la tolva dosificadora es un eje metálico que va conectado en el eje de salida del motor y la entrada horizontal del cepillo cilíndrico. La tensión que se maneja en el motor de dosificación es de 220 [VAC], del sistema de distribución de la máquina. La variable que se controla en este proceso es la velocidad de giro, ya que a más revoluciones funcione el material químico caerá más rápido en la alfombra,

de igual manera en el proceso inverso a menores revoluciones del motor el material químico presente en la alfombra será menor. Inicia este proceso cuando el motor dosificador es encendido y procede a girar un cepillo cilíndrico en sentido anti-horario, haciendo que el polvo de polietileno empiece a caer en la alfombra, sin antes llenar la tolva dosificadora de material químico (polietileno). Véase figura 3.2.

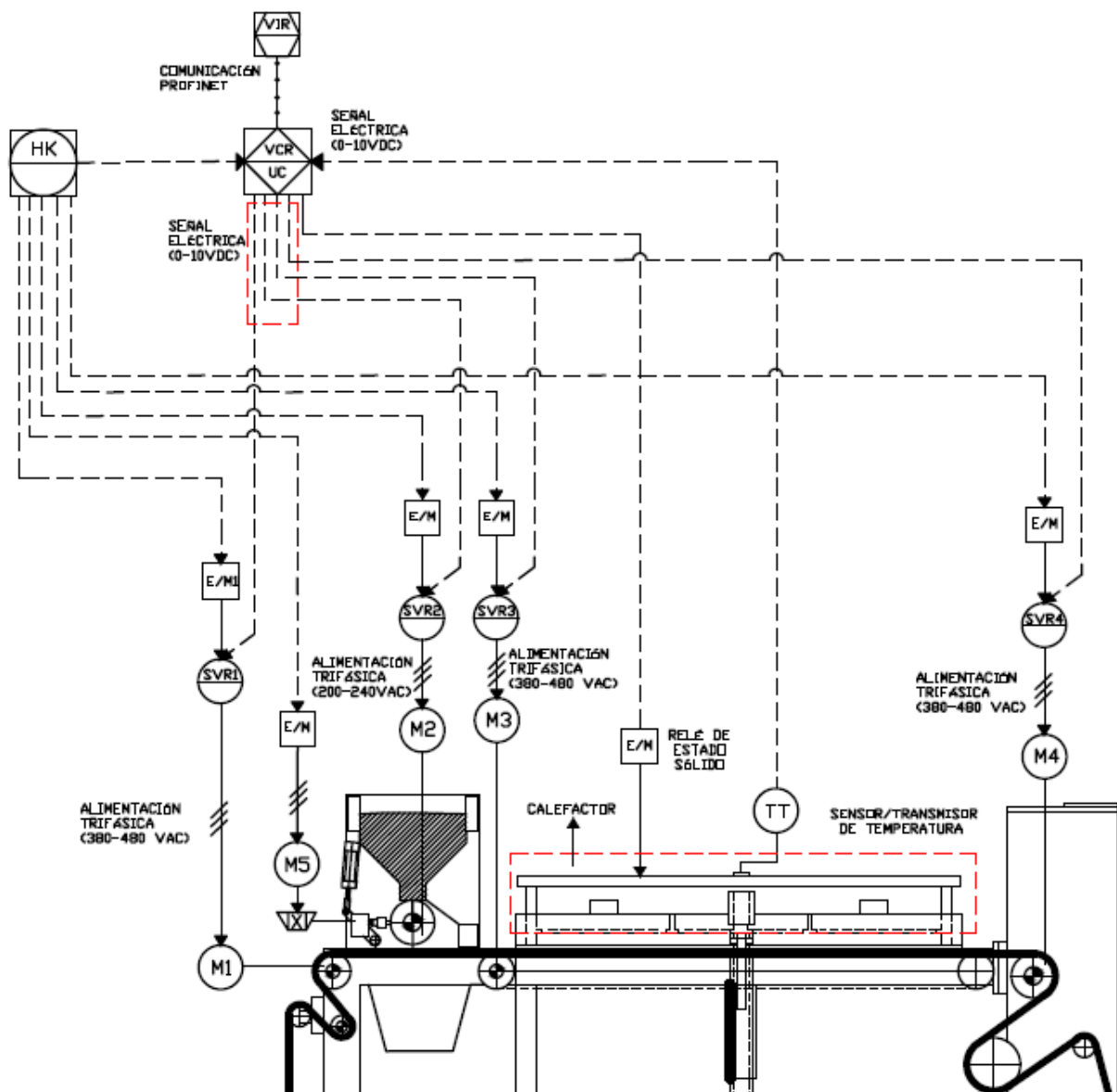


Figura 3.1. Diagrama P&ID del Sistema

Nomenclatura	Descripción
M1	Motor que es utilizado para el proceso de traslado de la alfombra
M2	Moto-reductor que mueve el cepillo cilíndrico para que sea efectivo el proceso de dosificación
M3	Motor que es utilizado para el proceso de traslado de la alfombra
M4	Motor que es utilizado para finalizar el proceso de traslado de la alfombra y proceso de calandrado
M5	Motor que es utilizado para hacer vibrar la tolva dosificadora.
HK	Estación de Control manual.
VIR	Registrador Indicador de Velocidad. Panel View.
VCR	Registrador Controlador de Velocidad. PLC.
SVR1	Regulador Variador de Velocidad para M1.
SVR2	Regulador Variador de Velocidad para M2.
SVR3	Regulador Variador de Velocidad para M3
SVR4	Regulador Variador de Velocidad para M4
TT	Sensor/Transmisor de Temperatura
E/M	Elemento electro-magnético (Contactor)

Tabla 3.1. Nomenclatura de los elementos del Sistema

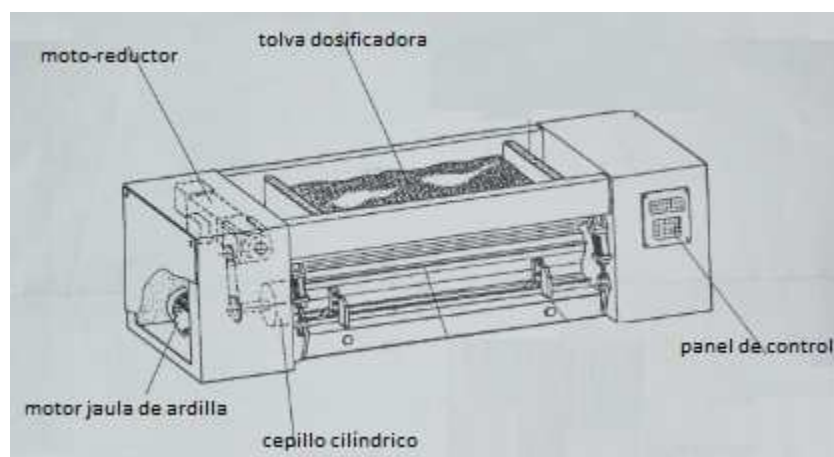


Figura 3.2. Elementos que intervienen en el Proceso de Dosificación.

La figura 3.3 ilustra los dispositivos que intervendrán en el proceso de dosificación sabiendo el funcionamiento de cada uno de los actuadores, que para este proceso son: moto-reductor (M2) para la dosificación y motor jaula de ardilla (M5) para la vibración de la tolva.

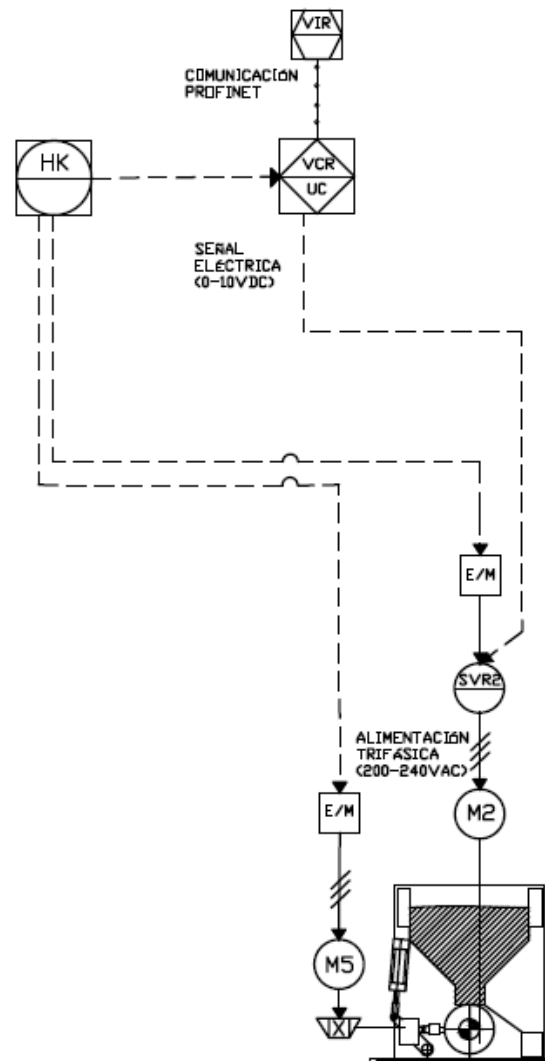


Figura 3.3. Dispositivos de diseño para el Proceso de Dosificación.

El moto-reductor (M2) será regulado por un Variador de Frecuencia (SVR2), el cual es activado por un contactor (E/M), desde el panel de control manual (HK) y el PLC (VCR). La variable a controlar es la velocidad de giro en revoluciones por minuto seteadas desde el Panel View (VIR).

- La comunicación entre el PLC (VCR) y el Panel View (VIR), es Profinet.
- La señal analógica de control de salida del PLC (VCR) es de 0 a 10 VDC por lo que el Variador de Frecuencia (SVR2) deberá tener una señal analógica de entrada de 0 a 10 VDC.
- La alimentación del moto-reductor (M2) es trifásica de 200-240 VAC.

El motor (M5) es aquel que hace vibrar la tolva para poder utilizar todo el material químico, este motor es arrancado directamente desde el panel de control manual (HK).

- La alimentación del motor es trifásica (M5) de 200-240 VAC.
2. Calandrado es un proceso de conformado que consiste en pasar un material sólido a presión entre rodillos de metal que giran para realizar el transporte de la alfombra pasando por una etapa de fundido por la temperatura. Dos son los elementos que actúan, principalmente el motor jaula de ardilla accionado a 440 [VAC] y las resistencias industriales mostrados en la figura 3.4. A diferencia de otros procesos dos son las variables que interviene, la velocidad del motor que por medio de una cadena y un engranaje ajustado al rodillo controlan la velocidad de transporte de salida de la alfombra y la temperatura fijada en la resistencia industrial para la fundición de material químico suministrado en la alfombra. La relación entre los dos es primordial ya que a una velocidad demasiado rápida la resistencia no será capaz de fundir el material químico en la alfombra y en el caso inverso tomando demasiado tiempo en la salida, es decir la velocidad del motor sea muy lenta y por ende el accionamiento del engranaje no sea rápido y la temperatura demasiado alta la alfombra se quema.

La figura 3.5 ilustra los dispositivos que intervendrán en el proceso de calandrado sabiendo el funcionamiento de cada uno de los actuadores, que para este proceso son: motor (M4) para el traslado final de la alfombra y sensor de temperatura (TE) para fundir dicha alfombra.

El motor (M4) será regulado por un Variador de Frecuencia (SVR4), el cual es activado por un contactor(E/M), desde el panel de control manual (HK) y el PLC (VCR). La variable a controlar es la velocidad de giro en revoluciones por minuto seteada desde el Panel View (VIR).

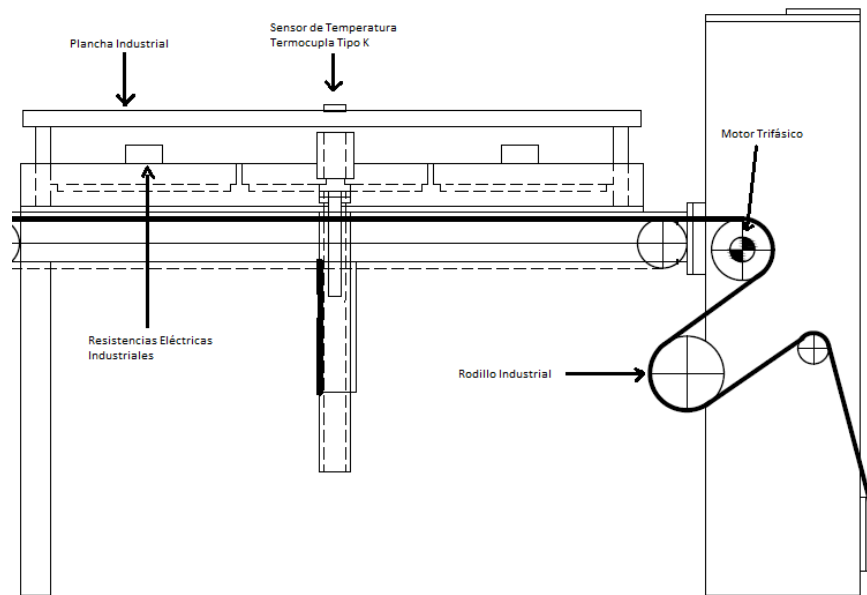


Figura 3.4. Elementos que intervienen en el Proceso de Calandrado.

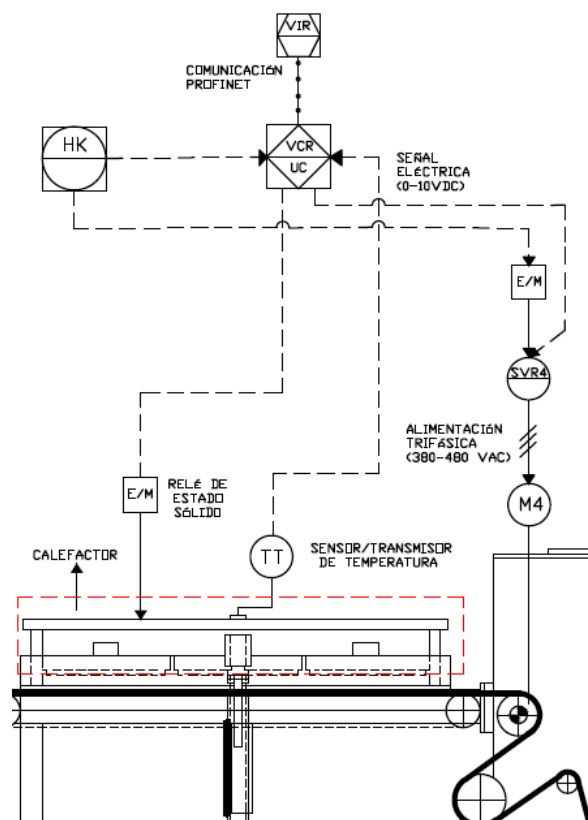


Figura 3.5. Dispositivos de diseño para el Proceso de Calandrado.

- La comunicación entre el PLC (VCR) y el Panel View (VIR), es Profinet.
- La señal analógica de control de salida del PLC (VCR) es de 0 a 10 VDC por lo que el Variador de Frecuencia (SVR4) deberá tener una señal analógica de entrada de 0 a 10 VDC.

- La alimentación del motor (M4) es trifásica de 380-480 VAC.
 - El sensor/transmisor de temperatura (TT) enviará una señal de control al PLC (VCR), el cual realizará un control on-off con histéresis.
 - La señal de control del sensor/transmisor de temperatura (TT) deberá ser acondicionada de 0 a 10 VDC dentro del programa del PLC (VCR) ya que la señal del sensor está dada en milivoltios.
3. El proceso de transporte de la alfombra está conformado por rodillos envolvedores en el inicio y fin de la máquina dosificadora que son controlados por dos motores jaula de ardilla, alimentados con 440 [VAC]. Para acoplar el rodillo de la calandra, la máquina dosificadora consta de dos rodillos más, acoplados a motores trifásicos y controlados por las tarjetas DRY-310, este acople se lo realiza para que la alfombra no se enrede en el transcurso del transporte. La variable que se va a controlar en estos dos dispositivos es la velocidad de giro de cada uno de los motores para ser más específicos las revoluciones por minuto, los motores transportan el movimiento producido por medio de cadenas y engranajes hacia una malla de aluminio que gira constantemente para lograr el transporte de la alfombra desde el punto de entrada hacia la salida, de igual manera que el proceso de calandrado la velocidad implícita en este proceso dependerá mucho de la temperatura ya que a mayor velocidad el material no será fundido por la resistencia industrial.

La figura 3.6 ilustra los dispositivos que intervendrán en el proceso de transporte sabiendo el funcionamiento de cada uno de los actuadores, que para este proceso son: motor (M1) y motor (M3) para trasladar la alfombra.

El motor (M1) y (M3) serán regulado por Variadores de Frecuencias (SVR1) y (SVR3) según corresponda, los cuales son activados por contactores (E/M), desde el panel de control manual (HK) y el PLC (VCR). La variable a controlar es la velocidad de giro en revoluciones por minuto seteada desde el Panel View (VIR).

- La comunicación entre el PLC (VCR) y el Panel View (VIR), es Profinet.

- La señal analógica de control de salida del PLC (VCR) es de 0 a 10 VDC por lo que los Variadores de Frecuencia (SVR1) y (SVR3) deberán tener una señal analógica de entrada de 0 a 10 VDC.
- La alimentación del motor (M1) y (M3) es trifásica de 380-480 VAC.

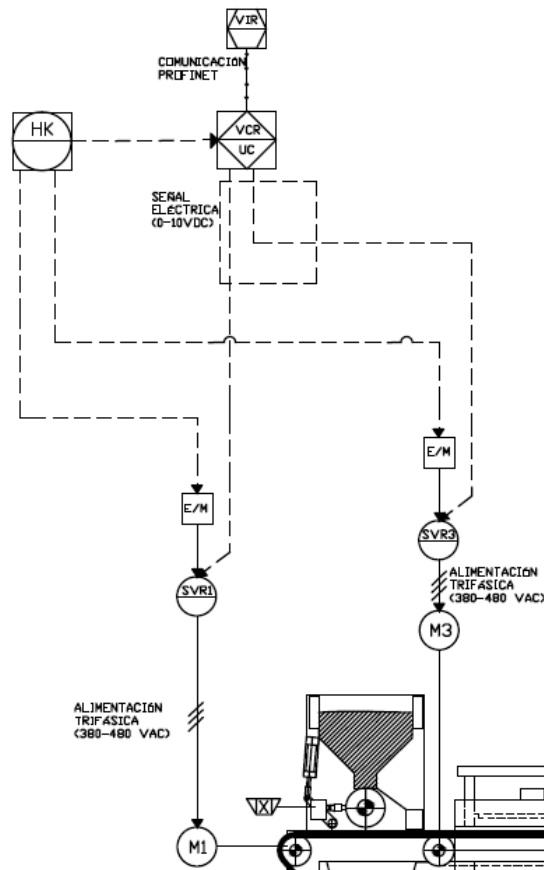


Figura 3.6. Dispositivos de diseño para el Proceso de Transporte.

3.3. ALIMENTACIÓN PRINCIPAL

La alimentación al nuevo gabinete de control se divide en dos partes:

- La alimentación a la “parte de control” que comprende la alimentación al circuito de control, es decir al PLC, selectores, relés, etc.
- La alimentación a la “parte de fuerza” que comprende la alimentación a los circuitos de fuerza del proceso general de dosificación.

La alimentación al armario está dada por el gabinete principal de distribución de Alfinsa, distribuyendo la alimentación de 220 VAC para el circuito de control,

mientras que para el circuito de fuerza se lo realiza por medio de un transformador elevador de 220 a 440 VAC, la protección está realizada mediante un interruptor automático de distribución (Q6), mientras que la alimentación de la parte de control se la realiza por el contactor (C1). Ver figura 3.7.

Interruptor automático principal

El interruptor automático de distribución (Q6) mostrado en la figura 3.7 es un elemento que protege ante sobrecargas y cortocircuitos a todo el gabinete, este se dimensiona para la corriente total de los circuitos instalados.

La máquina dosificadora posee un interruptor automático de caja moldeada 3VL, de elevadas prestaciones, cumpliendo con todos los requerimientos actuales de los sistemas de distribución eléctrica, siendo este el caso no es necesario adquirir uno nuevo ya que este interruptor soporta el nuevo sistema de control debido a que cumple las siguientes especificaciones técnicas.

- Corriente asignada regulable de 80-100 [A]
- Voltaje Asignado 380-415 [VAC]

3.4. DISEÑO DEL CIRCUITO DE FUERZA

El circuito de fuerza fue diseñado a partir de los requerimientos y consideraciones del proceso, siendo los variadores de frecuencia los que se utilizarán para el control de velocidad. En la figura 3.8 se puede apreciar los componentes del circuito de fuerza para cada proceso de la máquina dosificadora, la misma que va ser utilizada para la identificación en el diseño y selección de los dispositivos.

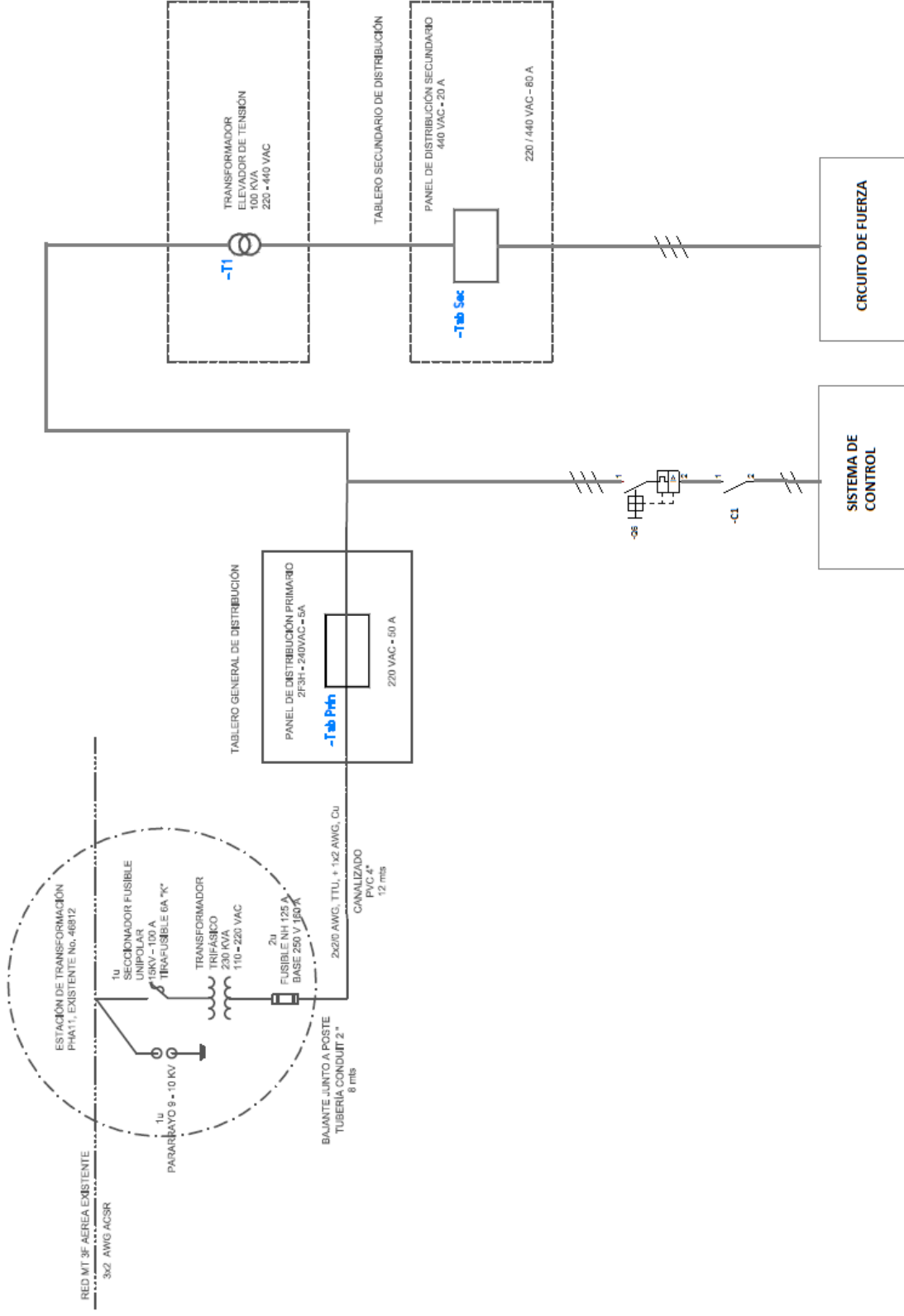


Figura 3.7. Diagrama Unifilar de la alimentación Principal.

Los elementos de protección como los drivers serán dimensionados en el apartado dimensionamiento de los componentes, siendo este diagrama la base para la elección de los dispositivos del circuito de fuerza.

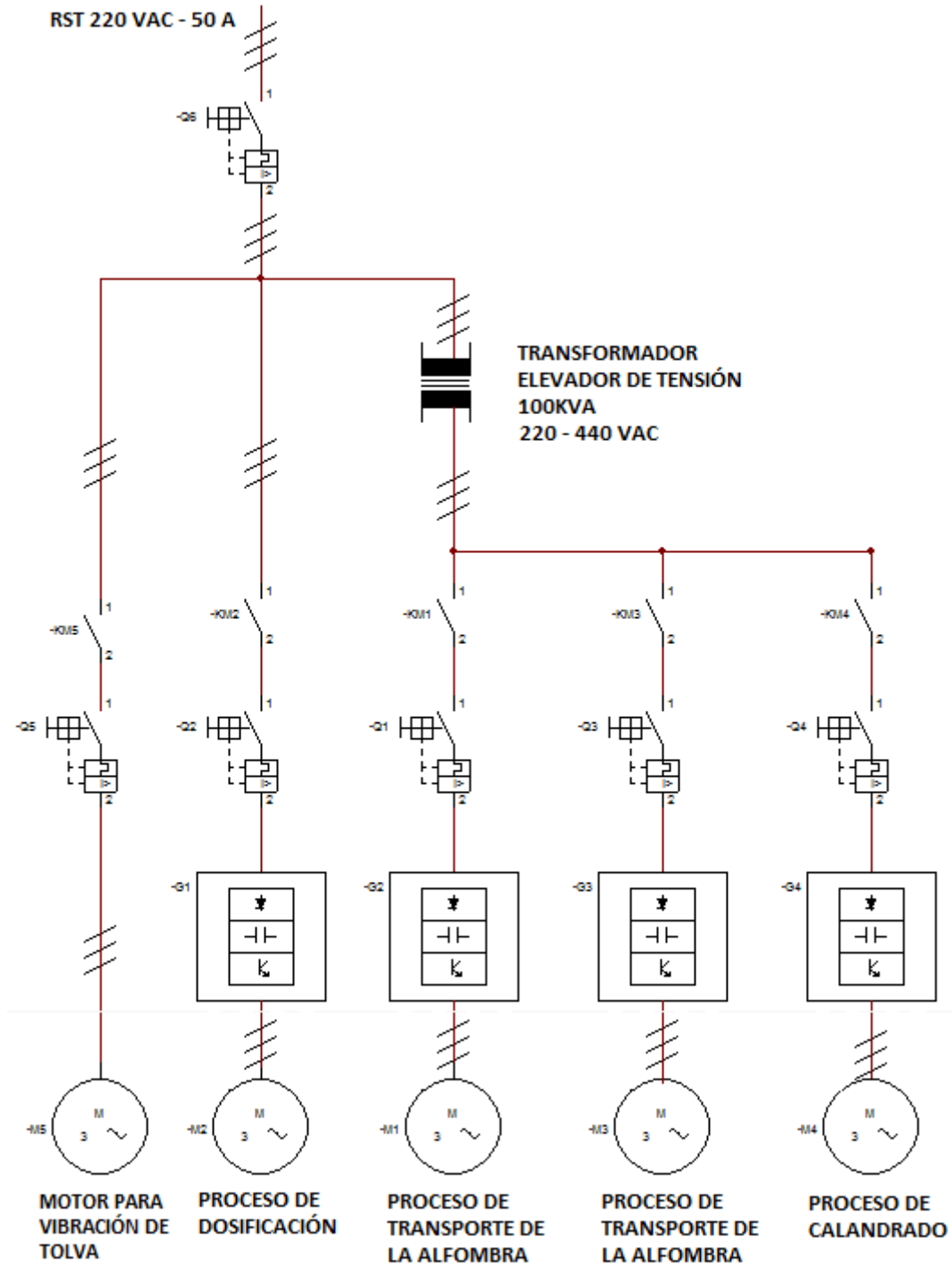


Figura 3.8. Diagrama Unifilar del Circuito de Fuerza.

3.5. DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONTROL

El circuito de control fue diseñado a partir de los requerimientos de la empresa ya que es la que optó que la implementación se la realice con un PLC.

La figura 3.9 muestra el diagrama del circuito de control considerando los siguientes aspectos:

- El sistema debe poseer un Switch Master (SM) para Encender y Apagar todo el sistema.
- El sistema debe tener un botón de paro de emergencia (PEm) en caso de que sea necesario activarla. Para la adquisición del botón de emergencia se debe considerar que sea de tipo hongo para fácil acceso.
- Encendido del circuito de control por medio de un pulsador (Pon), este enciende el PLC, la fuente de poder, el Panel View y los Variadores de Frecuencia, por medio de las respectivas bobinas de los Contactores.
 - Contactor (C1), para enclavar el pulsador (Pon).
 - Contactor (KM1), para activar o desactivar la alimentación del variador de frecuencia (G2) mostrado en la figura 3.8, siendo este el que regule la velocidad del motor (M1) para el proceso de transporte de la alfombra.
 - Contactor (KM2), para activar o desactivar la alimentación del variador de frecuencia (G1) mostrado en la figura 3.8, siendo este el que regule la velocidad del motor (M2) para el proceso de dosificación.
 - Contactor (KM3), para activar o desactivar la alimentación del variador de frecuencia (G3) mostrado en la figura 3.8, siendo este el que regule la velocidad del motor (M3) para el proceso de transporte de la alfombra.
 - Contactor (KM4), para activar o desactivar la alimentación del variador de frecuencia (G4) mostrado en la figura 3.8, siendo este el que regule la velocidad del motor (M4) para el proceso de calandrado.

- Apagado del circuito de control por medio de un pulsador (Poff).
- En el PLC se debe considerar: (Ver figura 3.10)
 - La alimentación debe ser de 220 VAC.
 - Señales analógicas, ya que el proyecto consta de 4 salidas analógicas (AO) con acondicionamiento de 0 a 10 VDC, para los procesos de dosificación, transporte y calandrado.
 - (AO1), salida analógica para regular la velocidad del motor 1.
 - (AO2), salida analógica para regular la velocidad del motor 2.
 - (AO3), salida analógica para regular la velocidad del motor 3.
 - (AO4), salida analógica para regular la velocidad del motor 4.
 - Salidas Discretas (DO)
 - Para Activar la puesta en marcha de los Variadores de Frecuencia (DO5, DO6).
 - Contactor (KM5), para activar o desactivar el arranque directo del motor (M5), el cual hace que vibre la tolva dosificadora.
 - Luz piloto (H1), indicador del proceso de dosificación.
 - Luz piloto (H2), indicador de alarma.
 - (C2), activa o desactiva el relé de estado sólido.
 - Entrada Analógica para el sensor de Temperatura, dicha entrada deberá ser acondicionada de 0 a 10 V dentro del programa, tomando en cuenta el rango de variación de la termocupla tipo K (Ver figura 2.7).

3.5.1. CONSIDERACIONES PARA EL CONTROL DE TEMPERATURA

Es indispensable realizar un tipo de accionamiento de forma automática que permita manipular acciones de control en determinado proceso sin la necesidad de la intervención continua de un operario de acuerdo a las condiciones requeridas por un proceso, para ello se puede hacer uso de las varias técnicas de control en este caso un control de temperatura de lazo simple para el proceso de calentamiento de la alfombra en el que será medido por el sensor y comparado por una señal interna deseada (set point) y ajustada a la salida por los valores requeridos tan cerca como sea posible, para la aplicación la señal de control es

todo o nada, siendo agregado un rango de tolerancia (histéresis) diseñado así para que la salida no cambie de forma brusca. Véase figura 3.11.

En el proceso de calandrado este sistema de control es muy útil ya que así evitará una brusca activación de los contactores y actuadores (relé de estado sólido) en general ayudando a prolongar su vida útil. Lo indispensable de este método de control consiste en ajustar la histéresis de modo que exista un retardo suficiente entre el modo “ON” y “OFF”, esto es el overshoot cuando la magnitud de la temperatura rebasa al setpoint y el undershoot en el caso contrario.

- Esta técnica de control permite controlar la activación o no de las resistencias eléctricas de la plancha de la calandra.
- La rapidez de la evolución de la temperatura dentro de la plancha de la calandra está en función a las características de las resistencias eléctricas, potencia, voltaje y corriente aplicada.

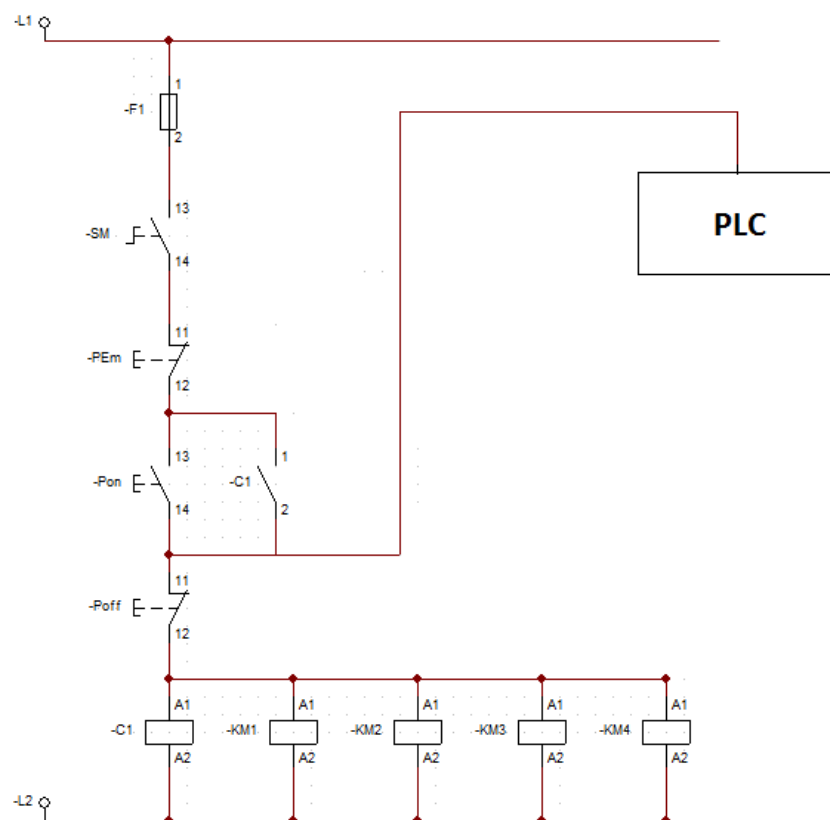


Figura 3.9. Diagrama Eléctrico del Circuito de Control.

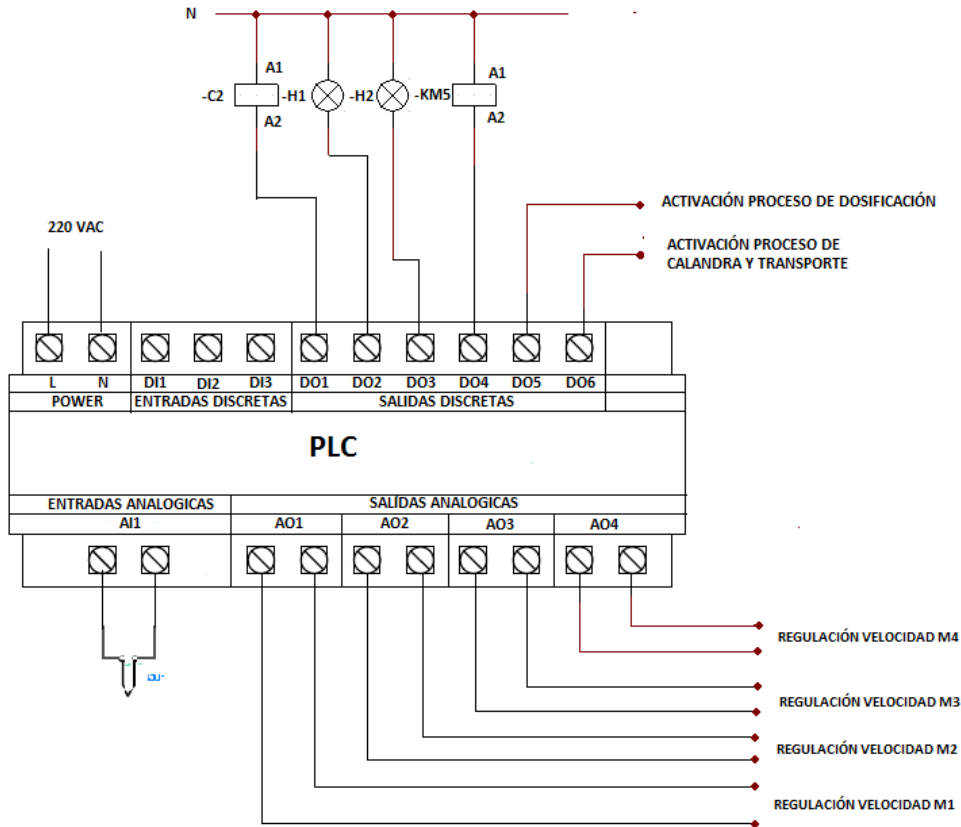


Figura 3.10. Diagrama Eléctrico del PLC.

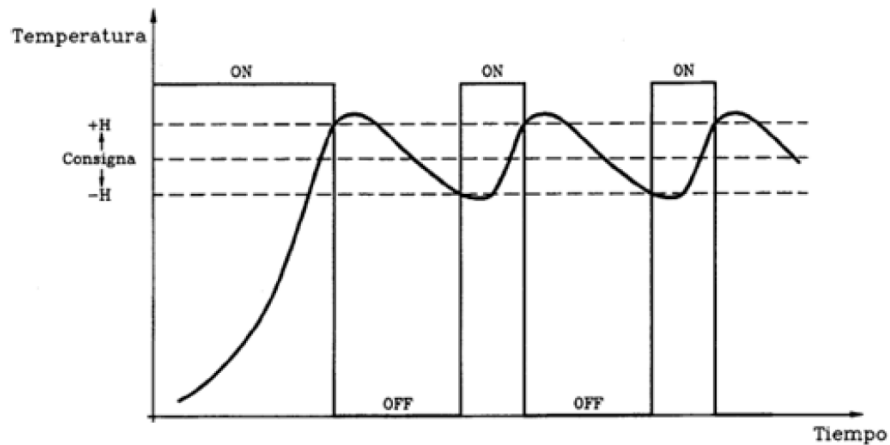


Figura. 3.11. Control de temperatura con lazo de histéresis.

La figura 3.12 ilustra el diagrama P&ID del controlador de temperatura, este se lo realiza a partir del acondicionamiento de la señal de temperatura adquirido por el sensor (termocupla tipo K), evaluando como valor mínimo de temperatura 0 VDC y como máximo 10 VDC.

Mediante la respectiva programación se debe obtener el controlador de temperatura y mediante el actuador (Relé de Estado Sólido) activar o desactivar el Calefactor, según el rango de histéresis.

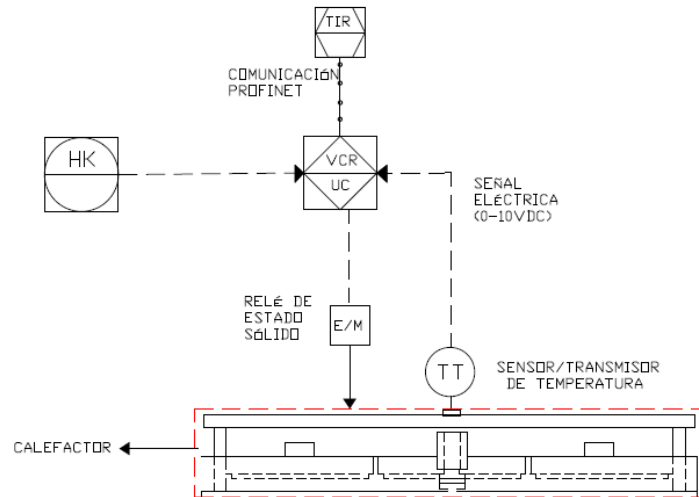


Figura. 3.12. Diagrama P&ID del controlador de Temperatura.

La tabla 3.2 muestra la nomenclatura para el controlador de temperatura.

Nomenclatura	Descripción
HK	Estación de Control manual.
TIR	Registrador Indicador de Temperatura. Panel View.
VCR	Registrador Controlador de Velocidad. PLC.
TT	Sensor/Transmisor de Temperatura
E/M	Relé de Estado Sólido.

Tabla 3.2. Nomenclatura de los elementos del Controlador de Temperatura.

3.6. ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE CONTROL

Los elementos principales que intervendrán en el sistema de control sin descuidar los elementos de maniobra más utilizados como los selectores, indicadores, entre otros. Estos dispositivos se clasifican en 2 grupos:

- **Dispositivos de Control y Fuerza**
 - Controlador Lógico Programable (PLC) con Entradas/Salidas analógicas y discretas.
 - Variador de Frecuencia
 - Contactores
 - Selectores e Indicadores
 - Panelde Operador

- **Dispositivos de Seguridad**
 - Fusibles
 - Guardamotores

La figura 3.13 muestra la arquitectura del nuevo sistema de control.

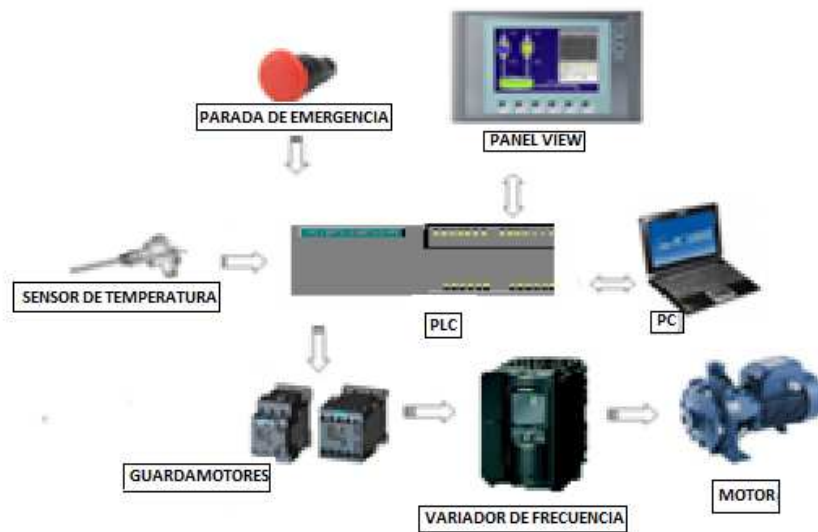


Figura. 3.13. Arquitectura del Sistema de Control.

3.7. DIMENSIONAMIENTO DE LOS COMPONENTES

A continuación se detallan los componentes que intervienen en el sistema de control, mencionando su dimensionamiento y sus características principales.

3.7.1. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

Existe una metodología para seleccionar el mejor Controlador Lógico Programable para la aplicación, esta será estudiada con los siguientes pasos que se muestran a continuación:

- Descripción del sistema.
- Selección del autómata programable.

Descripción del sistema.

Para llevar a cabo la descripción del sistema o proceso se requiere de la siguiente información:

- Procedimiento que se debe seguir en la operación (arranque, paro).
- Dispositivos que intervienen en el proceso (sensor de temperatura, motores, variadores, etc.).
- Variables a medir, variables a controlar, variables a monitorear, rangos de operación, función de los dispositivos, entradas y salidas.

Esta actividad se lleva a cabo mediante entrevistas con los operadores y encargados de mantenimiento del proceso, visitas de campo y la experiencia del integrador.

Si se atiende a cada uno de los pasos citados anteriormente para este proceso, es notable lo siguiente:

- Los arranques y paros se realizan de forma manual, mediante la activación de Mandos de Control los cuales son manipulados por el operador, estos Mandos de Control serán alimentados con 220VAC, aún así sus salidas pueden entregar cualquier valor de voltaje, ya sea en AC o DC, es decir tipo relé.
- Los dispositivos que van a intervenir en el proceso son los siguientes:

- Variador de frecuencia.
 - Motores trifásicos.
 - Mandos de Control.
 - Sensor de Temperatura
 - Pantalla HMI
- El sistema posee las siguientes características:
 - 2 Entradas Discretas 220VAC, señales que llegan desde los mandos de control para alimentar las entradas del PLC.
 - 1 entrada analógica 0-10 VDC del PLC, que es acondicionada por la señal del sensor/transmisor de temperatura.
 - 2 Salidas Discretas 24VDC, señales que van desde el PLC hacia las entradas discretas del convertidor de frecuencia, realizando la función de arranque.
 - 2 Salidas Discretas 220 VAC, señales que van desde el PLC hacia los indicadores de encendido y alarma.
 - 1 Salida Discreta 220 VAC, señal que va desde el PLC hacia el contactor que arranca directamente un motor.
 - 4 Salidas analógicas 0-10 VDC del PLC que van a las entradas analógicas de cada variador de frecuencia, para controlar la velocidad de los motores.

En la tabla 3.3 se muestran las características necesarias del controlador lógico programable.

Parámetros	Detalle
Entradas Discretas	2
Entradas Analógicas	1
Salidas Discretas	5
Salidas Analógicas	4
Alimentación	220 VAC – 24 VDC
Comunicación	Serial/Ethernet
Temperatura Ambiente	30° C
Protección IP, contra humedad, vibración y contaminación	Polvo de polietileno

Tabla. 3.3. Dimensionamiento PLC

Selección del autómatas programable.

Debido a las características que presenta el sistema se decidió seleccionar un autómatas de baja gama.⁹

La tabla 3.4 ilustra las características principales para la selección del PLC.

DATOS TÉCNICOS	DESCRIPCIÓN
Alimentación de entrada	85 a 250 VAC
Intensidad de entrada	250 mA
Memoria de Trabajo	25 KB
Memoria de Carga	1MB
Resolución	14 bits
Entradas Discretas	2 entrada discretas Alimentación 24 VDC
Salidas Discretas	5 salidas discretas Tipo Relé: 5 a 30 VDC 5 a 250 VAC
Entradas Analógicas	1 entrada analógica 4 a 20 mA ó 0 a 10 V
Salidas Analógicas	4 salidas analógicas 4 a 20 mA ó 0 a 10 V
3 módulos de señales.	Módulos Discretos Módulos Analógicos
2 módulos de comunicación	Ethernet Serial
Certificación	IEC, UL, CSA, CCC

Tabla. 3.4. Características Principales del PLC

3.7.2. VARIADOR DE FRECUENCIA

El convertidor de frecuencia se encarga de manejar la velocidad del motor, tanto como para su aceleración como para su desaceleración. Es importante tener algunos criterios para su selección, los cuales se analizan a continuación:

⁹ http://www.rocatek.com/forum_plc2.php

- Verificar la tensión de suministro y las tensiones nominales del convertidor y del motor.
- Comprobar también que la corriente nominal del convertidor sea igual o mayor que la corriente nominal del motor seleccionado.
- Prestarle mucha atención a los casos especiales en cuanto a altos requerimientos de momento de arranque o de momento máximo.
- Debe comprobarse el intervalo de velocidad requerido y el que puede proporcionar el convertidor.
- La velocidad máxima permisible del motor no se puede exceder.
- Analizar si hay necesidades especiales en cuanto al medio ambiente.
- Debe comprobarse el sistema de tierra del motor.

Mediante el estudio de estos criterios, se puede tener una idea más clara de las necesidades que se van a satisfacer.

Una vez clara esta idea es importante conocer las características de los motores que se van a controlar y la carga con la que se va a trabajar. Es importante mencionar que para este proyecto se utilizaron cuatro motores, por lo tanto la utilización de cuatro variadores de frecuencia es necesario.

Para definir el equipo más adecuado se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

Características del motor a controlar

- Corriente nominal
- Voltaje nominal
- Velocidad nominal
- Potencia nominal
- Frecuencia nominal

La tabla 3.5 muestra las características técnicas de la placa de los motores de cada uno de los procesos que intervienen en la máquina dosificadora.

Proceso	Servicio	Datos				
Proceso de Dosificación	Datos de la placa de características del moto-reductor	Configuración estrella				
		I (A)	V (VAC)	P (HP)	V (rpm)	F (Hz)
		6,2	220	2	1650	60
Proceso de Transporte de la Alfombra	Datos de la placa de características del motor	Configuración estrella				
		I (A)	V (VAC)	P (HP)	V (rpm)	F (Hz)
		2,7	365	0,57	2700	60
Proceso de Calandrado	Datos de la placa de características del motor	Configuración estrella				
		I (A)	V (VAC)	P (HP)	V (rpm)	F (Hz)
		3,6	365	1,1	1750	60

Tabla. 3.5. Características técnicas de los motores en el proceso general de dosificación.

Basándose en los parámetros de los motores a controlar y los criterios de diseño, es necesario sobredimensionar el valor de potencia en un 20% para crear un rango de seguridad durante el trabajo.

La potencia requerida para la adquisición de los variadores de frecuencia del proceso general de dosificación viene dado por la ecuación 3.1.

$$P_{\text{variador}} = 1,2 * P_{\text{Motor}} \quad \text{Ecuación (3.1)}$$

La tabla 3.6 indica los valores requeridos de potencia para los variadores de frecuencia, según la ecuación 3.1.

La tabla 3.7 indica las características principales para la adquisición de los variadores de frecuencia.

Proceso	Potencia Calculada [HP]	Potencia Seleccionada [HP]
Proceso de Dosificación	2,4	3
Proceso de transporte de la alfombra	0,68	1
Proceso de Calandrado	1,32	1,5

Tabla. 3.6. Potencia requerida para los Variadores de Frecuencia.

Proceso	Parámetros	Valor	Unidades
Proceso de Dosificación	Potencia	3	HP
	Voltaje	200-240	VAC
	Corriente	9	A
Proceso de transporte de la alfombra	Potencia	1	HP
	Voltaje	380-480	VAC
	Corriente	3	A
Proceso de Calandrado	Potencia	1,5	HP
	Voltaje	380-480	VAC
	Corriente	4	A

Tabla. 3.7. Características Principales de los Variadores de Frecuencia.

Para la aplicación de éste proyecto será necesario que los variadores de frecuencia acepten al menos los siguientes parámetros para poder realizar su control. Véase tabla 3.8.

Los parámetros principales de programación están basados en la placa del motor y son los siguientes:

- Corriente nominal
- Voltaje nominal
- Velocidad nominal
- Potencia nominal
- Frecuencia nominal¹⁰

¹⁰<http://catalogo.weg.com.br/files/wegnet/WEG-seleccion-y-aplicacion-de-variadores-de-velocidad-articulo-tecnico-espanol.pdf>

Parámetros	Cantidad	Especificación
Entradas Discretas	1	Para la puesta en marcha del convertidor.
Entrada Analógica	1	Para modificar su velocidad mediante el PLC.
Fuente de Poder	1	Fuente de 24 VDC interna para alimentar las entradas o salidas discretas.
Temperatura ambiente	-----	30° C
Protección	-----	Humedad, Vibración, Contaminación
Certificación	-----	IEC, UL, CSA, CCC

Tabla. 3.8. Parámetros para la selección de los Variadores de Frecuencia.

Hay que tomar en cuenta que para la realización de este proyecto se necesita de parámetros de programación adicionales. Véase tabla 3.9.

Parámetros	Especificación
Selección fuente de órdenes	Para programar por medio del panel de operador o por bornera.
Selección consigna de frecuencia	Para elegir, ya sea para frecuencias fijas o consigna analógica.
Modo de control	V/f con característica lineal
	Frecuencia mínima
	Frecuencia máxima
	Tiempo de aceleración
	Tiempo de desaceleración

Tabla. 3.9. Parámetros de programación de los Variadores de Frecuencia

3.7.3. PANEL DE OPERADOR

Debido a que ALFINSA optó por la adquisición de un panel de operador táctil, se considera las siguientes características.

- Proveer máxima flexibilidad, y fácil actualización.
- Comunicación a través de múltiples puertos.

- Integrado con el software de monitoreo para funciones avanzadas que incluyen: tendencias, expresiones, registro de datos, gráficas avanzadas.
- Manejo del panel a través de teclado, pantalla táctil, o teclado/pantalla táctil.
- Tarjeta de memoria para transferencia de archivos, datos, o actualización de sistema operativo.
- Puertos de comunicación Ethernet y RS-232.
- Puertos USB para conexión de Mouse y teclado.

La tabla 3.10 ilustra las características técnicas del panel de operador.

DATOS TÉCNICOS	DESCRIPCIÓN
Tensión nominal de alimentación	24 VDC ó 220 VAC
Corriente continua máxima	Aproximadamente 500 mA
Área activa del display	76,79 mm x 57,59 mm 115,2 mm x 86,4 mm
Memoria de aplicación	Mínimo 512 KB
Interface	1 X RS 422/RS 485 1 x Ethernet RJ45 10/100 Mbits/s
Imagen	Monocromático Color

Tabla. 3.10. Datos Técnicos del Panel de Operador.

3.7.4. CONTACTORES

En este proyecto se utilizó los contactores principales y auxiliares, con bobina a 220VAC debido a la red de alimentación de ALFINSA tanto para fuerza y mando. Para el dimensionamiento de los contactores se debe considerar:

- Tipo de Accionamiento.
- Voltaje nominal.
- Intensidad nominal de los motores.
- Categoría de utilización establecido por la norma IEC (Comisión Electrotécnica Internacional)

- Frecuencia.
- Clase de servicio.
- Voltaje de la bobina y número de contactos auxiliares.

Para criterio de seguridad se considera un sobre dimensionamiento de 125% de la potencia nominal de los motores.

La potencia requerida para la adquisición de los contactores del proceso general de dosificación viene dado por la ecuación 3.2.

$$P_{\text{contactor}} = 1,25 * P_{\text{Motor}} \quad \text{Ecuación (3.2)}$$

La tabla 3.11 indica las características técnicas de un contactor.

Proceso	Parámetro	Detalle
Proceso de Dosificación	Voltaje	220 [VAC]
	Potencia	3,75 [HP]
	Corriente	6,2 [A]
Proceso de Transporte de la Alfombra	Voltaje	480 [VAC]
	Potencia	1,25 [HP]
	Corriente	2,7 [A]
Proceso de Calandrado	Voltaje	480 [VAC]
	Potencia	1,88[HP]
	Corriente	3,6 [A]
Datos Generales	Tipo de accionamiento	electromagnético
	Categoría de utilización	IEC 947-4: AC3
	Frecuencia	60 [Hz]
	Voltaje Bobina	220 [VAC]
	Clase de servicio	Intermitente
	Tipo de disparo	Inmediato
	Temperatura ambiente	30° C
	Contactos NO	2
Protección	Humedad, Vibración, Contaminación	

Tabla. 3.11. Dimensionamiento de Contactor

3.7.5. FUSIBLES

Los fusibles protegen el variador de frecuencia, el cual posee una Corriente Nominal de 6,3 [A], según el motor a utilizar, éste valor se vuelve muy importante debido a que éste valor será el que permita establecer el valor de corriente que deberá manejar el interruptor.

La corriente nominal establecida por el criterio expuesto se observa que es de $I_n = 6,3$ [A], esta debería ser la corriente que debería soportar los fusibles, por lo que con este valor de referencia se procedió a verificar lo que recomienda el fabricante. Respetando el criterio de selección antes mencionado y teniendo en cuenta la tensión nominal del circuito a proteger se puede establecer la corriente nominal que debe poseer el interruptor, así:

$$I_{fusible} = 1,25 * I_{nominal}$$

Ecuación (3.3)

$$I_{fusible} = 8 \text{ [A]}$$

La protección por fusible del proceso general de dosificación es de tipo gl (fusible de empleo general).

3.7.6. GUARDAMOTORES

El guardamotor es un interruptor automático cuya característica de disparo es exactamente igual a la del relé térmico. Puede incluir el disparo por falta de fase, la compensación de temperatura ambiente y un disparo magnético ajustado para proteger adecuadamente al térmico.

La norma IEC 947-4-1-1 responde a la protección contra sobrecarga, definiendo tres tipos de disparo:

- Relés de clase 10

Para motores pequeños, de potencia fraccionaria con aceleración casi instantánea cuyo tiempo de disparo es exactamente corto.

- Relés de clase 20

Para la mayoría de los motores de uso general clasificados por NEMA.

- Relés de clase 20

Para motores con tiempos de aceleración de más de 10 segundos con altas cargas de inercia.

Clase de Disparo	Tiempo de disparo t_p (s)
10 A	$2 < t_p \leq 10$
10	$4 < t_p \leq 10$
20	$6 < t_p \leq 20$
30	$9 < t_p \leq 30$

Tabla. 3.12. Clases de disparo de los relés térmicos.

Analizando la curva de la figura 3.14 y tomando en cuenta que la corriente de arranque aproximada de los motores está en un rango de 4 a 6 I_n , se tiene que el tiempo de disparo de corriente es de 8 a 18 segundos aproximadamente.

Respetando el criterio de selección el ajuste para los guardamotors es de $\pm 25\%$ de corriente nominal de los motores.

$$I_{\text{guardamotor}} = I_n \pm 0,25 * I_n$$

Ecuación (3.4)

La tabla 3.13 indica las características técnicas de un guardamotor.

3.8. DIMENSIONAMIENTO DEL CABLEADO

En el sistema de control que se ha diseñado existen algunas áreas en las que se requiere la conexión entre los dispositivos por lo que se menciona las

distintos tipos de cable que se requiere basándose en el fundamento teórico. La tabla 3.14 ilustra el calibre del conductor referente a la corriente.

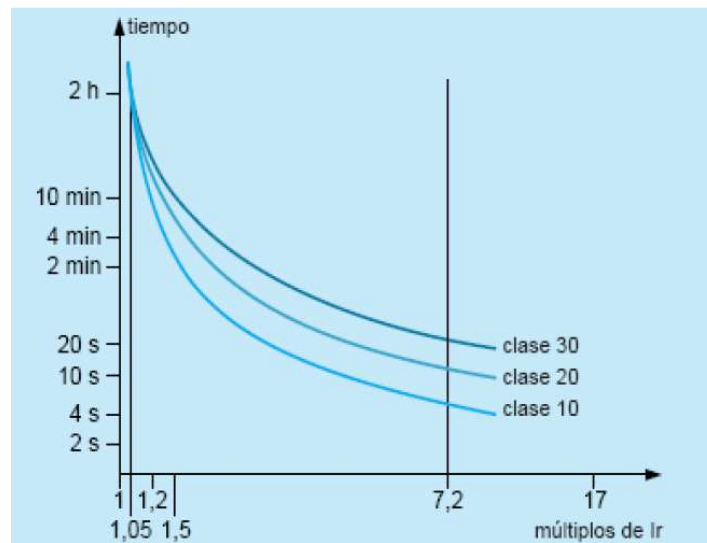


Figura. 3.14. Curva característica intensidad-tiempo.

Proceso	Parámetro	Detalle
Proceso de Dosificación	Corriente In	6,2 [A]
	Ajuste de Corriente Guardamotor	4,65-7,75 [A]
	Clase de disparo	20
Proceso de Transporte de la Alfombra	Corriente In	2,7 [A]
	Ajuste de Corriente Guardamotor	2,03-3,4 [A]
	Clase de disparo	20
Proceso de Calandrado	Corriente In	3,6 [A]
	Ajuste de Corriente Guardamotor	2,7-4,5 [A]
	Clase de disparo	20
Datos Generales	Frecuencia	60 [Hz]
	Temperatura ambiente	30° C
	Tipo de disparo	Inmediato
	Protección	Humedad, Vibración, Contaminación

Tabla. 3.13. Dimensionamiento de Guardamotores.

Número AWG	Diámetro (mm)	Sección (mm ²)	Resistencia (Ω/Km.)	Capacidad (A)
2	6,544	33,63	1,50	96
4	5,189	21,15	0,80	60
6	4,115	13,30	1,27	38
8	3,264	8,36	2,03	24
10	2,588	5,26	3,23	15
12	2,053	3,31	5,13	9,5
14	1,628	2,08	8,17	6,0
16	1,291	1,31	12,9	3,7
18	1,024	0,82	20,83	2,5
20	0,8118	0,52	32,69	1,6

Tabla. 3.14. Calibre de Conductor.

El conductor para el alimentador se dimensiona aumentando 125% a la corriente nominal del motor de mayor dimensión y luego agregando los valores de corriente de los otros motores y demás dispositivos.

Ecuación (3.5)

En donde:

$I_n(M.D)$ = Corriente a plena carga del motor de mayor dimensión.

$I_n(M.R)$ = Corriente a plena carga de motores restantes.

$I(C.C)$ = Corriente aproximada de los circuitos de control¹¹

Con este valor de corriente y en base a la tabla 3.14 se tiene que el cable a utilizar es:

Cable: # 8 AWG flexible de cobre.

¹¹ <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/696/1/CD-1100.pdf>

Utilizando la misma metodología se ha calculado el calibre de los conductores para cada etapa del proceso general de dosificación, los resultados se muestran en la tabla 3.15.

CONDUCTOR # (AWG)	DESCRIPCIÓN
8	Conductor para la alimentación.
14	Conductor para los motores
12	Conductor de la alimentación al circuito de control
16	Conductor del PLC a los Variadores de Frecuencia

Tabla. 3.15. Calibre de Conductor para el Proceso.

3.9. CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL SOFTWARE

Los criterios de selección constarán de las principales características que deben poseer cada alternativa, asignándole para aquello, ciertos porcentajes según la relevancia que poseerán estas características para dar solución a la comunicación entre el sistema de control y su correspondiente HMI local, además de su visualización estática del mismo. Los resultados serán presentados mediante una tabla comparativa. Los criterios de selección a considerar serán los siguientes:

- Disponibilidad del Software: Tener presente la factibilidad de poder disponer de algún software (por el tema de licencias, por ejemplo), tanto para la implementación del HMI, como para la visualización.
- Nivel de información del que se dispone: Contar con información abundante respecto de la aplicación HMI permite que la solución escogida pueda realizarse en forma rápida, impide que ocurran trabas en el desarrollo por desconocimiento y otorga mayor cantidad de opciones para enfrentar el problema desde distintos enfoques.

- Programación: Complejidad del protocolo: respecto a la alternativa de comunicación, debe estar enfocado a una mayor simplicidad con respecto a las descartadas, debido al tiempo limitado que posee la implementación del trabajo.
- Sistema Operativo: el ambiente de trabajo se desarrollara bajo el sistema operativo Windows, por lo cual, las alternativas seleccionadas deberán estar diseñadas para aquel ambiente.
- Importancia de otra alternativa: cada alternativa tiene sus ventajas y desventajas. Es relevante medir el calibre de las desventajas, para saber la factibilidad de la implementación. Para el caso de la comunicación entre modelo y el HMI, es importante saber si es posible cambiar el software HMI por otro similar (simplicity, ifix, intouch, WinCC, entre otros.)
- Disponibilidad de la aplicación HMI: Aun cuando se cuente con toda la información necesaria para desarrollar una aplicación, si no se dispone de la plataforma que permite llevarla a cabo, entonces no es posible ejecutar la solución asociada.
- Redundancia de la plataforma de la aplicación: Una determinada plataforma, por ejemplo WinCC, puede ofrecer más de una alternativa de solución. Eso da pie a que si una de las alternativas no funciona en la práctica, pueda recurrirse a otra alternativa sin necesidad de tener que cambiarse de plataforma.¹²

3.10. LISTA RESUMEN DE LOS DISPOSITIVOS

La tabla 3.16 muestra todos los elementos que intervienen en el sistema de control con sus principales características técnicas, esta tabla está determinada para cada sub-proceso de la máquina dosificadora.

¹²http://www2.elo.utfsm.cl/~elo307/informes/2012_s1/4%20seleccionada/Alternativas%20Seleccionada%20Robinson%20Peralta.pdf

Cant	Proceso	Elemento	Descripción
VARIADORES DE FRECUENCIA			
1	PROCESO DE DOSIFICACIÓN	VARIADOR DE VELOCIDAD	Voltaje: 200 VAC a 240 VAC±10 % Potencia: 3 HP Entrada Analógica: 1 Entradas Discretas:1 Fuente de Poder: 1 Temperatura ambiente: 30°C Protección: Humedad, Vibración, Contaminación
2	PROCESO DE TRANSPORTE DE LA ALFOMBRA	VARIADOR DE VELOCIDAD	Voltaje: 380 VAC a 480 VAC±10 % Potencia: 0,75 kW (1 hp) Entrada Analógica: 1 Entradas Discretas:1 Fuente de Poder: 1 Temperatura ambiente: 30°C Protección: Humedad, Vibración, Contaminación
1	PROCESO DE CALANDRADO	VARIADOR DE VELOCIDAD	Voltaje: 380 VAC a 480 VAC±10 % Potencia: 1,5 hp Entrada Analógica: 1 Entradas Discretas:1 Fuente de Poder: 1 Temperatura ambiente: 30°C Protección: Humedad, Vibración, Contaminación
GUARDAMOTORES			
1	PROCESO DE DOSIFICACIÓN	GUARDAMOTOR	INTERRUPTOR AUTOMÁTICO PARA LA PROTECCIÓN DE MOTORES, Corriente: 11...16 A Voltaje: 220 VAC
2	PROCESO DE TRANSPORTE DE LA ALFOMBRA	GUARDAMOTOR	INTERRUPTOR AUTOMÁTICO PARA LA PROTECCIÓN DE MOTORES, Corriente: 2,2 ... 3,2 A Voltaje: 480 VAC
1	PROCESO DE CALANDRADO	GUARDAMOTOR	INTERRUPTOR AUTOMÁTICO PARA LA PROTECCIÓN DE MOTORES, Corriente: 2,2 ... 3,2 A Voltaje: 480 VAC
FUSIBLES Y PORTAFUSIBLES			
3	PROTECCIÓN CIRCUITO DE CONTROL	FUSIBLES	Fusibles unipolares cilíndricos Dimensiones: 10x38 mm Corriente: 10 A
3		BASE PORTAFUSIBLES	Base Portafusible para fusibles unipolares cilíndricos para riel DIN Dimensiones: 10x38 mm Corriente: 32 A
CONTACTORES			
3	CIRCUITO DE CONTROL Y FUERZA	CONTACTOR DE POTENCIA	CONTACTOR, AC-3, 3 POLOS Potencia: 5,5 KW Voltaje: 400 VAC Bobina: AC 220V Frecuencia: 50/60HZ
1		CONTACTOR AUXILIAR	CONTACTOR AUXILIAR, Contactos: 2NA+2NC Bobina: AC 220 VAC Frecuencia: 60 HZ
FUENTE DE PODER			
1	CIRCUITO DE CONTROL	FUENTE DE PODER	FUENTE DE PODER Corriente: 2.5 A Voltaje IN:120-230 VAC Voltaje OUT: 24 VDC
PLC			
1	CIRCUITO DE CONTROL	PLC	Alimentación: 85 a 250 VAC Intensidad de entrada 250 mA Memoria de Trabajo: 25 KB Memoria de Carga: 1MB Resolución: 14 bits

			<p>SEÑALES DISCRETAS Y ANALÓGICAS</p> <p>Entradas Discretas: 2 Alimentación 24 VDC</p> <p>Salidas Discretas: 5 Tipo Relé: 5 a 30 VDC 5 a 250 VAC</p> <p>Entradas Analógicas: 1 0 a 10 VDC</p> <p>Salidas Analógicas: 4 0 a 10 VDC</p> <p>CAPACIDAD DE EXPANSIÓN DE MÓDULOS</p> <p>3 módulos de señales: Módulos Discretos, Módulos Analógicos 2 módulos de comunicación Ethernet, Serial, Modbus</p>
PANEL DE OPERADOR			
1	CIRCUITO DE CONTROL	PANEL TÁCTIL	<p>Tensión nominal de alimentación: 24 VDC ó 220 VAC Corriente continua máxima: Aproximadamente 500 mA Área activa del display: 76,79 mm x 57,59 mm ó 115,2 mm x 86,4 mm Memoria de aplicación Mínimo: 512 KB Interface : 1 X RS 422/RS 485 1 x Ethernet RJ45 10/100 Mbits/s Imagen: Monocromático Color</p>

Tabla. 3.16. Lista de los dispositivos del sistema de control.

CAPÍTULO IV

IMPLEMENTACIÓN

4.1. SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS

Para la selección de los dispositivos se parte del capítulo tres en el cuál se dimensionó los parámetros técnicos de cada uno de los elementos que intervendrán en el sistema de dosificación, los dispositivos adquiridos para la implementación del sistema de dosificación fueron aprobados adquiridos por ALFINSA S.A,a continuación se procede a justificar la selección de cada uno de los elementos:

4.1.1. GABINETE DE MONTAJE

Para el montaje de los elementos a utilizar se necesita una estructura que brinde seguridad, protección y sea de fácil acceso por lo que se optó por un gabinete colectivo ya que en este se tendrá la circuitería y dispositivos principales del sistema.

El gabinete de montaje fue construido para baja tensión rigiéndose a las normas UL 67, UL 508, NTC 3475, NTC 3278, NTC-IEC 60439-3, NTC 2050 y su cumplimiento será comprobado mediante Certificado de Conformidad.¹³

¹³ http://www.utp.edu.co/cms-utp/data/bin/UTP/web/uploads/media/contratacion/documentos/archivos/200907/ET_Lic_33.pdf

- a. Tanto el cofre como la tapa de un tablero general de acometidas auto soportado (tipo armario), deben ser construidos en lámina de acero de espesor mínimo 0,9 mm para tableros de hasta 12 circuitos y en lámina de acero de espesor mínimo 1,2 mm para tableros desde 13 hasta 42 circuitos, este espesor y acabado deben resistir los esfuerzos mecánicos, eléctricos y térmicos así como los efectos de la humedad y la corrosión.
- b. Los compuestos químicos utilizados en la elaboración de las pinturas para aplicarse en los tableros, no debe contener TGIC (Isocianurato de triglicidilo).

Las partes conductoras del tablero deben cumplir los siguientes requisitos:

- Toda parte conductora de corriente debe ser rígida y construida en cobre.
- Para asegurar los conectores a presión y los barrajes se deben utilizar tornillos de acero, tuercas y clavijas de conexión. El cobre y el latón no son aceptables para recubrir tornillo de soporte, tuercas y terminales de clavija de conexión.
- Todas las partes externas del panel deben ser puestas sólidamente a tierra mediante conductores de protección.

Para las dimensiones del gabinete de montaje para los dispositivos se parte de normas características de separación para cada elemento siendo distintas en cada uno de ellos, por lo que se obtiene, 120 cm de largo, 40 cm de alto y 30 cm de ancho, tal como muestra la figura 4.1.

Para los elementos internos del gabinete se detalla que no se hará uso de barras internas de distribución (barra colectora o principal, barra secundaria o de distribución, barra de neutro y barra de tierra) ya que estas se encuentran dentro de la máquina dosificadora y en el panel de distribución.

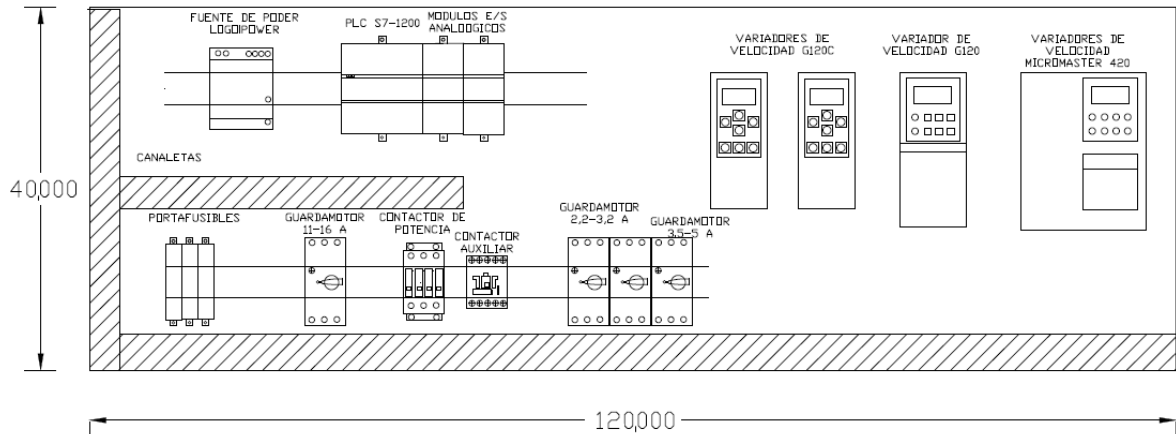


Figura. 4.1. Dimensiones del gabinete en cm

Se utilizará borneras tipo tornillo, una lámina de acero en la parte interior del gabinete para el montaje y desmontaje de todo el sistema de control, basándose en el ambiente de tipo industrial en el que se va a desempeñar el proceso general de dosificación, el gabinete seleccionados de envolvente metálico con recubrimiento de pintura; no se necesitará compartimentos internos ni paneles de control ya que será provisto por el sistema de control en sí. El gabinete tiene una unión de chapas exteriores por medio de llaves hexagonales plásticas para brindar acceso inmediato en caso de eventualidades al sistema de control.

4.1.2. RIELES DE SOPORTE

Los dispositivos deberán tener una fijación en el gabinete descrito anteriormente, para lo que se establecen tres piezas que irán montadas en la placa metálica de la parte posterior del gabinete. El riel DIN es una barra de metal normalizada de 35 mm de ancho con una sección transversal en forma de sombrero, ya que es muy común en el montaje de elementos eléctricos para la protección, de mando y control en aplicaciones industriales. Véase figura 4.2.

Se toma en cuenta la distribución de los elementos en el gabinete para lo que se determina que existirán tres líneas de montaje de riel DIN presentes, uno para el programador lógico controlable, módulos y fuente de alimentación, otro

para los dispositivos misceláneos (mandos de fuerza, borneras de conexión, contactores, guardamotores) y uno más para los variadores de frecuencia.

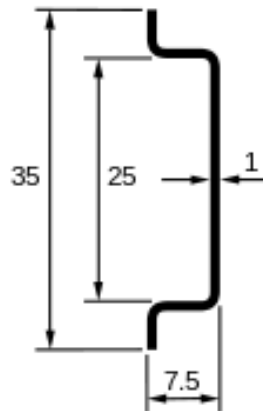


Figura. 4.2. Dimensiones Riel DIN

Para el montaje de las rieles DIN en el gabinete intervendrán tornillos con la finalidad de fijarlos en la placa de aluminio posterior, para lo que se escoge tornillo negro metálico rosca métrica M3 de 3X18 mm cumpliendo la profundidad establecida entre la placa de aluminio y la placa principal posterior de gabinete.

4.1.3. BORNERAS DE CONEXIÓN

En la riel DIN se tiene la distribución de energía para todo los dispositivos del sistema de dosificación, el elemento a usar son las borneras de dos puntos con conexión a tornillo por la fijación en la conexión de los terminales, debido a su mecanismo disminuye la posibilidad de un desprendimiento del cable (considerando un ajuste fuerte), así como su versatilidad de movimiento en la riel. Los colores de las borneras de conexión son distintos para poder diferenciar que tipo de alimentación se tiene en el sistema, así como para también distinguir entre las distintas fases del sistema y facilitar la conexión de los elementos al momento de la implementación, se utilizó borneras para el tipo conductor #12 y 14 AWG.

4.1.4. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC SIEMENS S7-1200)

Para la adquisición del PLC se consideró el dimensionamiento del dispositivo mencionado en la tabla 3.1. A continuación se mencionan las características que necesita el equipo.

- 2 Entradas Discretas 220VAC/24 VDC, señales que llegan desde los mandos de control para alimentar las entradas del PLC.
- 1 entrada analógica 4-20mA del PLC, para el sistema de control de temperatura.
- 2 Salidas Discretas 24VDC, señales que van desde el PLC hacia las entradas discretas del convertidor de frecuencia, realizando la función de arranque.
- 2 Salidas Discretas 220 VAC, señales que van desde el PLC hacia los indicadores de encendido y alarma.
- 1 Salida Discreta 220VAC, señal que va desde el PLC hacia el contactor que arranca directamente un motor.
- 4 Salidas analógicas 0-10 V del PLC que van a las entradas analógicas de cada variador de frecuencia, para controlar la velocidad de los motores.

Hay que tomar en cuenta que la comunicación del PLC fue dada por políticas internas de la empresa, siendo PROFINET la que se va a utilizar. Por lo tanto la mejor opción para la adquisición del PLC dentro de la marca Siemens que cumple con este protocolo de comunicación es el controlador lógico programable (PLC) S7-1200, el cual ofrece la flexibilidad y capacidad de controlar una gran variedad de dispositivos para las distintas tareas de automatización que necesita el proceso general de dosificación.

Dentro de la CPU incorpora un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, así como circuitos de entrada y salida en una carcasa compacta. Además vigila las entradas y cambia el estado de las salidas según la lógica del programa de usuario, que puede incluir lógica booleana, instrucciones de contaje y temporización, funciones matemáticas complejas, así como comunicación con

otros dispositivos inteligentes. La CPU también incorpora un puerto PROFINET para la comunicación.

La figura 4.3 muestra el diagrama de conexión del PLC.

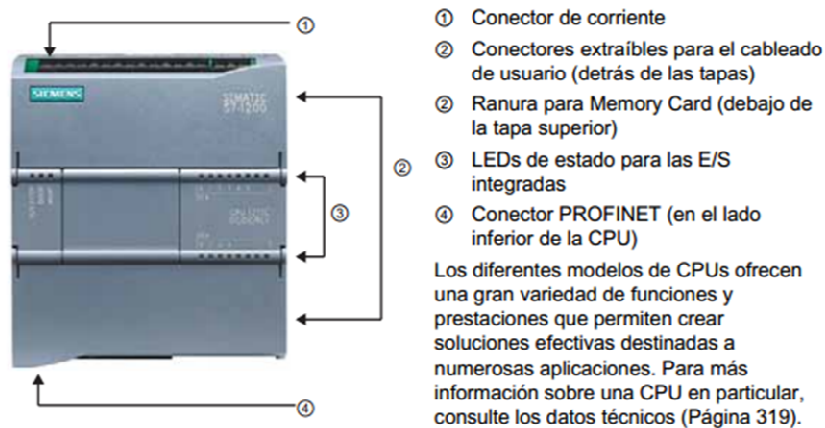


Figura. 4.3. Diagrama de conexión del S7 1200

La tabla 4.1 detalla las características principales del PLC S7-1200 con las distintas opciones de las que se puede tomar en cuenta para su trabajo.

CPU: 1212C	ENTRADAS/SALIDAS	CAPACIDAD DE EXPANSIÓN
VERSIÓN: AC/DC/RELÉ Rango de Tensión: 85 a 264 VAC Frecuencia: 47 a 63 Hz	Entradas Digitales (DI) 8 DI a 24 VDC	Hasta 3 módulos de señales. Hasta 3 módulos de comunicación.
MEMORIA DE USUARIO M. TRABAJO: 25 KB M. CARGA: 1MB M. REMANENTE: 2KB	Salidas Digitales (DO) 6 DO Tipo Relé	
	Entradas Analógicas (AI) 2 AI (Voltaje 0 a 10 V Corriente 0 a 20 mA)	
MÓDULO DE COMUNICACIÓN: PROFINET / INDUSTRIAL ETHERNET		
Temperatura: 40°C		

Tabla. 4.1. Características del PLC S7-1200

El PLC S7-1200 con CPU 1212C cumple con la mayoría de requerimientos para el proceso general de dosificación, siendo las salidas analógicas el único

elemento que no posee este dispositivo, pero se lo puede solucionar aumentando un módulo de expansión.

Los módulos de expansión son estándares para la versión de este PLC, por lo que se optó por la adquisición de un módulo de señales de salidas analógicas que tienen las siguientes características. Véase tabla 4.2.

Datos Técnicos	Especificación
Número de Salidas	2
Tipo	Tensión o Intensidad
Rango	± 10 V ó 0 a 20 mA
Precisión (25°C / 0 a 55°C)	$\pm 0,3\%$ / $\pm 0,6\%$ de rango máximo
Longitud de cable (metros)	100 m, trenzado y apantallado

Tabla. 4.2. Módulos externos del S7-1200

Se sabe que el proceso general de dosificación necesita 4 salidas analógicas por lo que se precisa de dos módulos de expansión para este proyecto.

4.1.5. VARIADORES DE FRECUENCIA

En el proyecto se hizo uso de cuatro variadores de frecuencia que controlan la velocidad de cuatro motores trifásicos. Un variador de frecuencia para el proceso de dosificación otro para el proceso de calandrado y dos para el proceso de transporte de la alfombra.

Para la adquisición de los variadores de frecuencia se consideró las características principales de la tabla 3.5 y 3.6.

Dentro de la marca Siemens existe una gran gama de variadores de frecuencia diseñados para cada aplicación, en el caso de este proyecto se

trabjará con variadores de corriente alterna a baja tensi3n, dentro de los cuales se tiene la siguiente clasificaci3n:

- Variadores SINAMICS G: para aplicaciones generales
- Variadores SINAMICS S: para aplicaciones especiales
- Variadores MICROMASTER

Este proyecto utilizará los variadores Sinamics G para los procesos de calandrado y transporte de la alfombra ya que los rangos de voltaje y potencia para esta versi3n son: 3-fases. 380 V – 690 V AC \pm 10%, 0.37 kW a 250 kW, mientras que para el proceso de dosificaci3n se utilizará el variador Micromaster debido a que los rangos de voltaje y potencia para esta versi3n son: 200-240 V, \pm 10%, 3 AC, 0.12 a 5.5 kW (0.16 a 7.5 HP), los suficientes para realizar este proyecto.

Para este proyecto no se precisa de variadores Sinamics S ya que no se utilizan aplicaciones especiales.

Variador de Frecuencia Micromaster 420. (Figura 4.4)



Figura 4.4. Variador de Velocidad Micromaster 420

La tabla 4.3 muestra las características técnicas del variador de frecuencia Micromaster 420.

El variador de frecuencia Micromaster 420 cumple con las condiciones de diseño, haciendo referencia a las características principales, tal como muestra la tabla 4.3.

Datos Técnicos	Especificación
Tensión de red en servicio	3 AC 200 a 240 [V]
Frecuencia de entrada	47 a 63 [Hz]
Potencia Nominal	4 [HP]
Potencia de Salida	6 [kVA]
Corriente de entrada	15,6 [A]
Corriente de salida	13,6 [A]
Método de Control	Control V/f lineal
Frecuencias fijas	7, parametrizables
Entradas digitales	3, parametrizables
Entrada analógica	1, parametrizable (0 a 10 [V])
Salida analógica	1, parametrizable (0 a 20 [mA])
Margen de temperatura	-10 a +50 °C
Características de protección	Mínima tensión, sobretensión, sobrecarga, defecto a tierra, cortocircuito, protección basculante, protección de bloqueo del motor, sobretemperatura en motor, sobretemperatura en convertidor, bloqueo de parámetros.

Tabla4.3. Características Técnicas del Variador de Velocidad Micromaster 420

Este variador es utilizado para el proceso de dosificación, tomando en cuenta que es de fácil instalación, la puesta en marcha es sencilla y las opciones externas para comunicación que posee son por; PC, panel BOP (Panel de Operador) y módulo de comunicación PROFIBUS, siendo el panel BOP el adquirido para este proyecto, el cual será detallado en el apartado de parametrización.

Las Características de prestaciones vienen dadas por los tiempos de aceleración/deceleración con redondeo de rampa programable y característica V/f multipunto.

Variador de Frecuencia SINAMICS G120C (Figura 4.5.)



Figura. 4.5. Variador de Velocidad Sinamics G120C

El variador de frecuencia Sinamics G120C cumple con las condiciones de diseño, haciendo referencia a las características principales, tal como se muestra en la tabla 4.4.

Datos Técnicos	Especificación
Tensión de red en servicio	3 AC 380 a 480 [V]
Frecuencia de entrada	47 a 63 [Hz]
Potencia Nominal	1 [HP]
Corriente de entrada	2,9 [A]
Corriente de salida	2,2 [A]
Método de Control	Control V/f lineal
Entradas digitales	6, parametrizables
Entrada analógica	1, parametrizable (0 a 10 V, 0 a 20 mA)
Salida analógica	1, parametrizable (0 a 10 V, 0 a 20 mA)
Características de protección	Mínima tensión, sobretensión, sobrecarga, defecto a tierra, cortocircuito, protección basculante, protección de bloqueo del motor, sobretemperatura en motor, sobretemperatura en convertidor, bloqueo de parámetros.

Tabla 4.4. Características Técnicas del Variador de Velocidad Sinamics G120C

Este variador es utilizado para el proceso de transporte de la alfombra, considerando que es económico, compacto y de fácil manejo. Para ello combina

un diseño especialmente compacto con una alta densidad de potencia y destacada por su rápida instalación, sus conexiones cómodas para el usuario y sus sencillas herramientas de puesta en marcha.

Las Características de prestaciones vienen dadas por los tiempos de aceleración/deceleración con redondeo de rampa programable y característica V/f multipunto.

Variador de Frecuencia SINAMICS G120 (Figura 4.6)



Figura 4.6. Variador de Velocidad Sinamics G120

El variador de frecuencia Sinamics G120 cumple con las condiciones de diseño, haciendo referencia a las características principales, tal como se muestra en la tabla 4.5.

Este variador es utilizado para el proceso de calandrado, considerando que es económico, de mayor robustez gracias a un innovador sistema de refrigeración, ampliable de forma flexible. Se destaca especialmente por su diseño

modular y panel BOP, también por sus funciones de seguridad y realimentación de energía.

Las Características de prestaciones vienen dadas por los tiempos de aceleración/deceleración con redondeo de rampa programable, característica V/f multipunto y escasas perturbaciones en la red.

Datos Técnicos	Especificación
Tensión de red en servicio	3 AC 380 a 480 [V]
Frecuencia de entrada	47 a 63 [Hz]
Potencia Nominal	1,1 [HP]
Corriente de entrada	3,9 [A]
Corriente de salida	3,1 [A]
Método de Control	Control V/f lineal
Entradas digitales	6, parametrizables
Entrada analógica	2, parametrizable (0 a 10 V, 0 a 20 mA)
Salida analógica	2, parametrizable (0 a 10 V, 0 a 20 mA)
Margen de temperatura	-10 a +50 °C
Características de protección	Mínima tensión, sobretensión, sobrecarga, defecto a tierra, cortocircuito, protección basculante, protección de bloqueo del motor, sobretemperatura en motor, sobretemperatura en convertidor, bloqueo de parámetros.

Tabla4.5. Características Técnicas del Variador de Velocidad Sinamics G120

4.1.6. PANEL VIEW

En el sistema de control se hace necesario el uso de un dispositivo de mando interactivo entre el operador y el proceso de dosificación, por lo que en el capítulo anterior se especificó un panel view, por pedido de la junta directiva de la empresa ALFINSA S.A. se deberá optar por un dispositivo que sea de punta, es decir que sea de última generación, el operador para el desempeño de las diversas tareas en la máquina dosificadora necesita la mayor simplicidad posible para el manejo del proceso, partiendo de los parámetros mencionados se identifica que el panel view es de tipo monocromático, el tamaño de la pantalla vendrá dado por el espacio libre en el gabinete de la máquina de dosificación que no debe ser mayor a 30X40X20 cm, para evitar desgaste por el constante uso de

un botón físico para ingresar valores o algún tipo de accionamiento del proceso la solución es un mecanismo de pantalla táctil sin descartar el fácil uso de las tareas de manejo del sistema, las características del panel view se mencionan en la tabla característica del dispositivo para ser tomada en cuenta.

Datos Técnicos	Descripción
Tipo	KTP600 Basic Mono PN
Área activa del display	115,2 mm x 86,4 mm (5,7")
Colores representables	4 niveles de gris
Tensión nominal de alimentación	24 VDC
Transitorios, máximo admisible	35 VDC
Corriente continua máxima	500 mA
Memoria de aplicación	Mínimo 512 KB
Interface	1 x Ethernet RJ45 10/100 Mbits/s

Tabla4.6. Características Técnicas del Panel View

A más de las características mencionadas se destaca el manejo de comunicación TCP IP, facilitando así la interacción con los demás dispositivos y da la oportunidad de una expansión de paneles para una automatización total de la planta de producción de ALFINSA S.A., la existencia de botones para accionamiento de procesos también facilita el uso del panel, el tamaño de la pantalla se ajusta de manera perfecta quedando centrado el dispositivo en el gabinete, el método de fijación de la pantalla al gabinete es de tipo tornillo bisagra resultando el montaje sencillo.

4.1.7. CONTACTORES

En el sistema de control posee tres procesos que dan como producto final la alfombra dosificada, el proceso de dosificación, el proceso de transporte de la alfombra y el proceso de calandrado, para lo que se optó por tres contactores que están ligados a la activación de tres variadores de frecuencia. El objetivo de los contactores es el mismo en cada uno de los procesos, cada contactor está

conectado a las líneas de alimentación seguido de un guardamotors para después ingresar a la alimentación del variador, en el instante que se inicia el control de dosificación los variadores se prenderán si y solo si se tiene una señal proveniente del PLC, para optimizar el proceso y consumo de energía se escogió esta solución ya que no es necesario del estado activo de un variador si no interviene en el proceso.

Los procesos de calandrado y transporte de alfombra trabajan a 480 [VAC] por lo que se escogió el contactor del que se detalla las siguientes características:

Proceso	Parámetro	Detalle
Proceso de Calandrado y Transporte de la alfombra	Voltaje	480 [V]
	Potencia	3 [HP]
	Corriente	6 [A]
Datos Generales	Tipo de accionamiento	Electromagnético
	Categoría de utilización	IEC 947-4: AC3/AC1
	Frecuencia	50-60 [Hz]
	Voltaje Bobina	220 [V]
	Clase de servicio	Intermitente
	Tipo de disparo	Inmediato
	Temperatura ambiente	40° C
	Contactos NO	0
Protección	IP20	

Tabla4.7. Características Técnicas del Contactor

Por lo tanto el contactor seleccionado cumple con las características de diseño así como aporta con extras como son el tiempo de reacción, capacidad de maniobra extendida y tipo de control.

El proceso de dosificación trabaja a 220 [VAC] por lo que se escogió el contactor AC-3 5,5 KW/400 V, AC 220 [VAC] 50/60 Hz 3 POL, conexión por tornillo del que se detalla las siguientes características de la Tabla 4.8

Por lo tanto el contactor seleccionado cumple con las características de diseño así como aporta con extras como son el tiempo de reacción, capacidad de maniobra extendida y tipo de control.

Proceso	Parámetro	Detalle
Proceso de Dosificación	Voltaje	220 [V]
	Potencia	5.5 [KW]
	Corriente	11 [A]
Datos Generales	Tipo de accionamiento	Electromagnético
	Categoría de utilización	IEC 947-4: AC3/AC1
	Frecuencia	50-60 [Hz]
	Voltaje Bobina	220 [V]
	Clase de servicio	Intermitente
	Tipo de disparo	Inmediato
	Temperatura ambiente	40° C
	Contactos NO	0
	Protección	IP20

Tabla4.8. Características Técnicas del Contactor para el Proceso de Dosificación.

4.1.8. GUARDAMOTORES

Para la protección de los variadores y motores presentes en el sistema de dosificación, se escogió el uso de guardamotores que van conectados después de los contactores y a la entrada de los variadores; de igual manera vienen divididos en tres procesos, proceso de transporte de alfombra, proceso de calandrado y proceso de dosificación.

Los procesos de calandrado y transporte de alfombra trabajan a 480 [VAC] por lo que se escogió el guardamotor del que se detalla las siguientes características:

El proceso de dosificación trabaja a 220 [VAC] por lo que se escogió el guardamotor mostrado en la tabla 4.10.

Proceso	Parámetro	Detalle
Proceso de Transporte de la Alfombra	Corriente In	2,7 [A]
	Voltaje In	480 [VAC]
	Ajuste de Corriente Guardamotor	2,03-3,4 [A]
	Clase de disparo	20
Proceso de Calandrado	Corriente In	3,6 [A]
	Ajuste de Corriente Guardamotor	2,7-4,5 [A]
	Clase de disparo	20
Datos Generales	Frecuencia	60 [Hz]
	Temperatura ambiente	30° C
	Tipo de disparo	Inmediato
	Protección	Humedad, Vibración, Contaminación

Tabla4.9. Características Técnicas del Guardamotor

Proceso	Parámetro	Detalle
Proceso de Dosificación	Corriente In	6,2 [A]
	Voltaje In	220 [VAC]
	Ajuste de Corriente Guardamotor	4,65-7,75 [A]
	Clase de disparo	20
Datos Generales	Frecuencia	60 [Hz]
	Temperatura ambiente	30° C
	Tipo de disparo	Inmediato
	Protección	Humedad, Vibración, Contaminación

Tabla4.10. Características Técnicas del Guardamotor para el Proceso de Dosificación

4.1.9. FUSIBLES

Los fusibles son los dispositivos más simples en la protección de redes de distribución. Al mismo tiempo son uno de los más confiables, dado que pueden brindar protección un tiempo prolongado, en el sistema de control de dosificación

específicamente en la regleta de misceláneos se encuentran las borneras de distribución de alimentación a los dispositivos, por lo que antes estas se ubican tres porta fusibles que poseen fusibles unipolares, de tipo GL (fusible de empleo general actúa mucho más rápido en cortocircuito que en sobrecarga) y con corriente comercial de 12 [A].

4.2. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

Para la correcta instalación y montaje de los dispositivos en el proceso general de dosificación se procede a identificar características particulares de la planta de producción de ALFINSA S.A, ya que por petición de la junta directiva de la empresa se pidió que el gabinete y sus respectivos dispositivos sean montados en la parte superior del tablero de control de la máquina dosificadora. Véase figura 4.7.

4.2.1. INSTALACIÓN

Para la instalación de los diferentes elementos que componen el sistema, la fuente de suministro eléctrico consta de la siguiente descripción: 220/480 VAC Y 4 H 3Ø. Lo que significa que el voltaje de alimentación por líneas es de 220 Voltios en corriente alterna entre fase y neutro, 480 Voltios entre fase y fase, con cuatro hilos en total, es decir tres fases y neutro, sistema trifásico en Y.

Con la acometida trifásica lista para usarse se procede a la instalación del tablero de control y fuerza.

La parte interior del gabinete de control y fuerza está acoplada al tablero principal de la máquina dosificadora, ya que la empresa así lo decidió. Aquí se encuentran todos los componentes mencionados para el sistema de control, los elementos están distribuidos en tres secciones, la primera sección está ubicada en la parte inferior del gabinete compuesto por los elementos de protección para

las líneas trifásicas como para los motores, siendo los fusibles, los contactores y guardamotores.



Figura.4.7. Tablero de Control de la Máquina Dosificadora.

La segunda sección se encuentra en la parte superior del gabinete compuesto por los elementos de control, es decir por el PLC y la fuente de poder de 24 VDC, estos elementos son alimentados por una sola fase y neutro es decir 220 VAC. Por último se tiene la tercera sección donde se encuentran los variadores de velocidad.

La figura 4.8 muestra el gabinete instalado en la máquina de dosificación.



Figura. 4.8. Gabinete del Sistema de Control

La instalación del tablero de control se lo realizó en el tablero principal de la máquina dosificadora, esto se lo realizó por decisión de la empresa, debido a que el nuevo sistema de control es un acople al antiguo sistema.

El tablero de control consta de un switch master de encendido del sistema, también consta de un pulsador de encendido con su respectivo indicador para el sistema de dosificación y un pulsador de apagado para el sistema, y por último un indicador de alarma.

La figura 4.9 ilustra el tablero de Control para el operador.

La figura 4.10 muestra las dimensiones de instalación para el tablero de control, hay que tomar en cuenta que las dimensiones son en centímetros.



Figura. 4.9. Tablero de Control

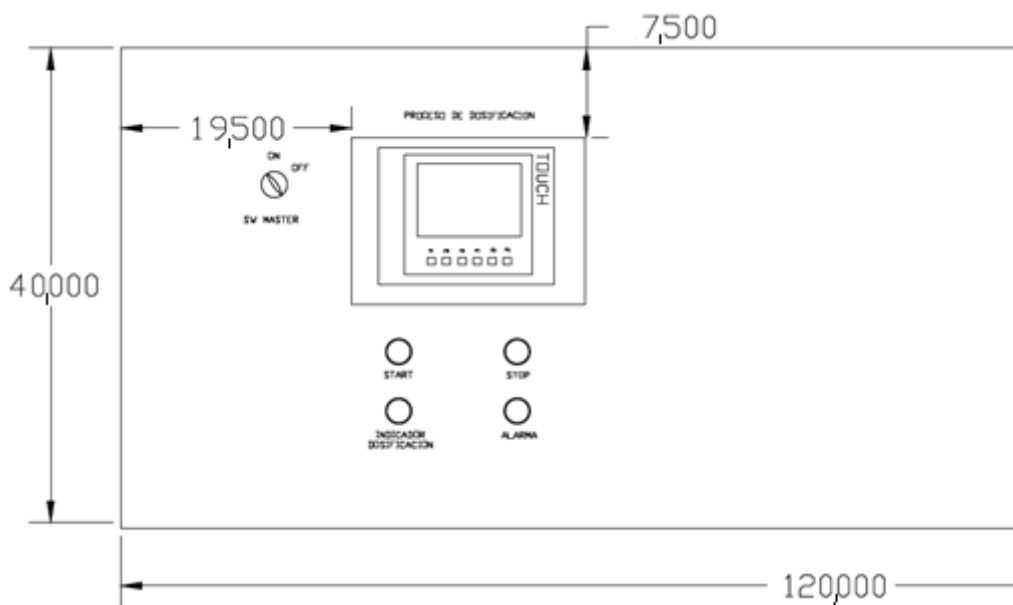


Figura. 4.10. Dimensiones para la instalación del Tablero de Control(en cm)

Una vez instalados los elementos principales se procede a realizar la etapa de cableado de los elementos para su posterior energización, en La figura 4.11 se muestra las dimensiones desde el panel de distribución hasta el gabinete de dosificación, teniendo en cuenta que se realizó una modificación de carácter civil en el último tramo del cableado ya que se paso bajo tierra la manguera con el cable hasta la máquina de dosificación.



Figura. 4.11. Tablero de Distribución.

La figura 4.12 muestra la ruta de cableado desde el panel de distribución hasta el gabinete de dosificación.



Figura. 4.12. Ruta del Cableado hacia la Máquina Dosificadora.

Para el cableado presente en la etapa de 480 [VAC] hacia las borneras se hizo uso de las barras de alimentación presentes en la máquina de dosificación por lo que el recorrido no fue largo ni representativo.

La figura 4.13 muestra la instalación del gabinete de dosificación en el tablero principal de la máquina dosificadora, tal como la empresa lo dispuso.



Figura 4.13. Instalación del Gabinete de Control

4.2.2. MONTAJE

El montaje y cableado del PLC se lo realizó mediante las siguientes normas:

- El S7-1200 puede montarse en un panel o en una riel DIN, bien sea horizontal o verticalmente. El tamaño pequeño del S7-1200 permite ahorrar espacio. Al configurar la disposición del S7-1200 en el panel, se debe tener en cuenta los aparatos que generan calor y disponer los equipos electrónicos en las zonas más frías del armario eléctrico.
- Considerar la ruta del cableado de los dispositivos montados en el panel. Evite tender las líneas de señales de baja tensión y los cables de

comunicación en un mismo canal junto con los cables A.C y D.C de alta energía y conmutación rápida.¹⁴.

En la figura 4.14 se ilustra el montaje del PLC.

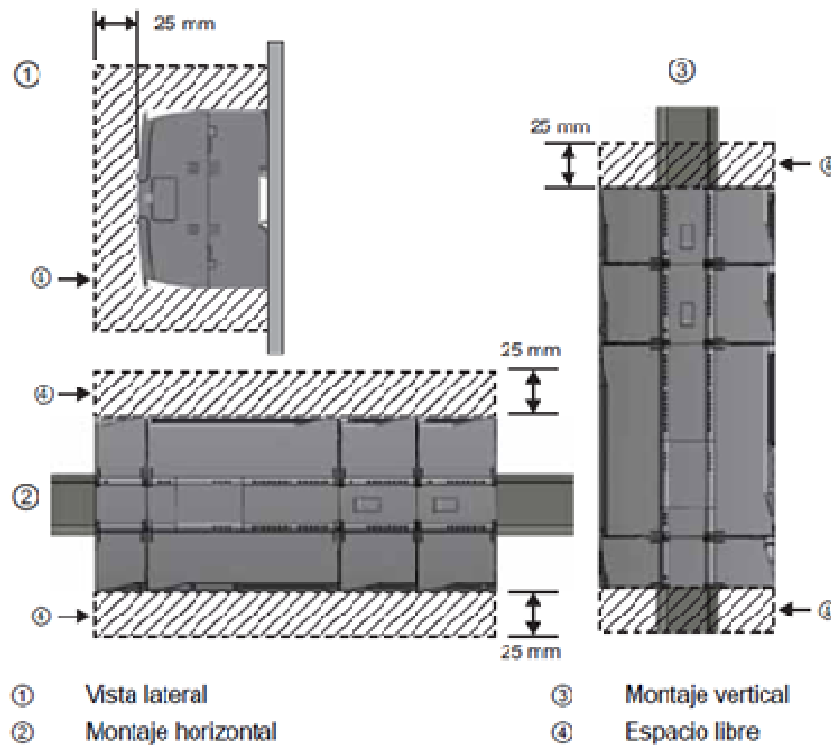


Figura. 4.14. Montaje de S7 1200

La figura 4.15 está relacionada con la tabla 4.11 ya que determina las dimensiones de los dispositivos tanto del PLC como de los módulos de expansión.

Dispositivos S7-1200		Ancho A	Ancho B
CPUs:	CPU 1211C y CPU 1212C	90 [mm]	45 [mm]
	CPU 1214C	110 [mm]	55 [mm]
Módulos de señales:	8 y 16 E/S, DC y relé (8I, 16I, 8Q, 16Q, 8I/8Q)	45 [mm]	22,5 [mm]
	16I/16Q relé (16I/16Q)	70 [mm]	35 [mm]
Módulos de comunicación:	CM 1241 RS232 y CM 1241 RS485	30 [mm]	15 [mm]

Tabla. 4.11. Montaje dispositivos S7 1200

¹⁴<http://www.automation.siemens.com/mcms/programmable-logiccontroller/en/simatic-s7-controller/s71200/pages/default.aspx>

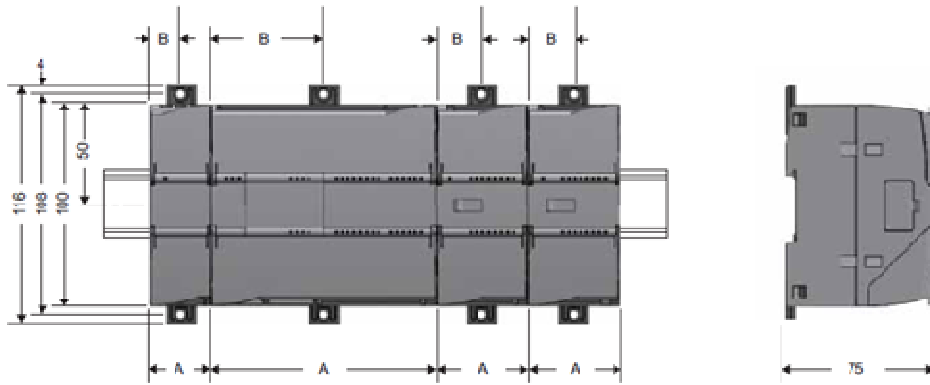


Figura. 4.15. Dimensiones de Montaje (en mm)

Para el montaje de los variadores de frecuencia se consideró los patrones de taladros para las diferentes versiones de variadores de frecuencia que se utilizaron en este proyecto.

Para asegurar la libre entrada y salida del aire de refrigeración en los variadores de frecuencia, hay que dejar una distancia mínima de 10 cm, tanto por la parte superior como inferior del dispositivo, caso contrario el equipo puede sobrecalentarse.

La figura 4.16 ilustra los patrones de taladros del variador de frecuencia Micromaster 420, siendo el de tamaño B el utilizado en el proceso general de dosificación.

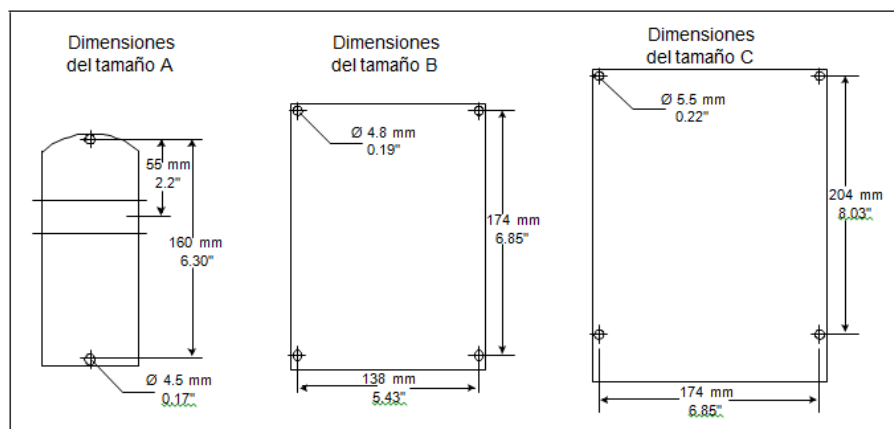


Figura. 4.16. Patrones taladros para versiones Micromaster 420

La figura 4.17 muestra las dimensiones y distancias mínimas de refrigeración de la versión Sinamics G120.

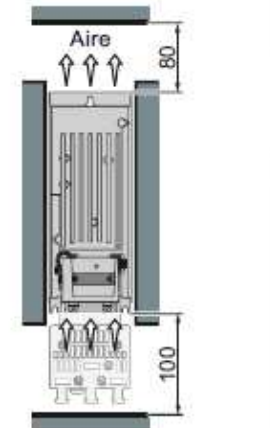
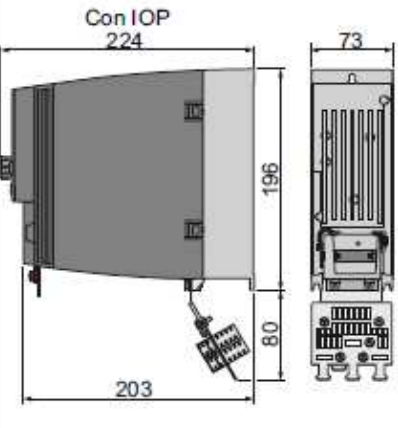
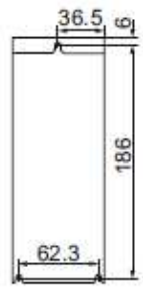
Tamaño A, 0,55 kW ... 4,0 kW		
Distancias a otros equipos [mm]	Dimensiones [mm]	Figura de taladrado [mm]
		 <p>Fijaciones: 3 tornillos M4 3 tuercas M4 3 arandelas M4 Par de apriete: 2,5 Nm</p>

Figura 4.17. Dimensiones, Figuras de taladro y distancias mínimas del Sinamics G120C

4.3. PROGRAMACIÓN Y PARAMETRIZACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS

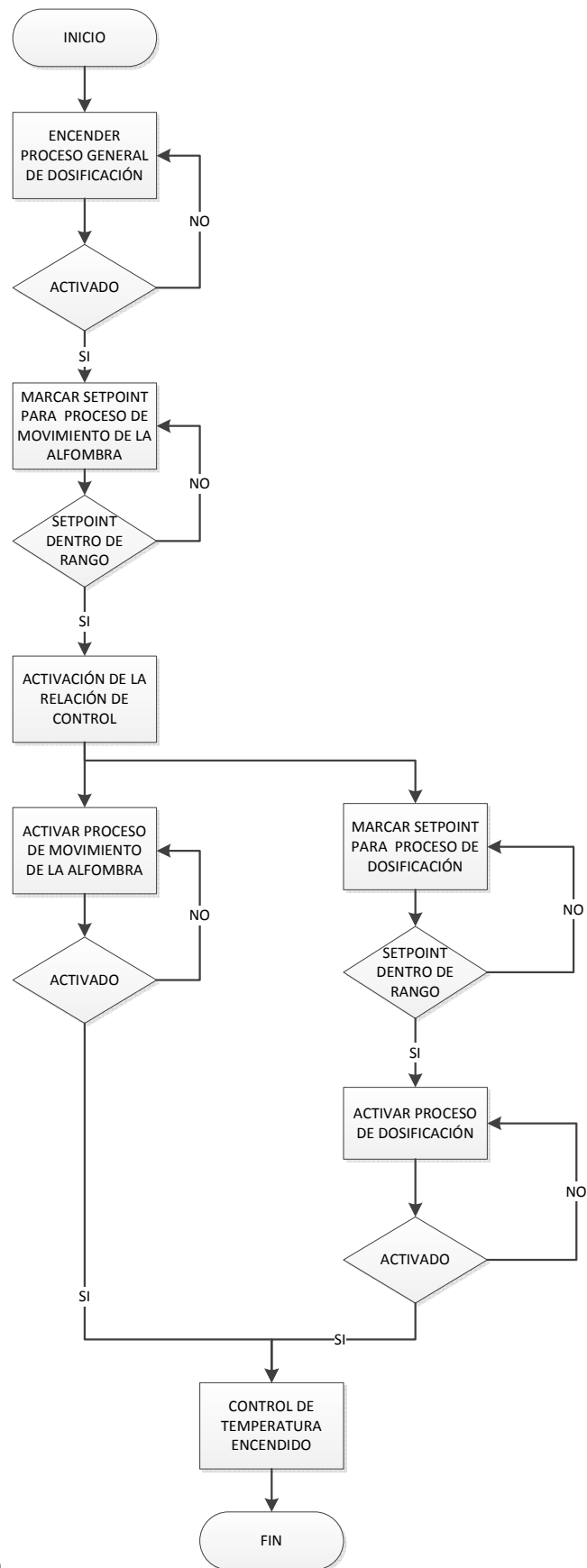
La programación y parametrización de los dispositivos está basada en la programación del PLC, los Variadores de frecuencia y el Panel de Operador HMI.

4.3.1. DIAGRAMA DE FLUJO

Una óptima programación se da cuando se tiene el total conocimiento del proceso a controlar, a continuación se detalla el diagrama de flujo de operación.

En la figura 4.18 se muestra como es la manera en que se tiene que realizar la programación en base a la secuencia del proceso, la misma que empieza con la activación del proceso general de dosificación, luego se marca el set point

para el proceso de transporte de la alfombra, en ese instante realiza una



comparación

Figura. 4.18. Diagrama de Flujo

para saber si el set point se encuentra dentro del rango de operación, activando la relación de control para el proceso de dosificación y proceso de calentamiento, después se marcar el set point para el proceso de dosificación, en ese instante realiza una comparación para saber si el set point se encuentra dentro del rango de operación, el control de temperatura se lo realiza internamente en base al set point del proceso de transporte de la alfombra ya que este es el que genera el set point de temperatura referente a la relación de control.

Hay que tomar en cuenta que el proceso de dosificación y el proceso de calentamiento está en función del proceso de transporte de la alfombra, ya que si la velocidad de transporte aumenta, la velocidad de dosificación y el control de temperatura también lo hacen, es decir la dosificación y la temperatura aumenta, por lo tanto el sistema es proporcional al proceso de transporte.

4.3.2. PROGRAMACIÓN DEL PLC

El tipo de control utilizado para el proceso de calentamiento es un control on-off con un lazo de histéresis, mientras que para el control de velocidad se lo realiza referente a la recta de dosificación.

Para el diseño del programa del PLC, el software que se utilizó es TIA (Total Integrated Automation) Portal versión 10.5, el mismo que es la plataforma para la línea de PLC's de Siemens, este programa soporta la línea Simatic S7300; S7-400; S7-1200 y Simatic ET200 PLC, en lo referente a Paneles SimaticTouch, soporta paneles HMI en versiones básicas monocromáticas y a color para pantallas de 3", 4", 6", 10" y 15" de la línea KP300, KTP400, KTP600 y KTP1000 con las respectivas aplicaciones de usuario, las cuales permiten una total integración, administración y comunicación industrial de forma segura, el sistema de automatización y control del proceso general de dosificación consta de un PLC Siemens modelo CPU1212 AC/DC/RLY y un panel de operador SimaticTouch KTP600 Basic monocromático de 5,7", conectados mediante un Switch Industrial y una PC desde la cual se programa todas las instrucciones. En la tabla 4.12 se muestra el direccionamiento IP.

Dirección IP: Red 192.168.0.X		
PLC Siemens S7-1200	Panel HMI	PC
IP: 192.168.0.1 Máscara: 255.255.255.0	IP: 192.168.0.3 Máscara: 255.255.255.0	IP: 192.168.0.X(Nº.:10) Máscara: 255.255.255.0

Tabla. 4.12. Tabla de direcciones IP para red PROFINET

En el Anexo 2 se describe como inicializar un proyecto de control en la plataforma TIA Portal.

El procedimiento del programa se lo realiza mediante segmentos nombrados y etiquetados según el programador, en primera instancia se tiene 2 segmentos denominados inicialización de transporte y dosificación, estos segmentos configuran el encendido y apagado de los procesos de dosificación y transporte de la alfombra. Véase figura 4.19.

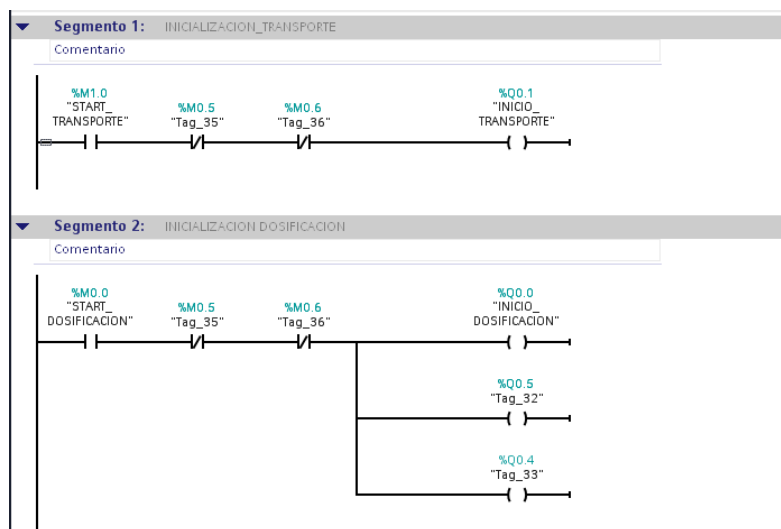


Figura. 4.19. Encendido y apagado de los Procesos de Dosificación y Transporte.

La figura 4.20 muestra los segmentos de lectura y escritura de los datos de la señal de entrada y salida analógica para el proceso de calandrado, con su respectivo rango de lectura de velocidad.

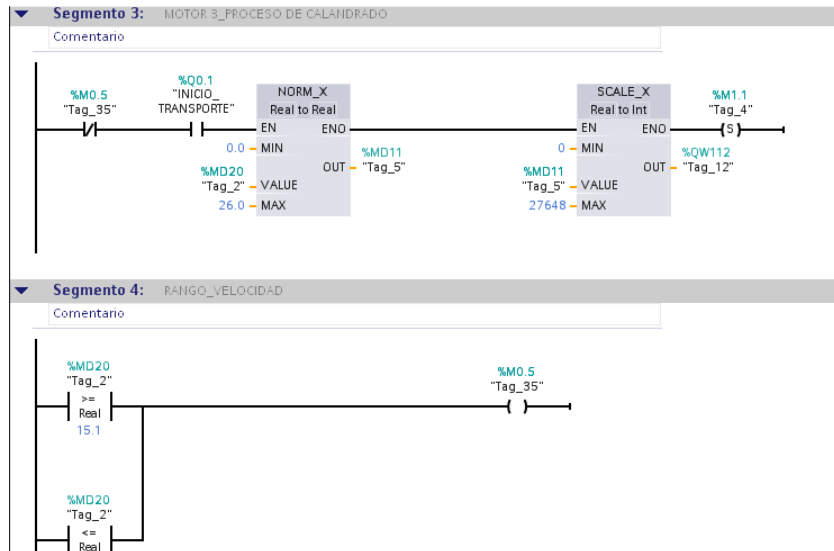


Figura. 4.20. Lectura y escritura de datos del Proceso de Calandrado.

La figura 4.21 muestra el segmento de lectura y escritura de los datos de la señal de entrada y salida analógica para el proceso de transporte de la alfombra.

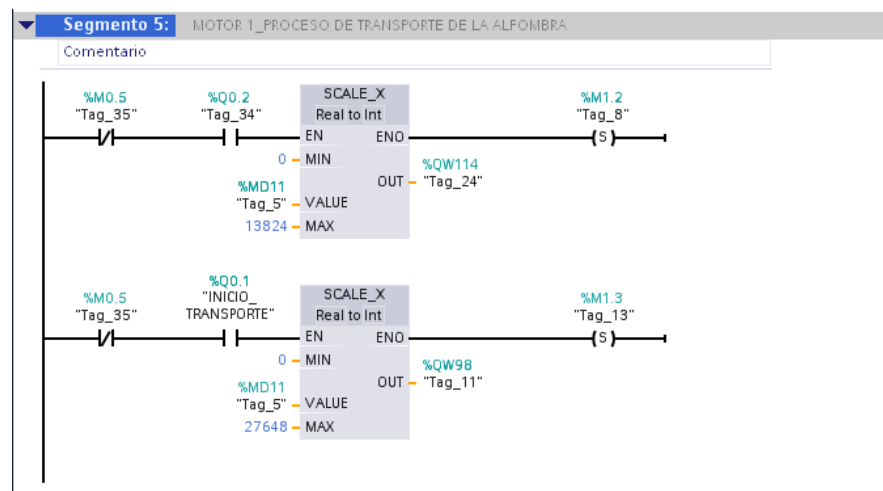


Figura. 4.21. Lectura y escritura de datos del Proceso de Transporte.

La figura 4.22 muestra el segmento de parametrización del control de velocidad para el proceso de dosificación.

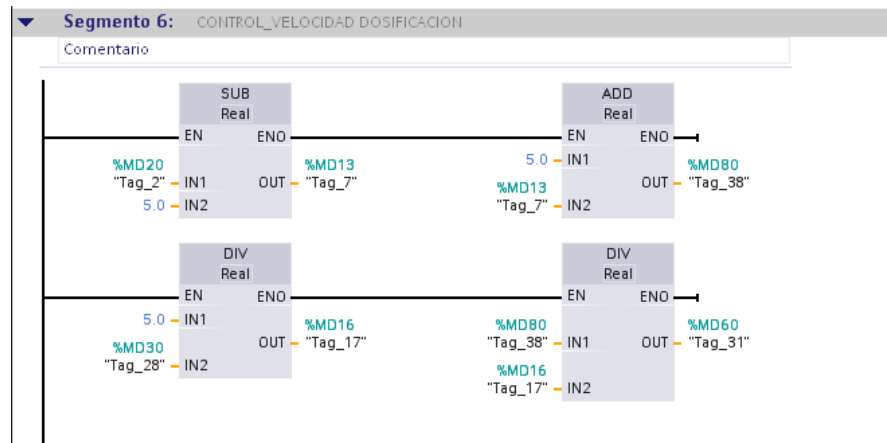


Figura. 4.22. Parametrización del control de velocidad del Proceso de Dosificación.

Los siguientes segmentos ilustrados en la figura 4.23, indican la lectura y escritura de los datos de señal de entrada y salida analógica para el proceso de dosificación.

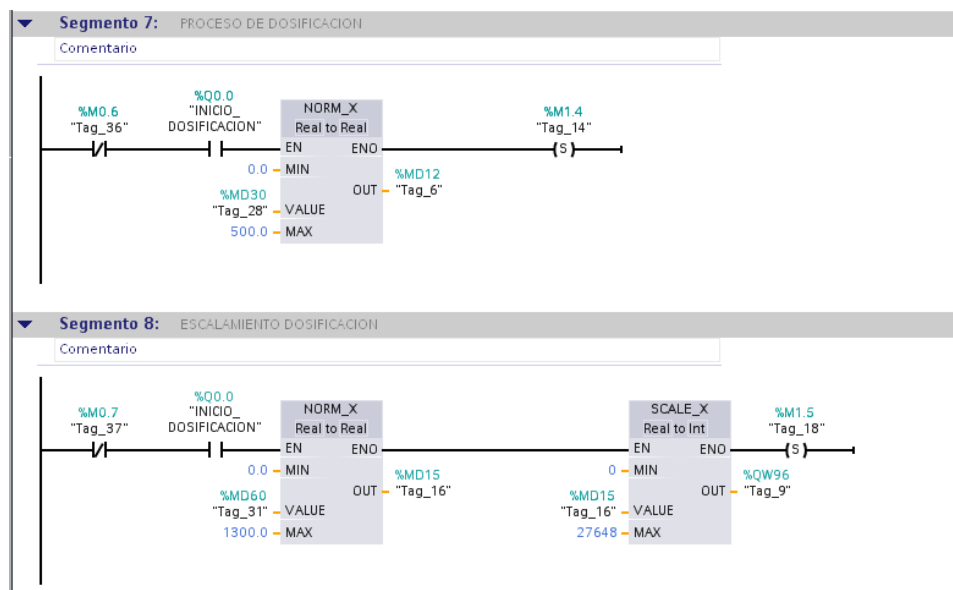


Figura. 4.23. Lectura y escritura de datos del Proceso de Dosificación.

La siguiente figura ilustra el rango de dosificación que posee dicho proceso.

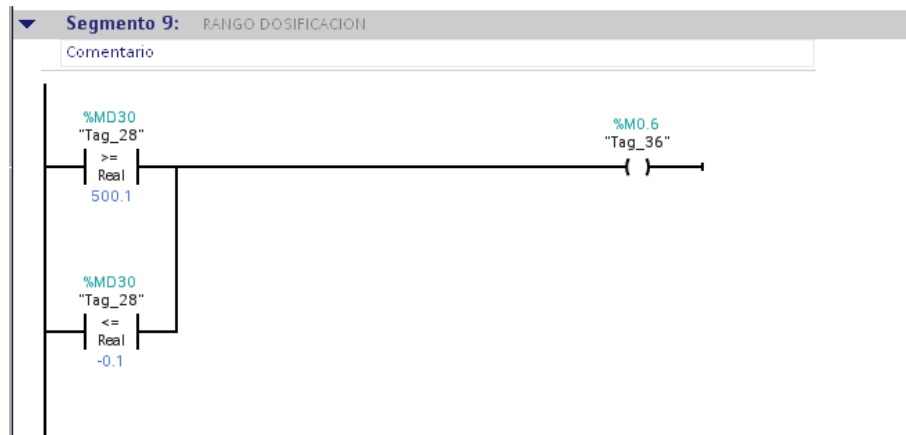


Figura. 4.24. Rango de Dosificación.

La figura 4.25 muestra el control de temperatura on-off aplicado al proceso de calentamiento de la alfombra, para la difusión de polvo de polietileno.

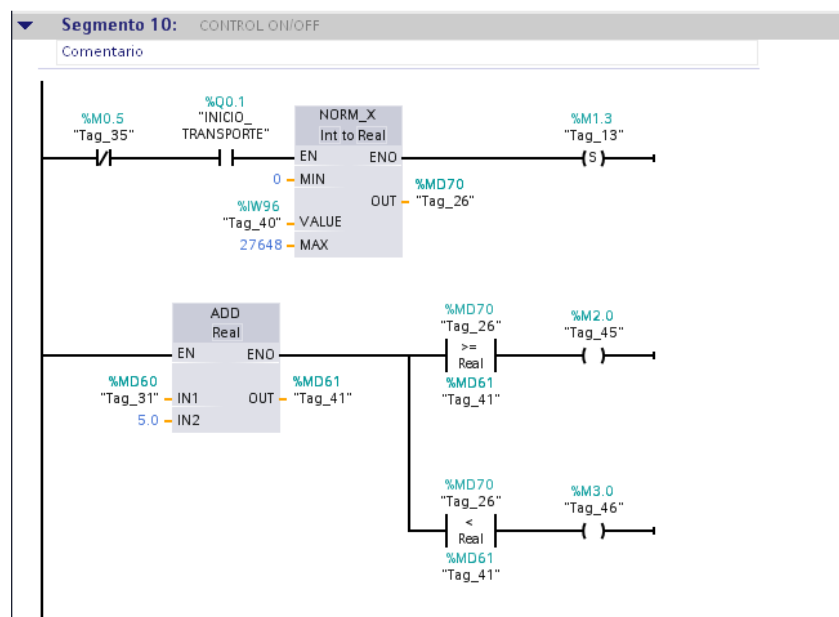


Figura. 4.25. Control de Temperatura On-Off.

4.3.3. PARAMETRIZACIÓN DE LOS VARIADORES DE VELOCIDAD

La parametrización de los variadores de frecuencia está basada en la configuración de las características generales de los motores que intervienen en el proceso general de dosificación, así como las características del proceso.

La marca Siemens tiene el mismo diagrama de bloques de las borneras de conexión para los variadores SinamicsG y Micromaster, por lo que este diagrama es fundamental para realizar la respectiva conexión con el resto de elementos. Véase figura 4.26.

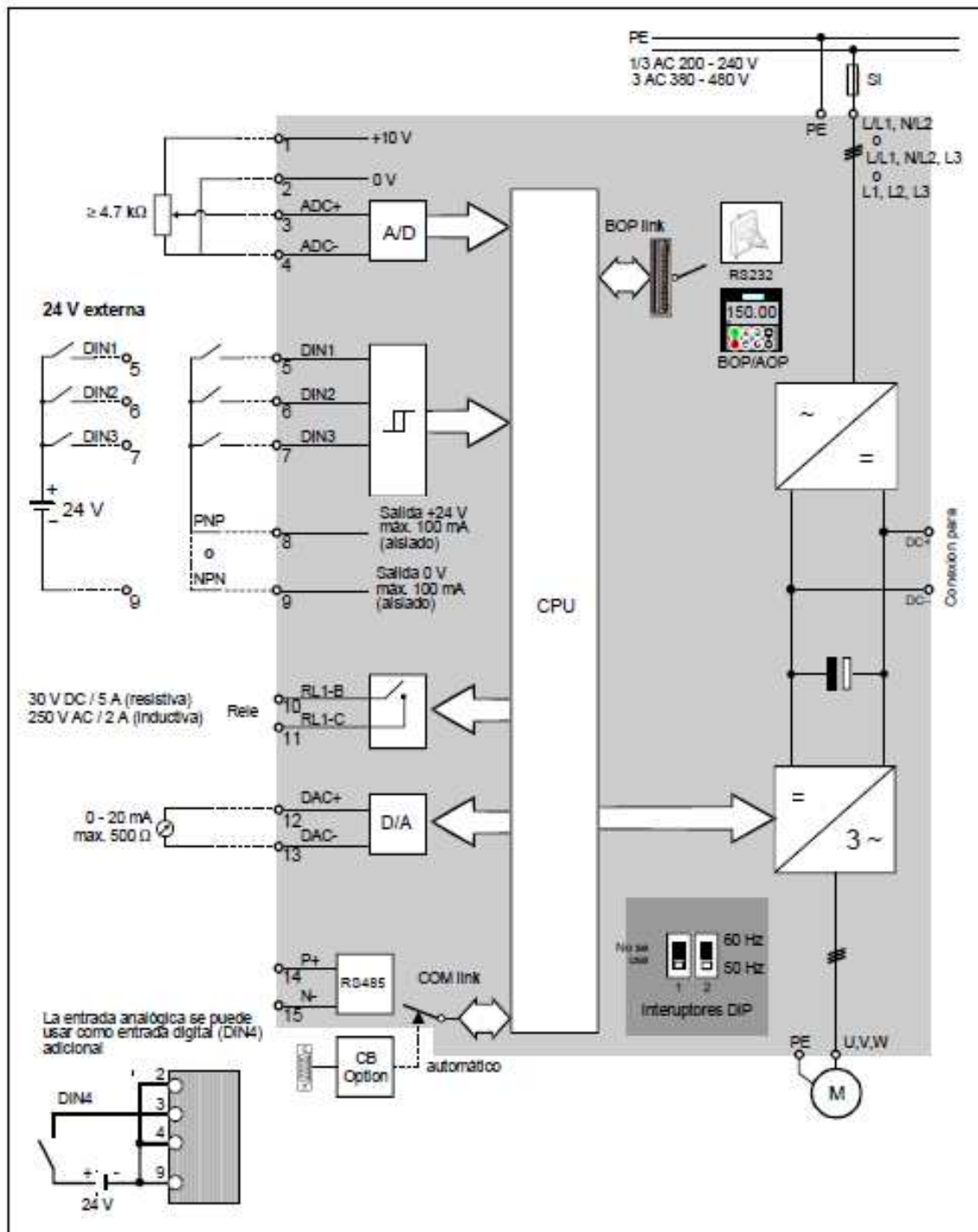


Figura. 4.26. Diagrama de Bloques de los Variadores de Frecuencia.

La parametrización de los variadores se realizó mediante el panel de operador BOP, la adquisición de este panel fue esencial ya que no se requiere de elementos adicionales debido a que en las otras opciones se requiere de elementos para la comunicación con el variador de frecuencia como es el caso de los puertos seriales.

El panel de operador BOP se utiliza para poner en marcha, diagnosticar (solucionar problemas) y visualizar el estado del convertidor. Permite controlar manualmente un accionamiento de forma local. Dispone de una sencilla navegación a través de un sistema de menús transparente y bien estructurado, y de teclas claramente asignadas. Ver figura 4.27.



Figura. 4.27. Pantalla del BOP

La parametrización viene dada por la configuración de puesta en marcha sencilla, ya que no es necesaria la utilización de parámetros especiales, en esta instancia se configuran los parámetros de características de las placas del motor de los procesos de dosificación, calandrado y transporte de la alfombra para cada variador de frecuencia.

Otra característica principal es la fuente de comandos ya que los variadores de frecuencia serán configurados por los bornes de conexión, debido a que el PLC enviará las señales analógicas para variar los respectivos motores.

Las frecuencias mínimas y máximas son configuradas para tener un rango de trabajo adecuado en la aplicación de los procesos, estos valores se los ajusta dependiendo del torque ya que no debe permitir que el motor se sobrecargue.

Los valores de tiempo de aceleración y desaceleración se los configura principalmente para el arranque y paro de los motores, principalmente el de parada debe ser ajustado en tiempo mínimo por efectos de seguridad, ya que en algún tipo de eventualidad este debe ser frenado de inmediato.

Para mayor información revisar el Anexo 2. Correspondiente a las configuraciones de los variadores de frecuencia.

La figura 4.28 muestra el diagrama de flujo que deben tener los variadores de frecuencia.

4.4. DESARROLLO Y CONFIGURACIÓN DE LA HMI

La sigla HMI es la abreviación en inglés de Interfaz Hombre Máquina. Los sistemas HMI son desarrollados en una ventana. Esta ventana puede estar en dispositivos especiales como paneles de operador o en un computador. Los sistemas HMI en computador se los conoce como software HMI o de monitoreo y control de supervisión.

Permiten crear y animar pantallas en forma sencilla. Incluyen gran cantidad de librerías de objetos para representar dispositivos de uso en la industria como: motores, tanques, indicadores, interruptores, etc.

El panel más sencillo es el más fácil de utilizar, y la idea principal es que su manejo no requiera entrenamiento del operario. Por lo tanto en el diseño de la interfaz hombre máquina se usará solamente lo estrictamente necesario para una total visualización del proceso. En la figura 4.29 se tiene la ventana de programación gráfica del panel táctil (KTP600).

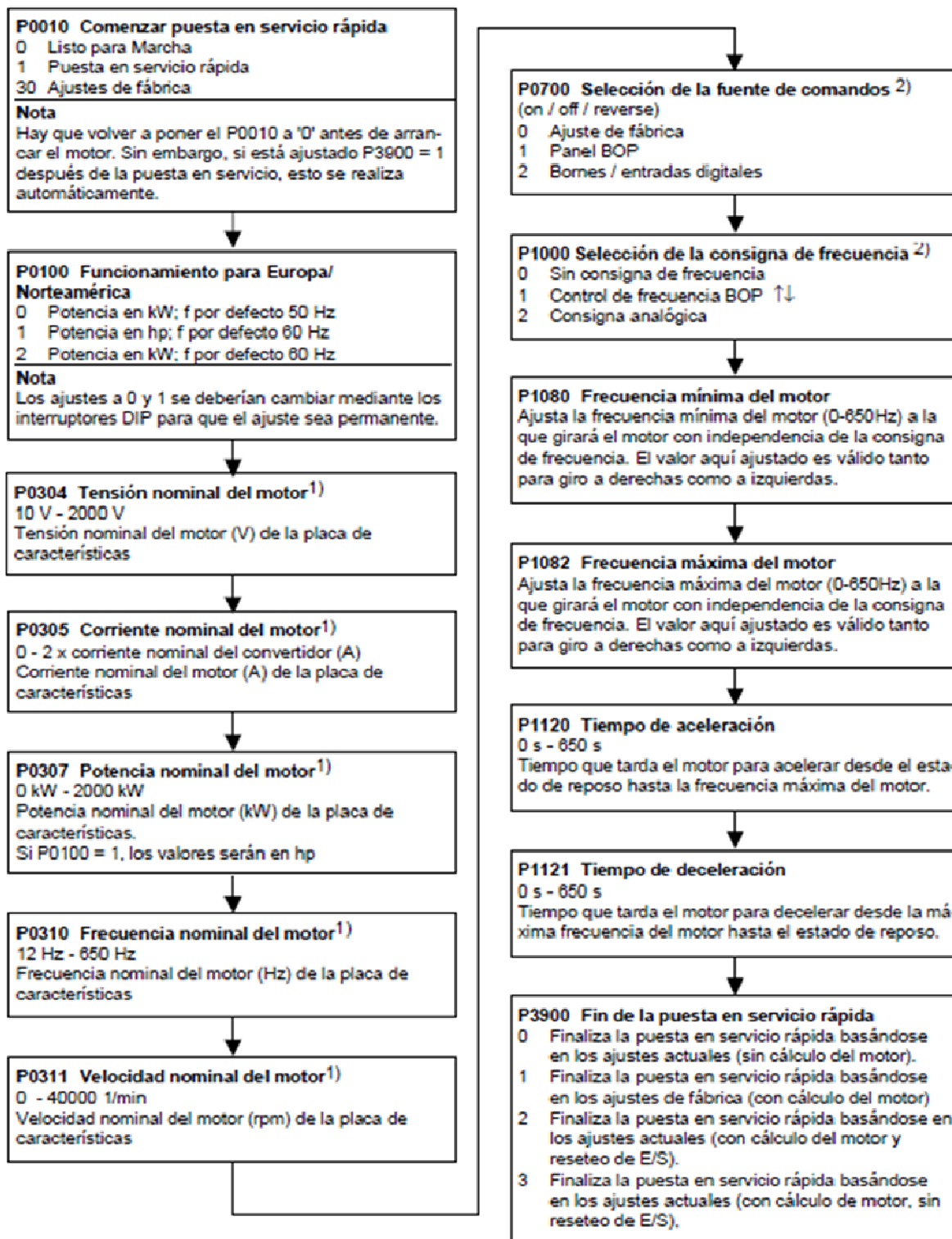


Figura. 4.28. Diagrama de flujo de Parametrización del MM420 y G120

En la parte derecha se aprecia la barra de herramientas que contiene todos los objetos básicos como: líneas, rectángulos, texto y gráficos, en la parte

intermedia se tiene los indicadores y elementos de control como: botones, barras cilíndricas, interruptores e indicadores.

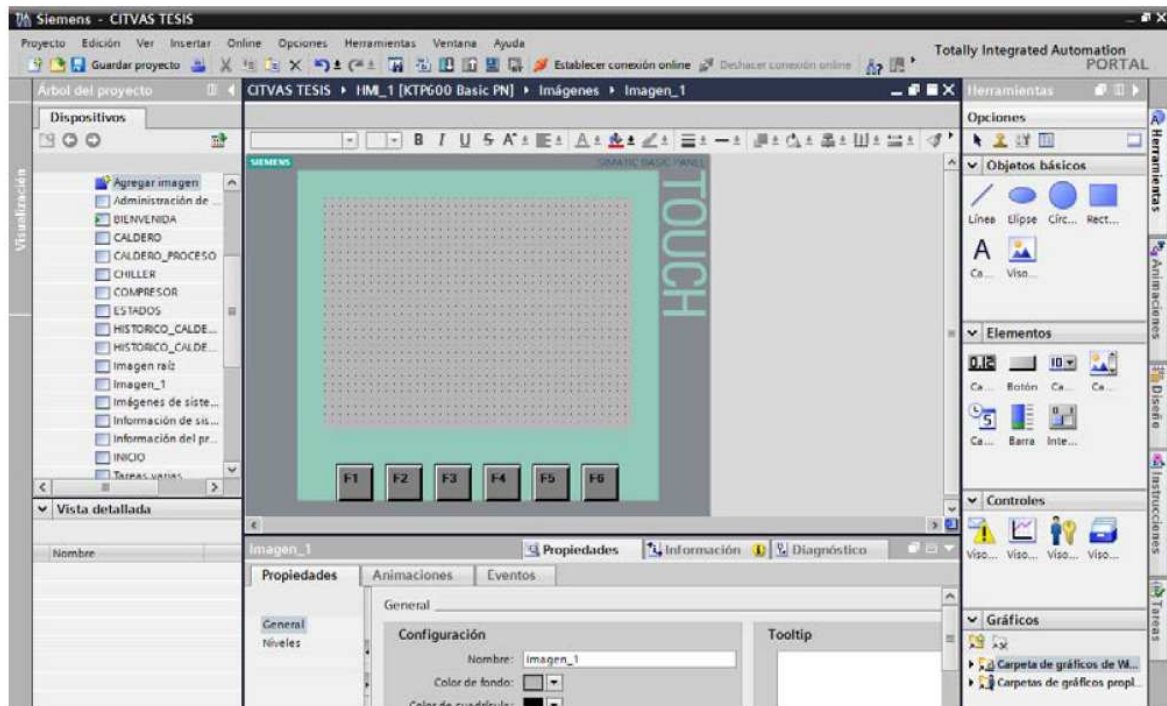


Figura. 4.29. Pantalla Diseño HMI.

El modo de programación gráfica resulta muy útil ya que solo se tiene que seleccionar el elemento requerido y ubicarlo en el sitio estratégico dentro del panel, y luego de ubicarlo, se puede modificar sus propiedades en la barra inferior, además si se necesita animar o programar un evento se cambia de pestaña en la barra de propiedades del elemento.

Antes de ingresar a la pantalla principal el sistema se inicia con una pantalla de presentación ya sea para dirigirse a la configuración de la pantalla que deberá ser solo operada por el personal calificado de la empresa, y otra para dirigirse a la pantalla del operador, es decir a la pantalla del proceso de dosificación.

La figura 4.30 ilustra el modo de inicialización de la pantalla de presentación.



Figura. 4.30. Pantalla de Presentación.

En el caso de que se presione el botón de personal calificado, se dirige a una pantalla donde pide una contraseña, esto se lo realizó ya que es, una ventana para configurar las funciones o parametrizaciones de la pantalla y debe ser solo operada por personal calificado o el ingeniero a cargo de la configuración de la pantalla. Véase figura 4.31.



Figura. 4.31. Pantalla de Contraseña.

En el caso de que se presione el botón de operador que se muestra en la figura 4.30, se dirige a la pantalla principal del proceso general de dosificación, en esta pantalla se encuentra todo el sistema ya que no se puede configurar pantallas individuales para cada proceso debido a que se necesita que los set points y los indicadores sean visibles en una misma pantalla.

La pantalla principal del proceso general de dosificación consta de los procesos de Dosificación y Transporte de la alfombra, Véase figura 4.32.



Figura. 4.32. Pantalla del Proceso General de Dosificación.

En la figura 4.33 se muestra la configuración de la Pantalla de Visualización KTP 600 utilizada para dar las órdenes al sistema de control, tanto para los procesos de Dosificación, Transporte y Calandrado, y está conformada de los siguientes elementos:

La tabla 4.13 muestra cada uno de los elementos que existen en la pantalla de operación.

N°	Proceso	Elemento	Descripción	Función
1	-----	Gráfico	Logo de la empresa	Ninguna
2	Proceso de transporte de la alfombra	Switch	Switch (on-off) para el control de velocidad del transporte.	Encendido y Apagado del control de velocidad del transporte de la alfombra.
		Gráfico	Gráfico del Control de Velocidad para el transporte de la alfombra	Ninguna
		Campo de Escritura	Permite la entrada y la visualización de valores de proceso para el control de velocidad del transporte de la alfombra.	Permite la entrada de datos para el control de velocidad del transporte de la alfombra. Rango: 2 a 15(m/min) El control de velocidad del transporte de la alfombra se desactiva siempre y cuando el dato no se encuentre dentro del rango.
		Indicador	Indicador para el control de velocidad del transporte de la alfombra. Unidad de trabajo: (m/min)	Permite visualizar la velocidad de transporte . El rango es de 2 a 20 (m/min) Unidad de trabajo: (m/min)
3	Proceso de Dosificación	Switch	Switch (on-off) para el control de Dosificación	Encendido y Apagado del control de Dosificación
		Gráfico	Gráfico del Control de Dosificación	Ninguna
		Campo de Escritura	Permite la entrada y la visualización de valores de proceso para el control de Dosificación	Permite la entrada de datos para el control de Dosificación. Rango: 100 a 500 (gr/m2) El control de Dosificación se desactiva siempre y cuando el dato no se encuentre dentro del rango.
		Indicador	Indicador para el control de Dosificación Unidad de trabajo: (gr/m2)	Permite visualizar la cantidad de polvo de polietileno que ha caído en la alfombra El rango es de 100 a 500 (gr/m2) Unidad de trabajo: (gr/m2)
4	Control del Rodillo	Switch	Switch (on-off) para el control de velocidad del Rodillo	Encendido y Apagado del rodillo.
5	Indicadores de Temperatura	Indicador	Indicador de la temperatura Unidad de trabajo: (°C)	Permite visualizar la temperatura de seteo y proceso Unidad de trabajo: (°C)
6	Pulsador	Pulsador	Pulsador que permite salir de la pantalla principal a la pantalla de Presentación	Pulsador que permite salir de la pantalla principal a la pantalla de Presentación.

Tabla. 4.13. Elementos del Sistema de Control

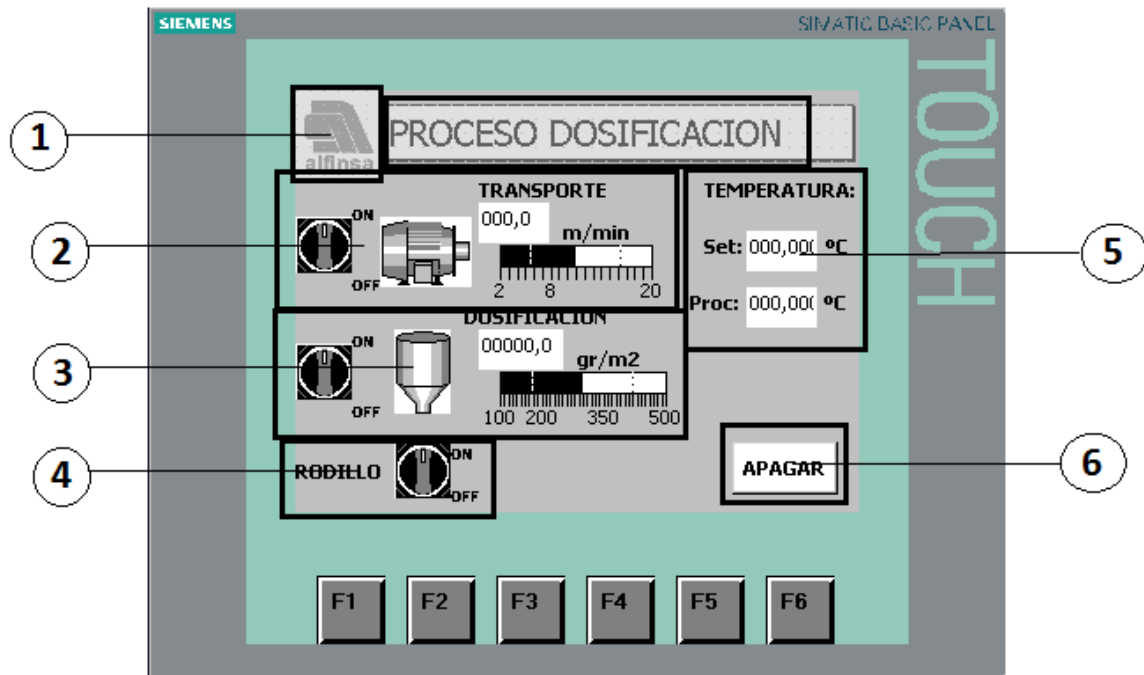


Figura. 4.33. Pantalla Principal del Sistema de Control

4.5. PUESTA EN MARCHA

Antes de realizar la puesta en marcha hay que realizar las siguientes pruebas de funcionamiento.

4.5.1. PRUEBAS A LAS CONEXIONES ELÉCTRICAS

1. Antes de encender todo el sistema, con el uso de un multímetro, seleccionado en la función de continuidad se revisó la interconexión de los elementos, tanto en el circuito de fuerza y en el de control.
2. Por seguridad se reajustó todos los tornillos y pernos que intervienen en el proyecto.
3. Se alimentó con tensión al armario y con el uso de un multímetro se revisó los voltajes presentes en el armario, tanto en el circuito de fuerza como en el de control.

En la siguiente tabla se muestran las mediciones que se realizaron durante el desarrollo de dichas pruebas.

PARÁMETROS	VALORES	UNIDADES
Voltaje en el circuito de control	220	VAC
Voltaje en el circuito de fuerza	440	VAC
Voltaje en los módulos de entradas y salidas analógicas del PLC	24	VDC
Voltaje en la pantalla de visualización	24	VDC

Tabla. 4.14. Mediciones realizadas

4.5.2. PRUEBAS AL FUNCIONAMIENTO DEL PLC Y HMI

Comprobada la correcta instalación y seguros de que no se presenten cortocircuitos, se procedió a realizar las siguientes pruebas de funcionamiento:

1. Se realizó la respectiva red LAN entre el PLC, el panel de visualización y el computador, y con la ayuda del software TIA portal se cargó el programa tanto al PLC y a la pantalla de visualización poniendo así el sistema en modo online, se revisó la coherencia de los estados lógicos de las entradas/ salidas digitales, y valores en las entradas/ salidas analógicas.
2. Se revisó la coherencia de los datos entre la parte física y la visualización en la HMI.
3. Mediante la activación manual de los pulsadores tanto de control como de emergencia se revisó el correcto funcionamiento del sistema.

En todos estos puntos se obtuvo los resultados esperados.

4.5.3. PRUEBAS A LOS VARIADORES DE VELOCIDAD

1. Se conectó los motores AC, de la dosificación, los rodillos transportadores y la calandra a los respectivos variadores de velocidad y se procedió a revisar el funcionamiento variador-motor, principalmente las funciones de arranque/ parada, sentido de giro, máxima y mínima velocidad, todos estos parámetros se los hizo en modo manual, es decir desde el variador de velocidad mediante los paneles BOP.
2. También se verificó el correcto arranque y parada de los motores desde la HMI, comprobando su funcionamiento, como la parada de emergencia y sus indicadores de velocidad.

En todos estos puntos se obtuvo los resultados esperados.

4.5.4. PRUEBAS AL CONTROL DE TEMPERATURA

1. Se verificó la señal de entrada en el PLC recibida por el sensor de temperatura.
2. Se seteo la temperatura al valor que se desee controlar y se mostro en la HMI.

En todos estos puntos se obtuvo los resultados esperados, por lo tanto se demostró que el lazo de control funciona correctamente.

Con todos los componentes del sistema ya instalados, y realizadas las respectivas pruebas de funcionamiento, se procede a energizar el proceso desde el tablero de distribución, ya que este a su vez energiza al tablero de control de la máquina dosificadora y al nuevo sistema de dosificación.

En el tablero de control es donde se puede activar a cada una de los servicios para tener a punto el proceso de dosificación, ya que es primordial que la máquina dosificadora no muestre problemas antes de la activación del proceso de dosificación. Véase figura 4.34.



Figura. 4.34. Tablero de Control de la Máquina Dosificadora.

En la figura 4.35 se muestra la pantalla principal del sistema, teniendo los procesos de dosificación y transporte, con sus respectivos seteos para realizar el control.



Figura 4.35. Pantalla Principal del Proceso de Dosificación.

CAPÍTULO V

PRUEBAS EXPERIMENTALES Y RESULTADOS

5.1. PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE LA ALFOMBRA

Revisado el respectivo funcionamiento de los motores de los rodillos y la calandra se seteó la velocidad con la que la alfombra se movería, en este punto se tuvo que calibrar la velocidad de los motores mediante modificaciones en el programa del PLC ya que el sistema debe trasladar la alfombra a una velocidad constante para que la alfombra no sufra daños en el traslado.

El procedimiento para determinar la velocidad de transporte fue la siguiente:

Se tomó como datos el tiempo en que recorrió un tramo de la cadena.

La velocidad tomada desde la HMI fue de 5 m/min, y este fue el resultado. Ver tabla 5.1.

Dato velocidad (m/min)	Tiempo (seg)	Distancia (m)	Velocidad obtenida (m/min)	Error (%)
5	27,42	2,5	5,47	+9,41

Tabla. 5.1. Pruebas realizadas al sistema de transporte de la alfombra

Como se puede observar el error es muy alto para ello se tuvo que calibrar nuevamente obteniendo los resultados de la tabla 5.2.

Dato velocidad (m/min)	Tiempo (seg)	Distancia (m)	Velocidad obtenida (m/min)	Error (%)
5	28,45	2,5	5,27	+5,4

Tabla. 5.2. Pruebas realizadas al sistema de transporte de la alfombra

Los resultados se encuentran dentro del rango de tolerancia, pero este valor se puede ajustar como se muestra en la tabla 5.3, siendo este, el valor adecuado para la velocidad de 5 m/min.

Dato velocidad (m/min)	Tiempo (seg)	Distancia (m)	Velocidad obtenida (m/min)	Error (%)
5	29,82	2,5	5,03	+0,60

Tabla. 5.3. Pruebas corregidas al sistema de transporte de la alfombra

Ahora la velocidad tomada desde la HMI es de 7 m/min, y este fue el resultado. Ver tabla 5.4.

Dato velocidad (m/min)	Tiempo (seg)	Distancia (m)	Velocidad obtenida (m/min)	Error (%)
7	20,40	2,5	7,35	+5

Tabla. 5.4. Pruebas realizadas al sistema de transporte de la alfombra

Los resultados se encuentran dentro del rango de tolerancia, pero este valor se puede ajustar como se muestra en la tabla 5.5, siendo este, el valor adecuado para la velocidad de 7 m/min.

Dato velocidad (m/min)	Tiempo (seg)	Distancia (m)	Velocidad obtenida (m/min)	Error (%)
7	21,12	2,5	7,1	+1,46

Tabla. 5.5. Pruebas corregidas al sistema de transporte de la alfombra

Ahora la velocidad tomada desde la HMI es de 9 m/min, y este fue el resultado. Ver tabla 5.6.

Dato velocidad (m/min)	Tiempo (seg)	Distancia (m)	Velocidad obtenida (m/min)	Error (%)
9	18,42	2,5	8,14	-9,52

Tabla. 5.6. Pruebas realizadas al sistema de transporte de la alfombra

Como se puede observar el error es muy alto para ello se tuvo que calibrar nuevamente obteniendo los resultados de la tabla 5.7.

Dato velocidad (m/min)	Tiempo (seg)	Distancia (m)	Velocidad obtenida (m/min)	Error (%)
9	16,86	2,5	8,89	-1,14

Tabla. 5.7. Pruebas realizadas al sistema de transporte de la alfombra

Los resultados se encuentran dentro del rango de tolerancia, pero este valor se puede ajustar como se muestra en la tabla 5.8, siendo este, el valor adecuado para la velocidad de 9 m/min.

Dato velocidad (m/min)	Tiempo (seg)	Distancia (m)	Velocidad obtenida (m/min)	Error (%)
9	16,73	2,5	8,96	-0.37

Tabla. 5.8. Pruebas corregidas al sistema de transporte de la alfombra

5.2. PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN

Se revisó el funcionamiento del cepillo cilíndrico para la dosificación, mediante el movimiento del motor, realizada esta prueba se seteó la dosificación en la HMI verificando la cantidad de polvo de polietileno que cae en la alfombra, en este punto se tuvo que calibrar la velocidad del motor mediante modificaciones en el programa del PLC para poder cumplir con lo requerido principalmente para que no exista pérdida de material químico.

En este caso el resultado no fue el adecuado ya que como tolerancia el resultado debe estar en rangos de +10% ó -10% de error, los resultados mejorados serán mostrados en el siguiente apartado, es decir en el de pruebas y resultados de todo el sistema.

Para realizar estas pruebas se tuvo que pesar el polvo en una balanza digital.

Las siguientes tablas se realizaron a partir de las velocidades de transporte y datos de dosificación más utilizados.

En estas primeras pruebas el sistema de control está fuera de rango. Ver tablas 5.9 y 5.10.

Velocidad: 5 m/min

Dato dosificación (gr/m ²)	Peso (gr)	Área (m ²)	Dato obtenidos dosificación (gr/m ²)	Error (%)
150	595,64	5,25	113,45	-24,37
250	1160,40	5,25	221,03	-11,59

Tabla. 5.9. Pruebas realizadas al sistema de dosificación con una velocidad de 5m/min

Velocidad: 7 m/min

Dato dosificación (gr/m²)	Peso (gr)	Área (m²)	Dato obtenidos dosificación (gr/m²)	Error (%)
250	1412,1	4,9	288,18	+15,27

Tabla. 5.10. Pruebas realizadas al sistema de dosificación con una velocidad de 7m/min

Debido a que el sistema es lineal se comprobó con gráficas dicha linealidad partiendo de la realización de las pruebas experimentales del sistema, y se obtuvo las siguientes gráficas, principalmente para el sistema de dosificación ya que la velocidad de transporte es constante. Ver tablas 5.11-5.13 y figuras 5.1-5.3.

Por lo tanto el sistema de control realizado es lineal, debido a las instrucciones del PLC y los variadores de frecuencia, logrando estar dentro del rango de valores permisibles.

Velocidad: 5 m/min

Dato dosificación (gr/m²)	Peso (gr)	Área (m²)	Datos obtenidos dosificación (gr/m²)	Error (%)
100	316,06	3,5	90,30	-9,70
150	494,55	3,5	141,3	-5,8
200	729,3	3,5	208,37	+4,19
250	930,8	3,5	265,94	+6,38
300	1088,87	3,5	311,11	+3,70

Tabla. 5.11. Pruebas corregidas al sistema de dosificación con una velocidad de 5m/min

Mediante el nuevo sistema de control implementado en la máquina dosificadora se mejoró el funcionamiento de muchas maneras, el nuevo sistema trae ventajas que anteriormente no se podían observar.

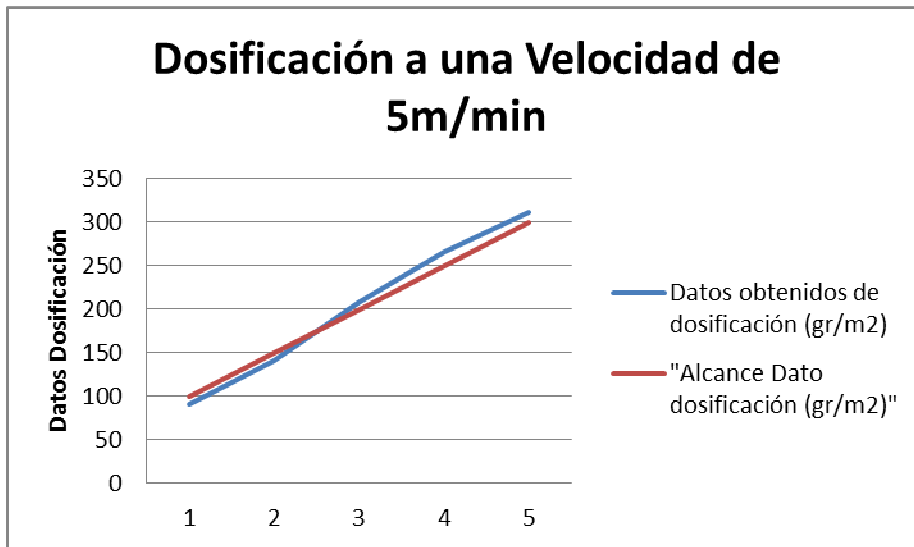


Figura. 5.1. Dosificación a una Velocidad de 5m/min

Velocidad: 6 m/min

Dato dosificación (gr/m2)	Peso (gr)	Área (m2)	Datos obtenidos dosificación (gr/m2)	Tolerancia (%)
100	386,15	4,2	91,94	-8,06
250	1029,1	4,2	245,02	-1,99

Tabla. 5.12. Pruebas corregidas al sistema de dosificación con una velocidad de 6m/min

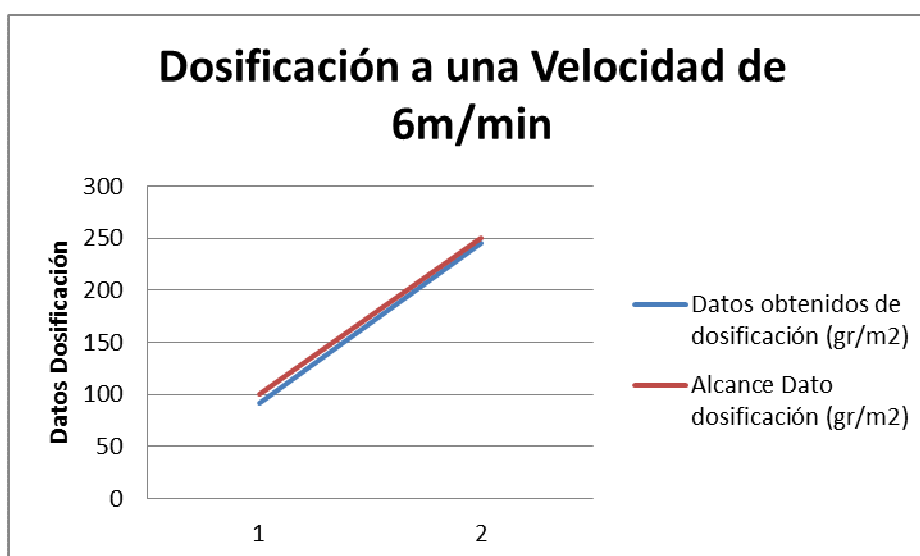


Figura. 5.2. Dosificación a una Velocidad de 6m/min

Velocidad: 7 m/min

Dato dosificación (gr/m ²)	Peso (gr)	Área (m ²)	Datos obtenidos dosificación (gr/m ²)	Tolerancia (%)
100	442,32	4,9	90,27	-9,73
150	752,7	4,9	153,61	+2,41
200	957	4,9	195,31	-2,35
250	1192,3	4,9	243,33	-2,67

Tabla. 5.13. Pruebas corregidas al sistema de dosificación con una velocidad de 7m/min

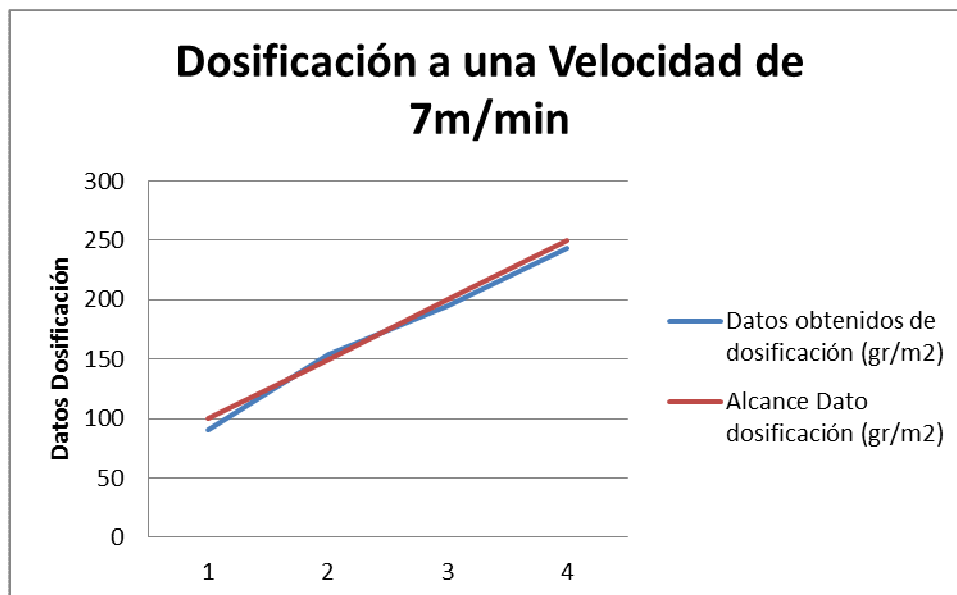


Figura. 5.3. Dosificación a una Velocidad de 7m/min

5.3. PRUEBAS Y RESULTADOS DE TODO EL SISTEMA

En este punto existió un error demasiado grave, ya que el sistema como conjunto no funcionó, ya que los variadores de frecuencia del sistema de transporte tomaban datos erróneos e hicieron que la calandra gire al otro lado, esto fue debido a que el PLC tomaba datos negativos en los módulos de entrada/salida analógicas.

Para solucionar este problema se revisó la puesta a tierra y el neutro de la planta de la empresa, ya que se supuso que la puesta a tierra y el neutro eran el mismo, más no fue así.

En la respectiva revisión se localizó que un variador de frecuencia no estaba con la respectiva puesta a tierra, se realizó el respectivo cableado y se puso nuevamente en funcionamiento el sistema para revisar si esa era la causa del error.

En ese momento el sistema empezó a funcionar correctamente, por lo que se revisó la verificación de los datos en el PLC realizando todas las pruebas de funcionamiento, observando que no lleguen datos negativos al PLC.

Se revisó también los voltajes de entrada/salida de los módulos analógicos del PLC como el de los variadores de frecuencia. Estos variaban de 0 a 10 V según corresponda el caso.

Por lo tanto el sistema ya no tenía ninguna falla o error ya sea en el PLC ó en los variadores de frecuencia.

Teniendo realizadas todas las pruebas preliminares, se presentó el funcionamiento del sistema al ingeniero de coordinación y operación de planta.

Las pruebas de funcionamiento fueron las siguientes:

1. Se probó el arranque y parada del nuevo sistema de control ante ciertas condiciones que podrían presentarse, principalmente el ingreso de datos erróneos o fuera de rango en la HMI, tanto para la dosificación como para el transporte de la alfombra, realizando la parada del sistema.

Rangos de Operación del sistema

Para el sistema de velocidad de transporte el rango es:

- Rango: 3 a 15 m/min

Para el sistema de dosificación el rango es:

- Rango: 100 a 500 gr/m²

Para el control de temperatura el rango es:

- Rango: 100 a 250 °C

El punto de operación más utilizado en la empresa es el siguiente:

5m/min para el sistema de velocidad de transporte y 250 gr/m² para el sistema de dosificación

2. Se probó la parada de emergencia del sistema.
3. Por último se realizó las pruebas de velocidad para el transporte de la alfombra y de peso para la dosificación.

Las siguientes tablas 5.14-5.16 se realizaron a partir de las velocidades de transporte y datos de dosificación más utilizados.

Velocidad: 5 m/min

Dato dosificación (gr/m ²)	Peso (gr)	Área (m ²)	Datos obtenidos dosificación (gr/m ²)	Error (%)
100	316,06	3,5	90,30	-9,70
150	494,55	3,5	141,3	-5,8
200	729,3	3,5	208,37	+4,19
250	930,8	3,5	265,94	+6,38
300	1088,87	3,5	311,11	+3,70

Tabla. 5.14. Pruebas corregidas al sistema de dosificación con una velocidad de 5m/min

Velocidad: 6 m/min

Dato dosificación (gr/m ²)	Peso (gr)	Área (m ²)	Datos obtenidos dosificación (gr/m ²)	Error (%)
100	386,15	4,2	91,94	-8,06
250	1029,1	4,2	245,02	-1,99

Tabla. 5.15. Pruebas corregidas al sistema de dosificación con una velocidad de 6m/min

Velocidad: 7 m/min

Dato dosificación (gr/m2)	Peso (gr)	Área (m2)	Datos obtenidos dosificación (gr/m2)	Error (%)
100	442,32	4,9	90,27	-9,73
150	752,7	4,9	153,61	+2,41
200	957	4,9	195,31	-2,35
250	1192,3	4,9	243,33	-2,67

Tabla. 5.16. Pruebas corregidas al sistema de dosificación con una velocidad de 7m/min

Los resultados fueron positivos, ya que los valores se encontraron dentro del rango de valores permisibles como muestran las tablas 5.11-5.13. Por lo tanto el sistema de control cumple con los requerimientos de la empresa.

Luego de realizadas todas las pruebas en la instalación, en el funcionamiento y con el visto bueno del personal de mantenimiento, supervisores de producción y con la satisfacción nuestra de haber cumplido, el nuevo sistema de control para la dosificación de material químico (polvo de polietileno) quedó funcionando a la perfección.

Analizando este apartado es importante mencionar algunas características técnicas de las mejoras, a continuación se detallan las siguientes:

Maximizar los datos para la dosificación: Debido a la utilización de las entradas/ salidas analógicas del PLC y la señal analógica de entrada del variador de velocidad se obtiene un mayor rango de valores para la dosificación, además aumenta dicho rango, haciendo que el sistema sea más eficiente y tenga una mayor cantidad de producción para diferentes tipos de alfombras.

Aumentar o Disminuir la velocidad de transporte: De igual manera que la dosificación con las entradas/ salidas analógicas del PLC y el variador de velocidad se aumenta o disminuye la velocidad de traslado de la alfombra por lo que se puede trabajar con eficiencia para algunos tipos de alfombras que

necesitan de ciertas velocidades.

Eficiencia en el sistema de operación para el sistema de dosificación: Con la HMI realizada para este nuevo sistema, el operador tiene la capacidad de setear los valores para la dosificación, la velocidad de transporte, por lo que disminuye el tiempo de trabajo para el operador.

Debido a que todo el sistema está relacionado para funcionar de una manera óptima, el nuevo sistema disminuirá el tiempo de trabajo para el operador y tendrá mayor cantidad de producción.

Los mejores resultados de éste sistema se basa principalmente en que las señales del PLC las procesa directamente y ejecuta acciones sobre los motores, anteriormente las señales de control accionaban un grupo de contactores los cuales eran los encargados de controlar el grupo de resistencias rotóricas que regulan la velocidad del motor.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- El sistema cumplió con las expectativas impuestas, ya que la dosificación de material químico (polvo de polietileno) se distribuye correctamente en la alfombra, realizando un control óptimo de dicho material, siendo así el principal proceso de producción de la empresa, por lo tanto, el sistema de control desarrollado es confiable, seguro y cumple con las necesidades de la empresa y el operador.
- Se logró desarrollar una interfaz fácil e intuitiva para el sistema de control de dosificación, ya que los sistemas de monitoreo y control implementados en este proyecto son de fácil utilización para el personal de operación.
- Debido a que se utilizaron métodos de control automático e interfaces de comunicación industrial, el espacio de implementación es menor al de los sistemas tradicionales, por lo tanto fue fácil acoplar este nuevo sistema al sistema antiguo en la forma física y eléctrica, de donde se obtuvo la unión entre el sistema de control de dosificación y la máquina dosificadora.

- Mediante la utilización del PLC se acoplaron sistemas independientes, el control de velocidad y control de temperatura, obteniendo resultados satisfactorios.

6.2. RECOMENDACIONES

- Es indispensable realizar un balance de carga en las líneas del sistema para evitar bruscas variaciones y alteraciones en el desempeño normal del sistema al verse alterado por picos de corriente y voltaje generados por los factores que producen las cargas resistivas (elementos calefactores como resistencias industriales) y los elementos inductivos como los motores utilizados.
- Se recomienda a la empresa Alfinsa S.A. la inversión en proyectos de automatización, pues con ello se logrará mejorar sus índices de producción, por lo que el nuevo sistema de control tiene la capacidad de expandirse para realizar otros sistemas de control.
- En la máquina de dosificación de material químico un operador es la parte primordial para la ejecución satisfactoria del proceso, por lo que el mismo deberá tener una capacitación de interfaces humano máquina, así como un conocimiento básico del funcionamiento de los dispositivos elementales del sistema de control.
- Por tener un ambiente de trabajo de carácter industrial se recomienda el mantenimiento periódico del sistema de control y de la máquina de dosificación para evitar acumulación de material químico (polvo de polietileno), desgaste de los dispositivos, entre otros.

BIBLIOGRAFÍA

- ANTONIO CREUS, Instrumentación Industrial, 8va edición, Marcombo Ediciones Técnicas, Barcelona España, 2010.
- J. ACEDO SÁNCHEZ, Control Avanzado de Procesos, Teoría y Práctica, Ediciones Díaz de Santos, S.A, Madrid, 2003.
- JOSEP BALCELLS, JOSÉ LUIS ROMERAL, Autómatas Programables, Marcombo, S.A, Barcelona España, 2007.

[1] http://www.cinae.org.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=87&Itemid=497&lang=es

[2] <http://www.premiertechieg.com/es/productos/tolva-volumetrica/>

[3] <http://www.incale.com/es/productos/cepillos/tenicosindustriales/redondoscilindricos/421.html>

[4] http://grupos.emagister.com/debate/control_de_motores_electricos_parte_2/1007-35525

[5] Manual técnico de la máquina dosificadora, tarjeta DRY 310, otorgado por la empresa ALFINSA S.A.

[6] <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4838/1/CD-4431.pdf>

[7] <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion2.Hornos.RESISTENCIAS.2006.pdf>

[8] <http://www.metring.com/notes/HI-10-10-MT2009.pdf>

[9] http://www.rocatek.com/forum_plc2.php

[10] <http://catalogo.weg.com.br/files/wegnet/WEG-seleccion-y-aplicacion-de-variadores-de-velocidad-articulo-tecnico-espanol.pdf>

[11] <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/696/1/CD-1100.pdf>

[12] http://www2.elo.utfsm.cl/~elo307/informes/2012_s1/4%20seleccionada/Alternativas%20Seleccionada%20Robinson%20Peralta.pdf

[13] http://www.utp.edu.co/cmsutp/data/bin/UTP/web/uploads/media/contratacion/documentos/archivos/200907/ET_Lic_33.pdf

[14] http://www.automation.siemens.com/mcms/programmablelogiccontroller/en/simatic-s7-controller/s7_1200/pages/default.aspx

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1. Operación de la Máquina Dosificadora	8
2.2. Componentes del Proceso de Dosificación	9
2.3. Dosificador de Polvo de Polietileno	9
2.4. Tolva Dosificadora	11
2.5. Cepillo Cilíndrico	11
2.6. Motor Trifásico Jaula de Ardilla	14
2.7. Reductor	15
2.8. Diagrama de la Tarjeta DRY-310	16
2.9. Sistema de Calandrado	19
2.10. Horno de Resistencias	20
2.11. Resistencias Eléctricas utilizadas en la Máquina Dosificadora	21
2.12. Controlador de Temperatura	22
2.13. Relé de Estado Sólido.....	23
2.14. Rodillo Industrial de la Máquina dosificadora	23
2.15. Sensor de Temperatura termocupla tipo K.....	25
2.16. Curva del Sensor de Temperatura termocupla tipo K	25
2.17. Proceso de transporte de la alfombra.....	27
3.1. Diagrama P&ID del Sistema.....	32
3.2. Elementos que intervienen en el Proceso de Dosificación	33
3.3. Dispositivos de diseño para el Proceso de Dosificación	34
3.4. Elementos que intervienen en el Proceso de Calandrado	36
3.5. Dispositivos de diseño para el Proceso de Calandrado	36
3.6. Dispositivos de diseño para el Proceso de Transporte	38
3.7. Diagrama Unifilar de la alimentación Principal	40
3.8. Diagrama Unifilar del Circuito de Fuerza.....	41

3.9. Diagrama Eléctrico del Circuito de Control.....	44
3.10. Diagrama Eléctrico del PLC.	45
3.11. Control de temperatura con lazo de histéresis.	45
3.12. Diagrama P&ID del controlador de Temperatura.	46
3.13. Arquitectura del Sistema de Control.....	47
3.14. Curva característica intensidad-tiempo.	59
4.1. Dimensiones del gabinete en cm	67
4.2. Dimensiones Riel DIN	68
4.3. Diagrama de conexión del S7 1200	70
4.4. Variador de Velocidad Micromaster 420.....	72
4.5. Variador de Velocidad Sinamics G120C	74
4.6. Variador de Velocidad Sinamics G120.....	75
4.7. Tablero de Control de la Máquina Dosificadora.	82
4.8. Gabinete del Sistema de Control.....	83
4.9. Tablero de Control.....	84
4.10. Dimensiones para la instalación del Tablero de Control(en cm)	84
4.11. Tablero de Distribución.....	85
4.12. Ruta del Cableado hacia la Máquina Dosificadora.....	85
4.13. Instalación del Gabinete de Control	86
4.14. Montaje de S7 1200	87
4.15. Dimensiones de Montaje (en mm).....	88
4.16. Patrones taladros para versiones Micromaster 420	88
4.17. Dimensiones, Figuras de taladro y distancias mínimas del Sinamics G120C.....	89
4.18. Diagrama de Flujo	90
4.19. Encendido y apagado de los Procesos de Dosificación y Transporte.	92
4.20. Lectura y escritura de datos del Proceso de Calandrado.	93
4.21. Lectura y escritura de datos del Proceso de Transporte.	93
4.22. Parametrización del control de velocidad del Proceso de Dosificación.	94
4.23. Lectura y escritura de datos del Proceso de Dosificación.	94
4.24. Rango de Dosificación.....	95
4.25. Control de Temperatura On-Off.....	95
4.26. Diagrama de Bloques de los Variadores de Frecuencia.....	96
4.27. Pantalla del BOP	97

4.28. Diagrama de flujo de Parametrización del MM420 y G120	99
4.29. Pantalla Diseño HMI.....	100
4.30. Pantalla de Presentación.....	101
4.31. Pantalla de Contraseña.....	101
4.32. Pantalla del Proceso General de Dosificación... ..	102
4.33. Pantalla Principal del Sistema de Control.....	104
4.34. Tablero de Control de la Máquina Dosificadora.	107
4.35. Pantalla Principal del Proceso de Dosificación.. ..	107
5.1. Dosificación a una Velocidad de 5m/min.....	113
5.2. Dosificación a una Velocidad de 6m/min.....	113
5.3. Dosificación a una Velocidad de 7m/min.....	114

ÍNDICE DE TABLAS

2.1. Valores de Dosificación	7
2.2. Tipo de material del cepillo cilíndrico.....	12
2.3. Características Técnicas del Motor Jaula de ardilla	14
2.4. Características Técnicas del Moto-Reductor.....	16
2.5. Ficha técnica de la tarjeta DRY-310.....	17
2.6. Datos técnicos tarjeta DRY-310	18
2.7. Equivalencia de temperatura termocupla tipo K.....	26
3.1. Nomenclatura de los elementos del Sistema	33
3.2. Nomenclatura de los elementos del Controlador de Temperatura.	46
3.3. Dimensionamiento PLC.....	49
3.4. Características Principales del PLC	50
3.5. Características técnicas de los motores en el proceso general de Dosificación.....	52
3.6. Potencia requerida para los Variadores de Frecuencia.....	53
3.7. Características Principales de los Variadores de Frecuencia.....	53
3.8. Parámetros para la selección de los Variadores de Frecuencia.....	54
3.9. Parámetros de programación de los Variadores de Frecuencia.....	54
3.10. Datos Técnicos del Panel de Operador.....	55
3.11. Dimensionamiento de Contactador	56
3.12. Clases de disparo de los relés térmicos.....	58
3.13. Dimensionamiento de Guardamotores.....	59
3.14. Calibre de Conductor.....	60
3.15. Calibre de Conductor para el Proceso.....	61
3.16. Lista de los dispositivos del sistema de control.	64
4.1. Características del PLC S7-1200	70

4.2. Módulos externos del S7-1200.....	71
4.3. Características Técnicas del Variador de Velocidad Micromaster 420.....	73
4.4. Características Técnicas del Variador de Velocidad Sinamics G120C	74
4.5. Características Técnicas del Variador de Velocidad Sinamics G120	76
4.6. Características Técnicas del Panel View.....	77
4.7. Características Técnicas del Contactor.....	78
4.8. Características Técnicas del Contactor para el Proceso de Dosificación....	79
4.9. Características Técnicas del Guardamotor.....	80
4.10. Características Técnicas del Guardamotor para el Proceso de Dosificación	80
4.11. Montaje dispositivos S7 1200.....	87
4.12. Tabla de direcciones IP para red PROFINET.....	92
4.13. Elementos del Sistema de Control	103
4.14. Mediciones realizadas.....	105
5.1. Pruebas realizadas al sistema de transporte de la alfombra.....	108
5.2. Pruebas realizadas al sistema de transporte de la alfombra.....	109
5.3. Pruebas corregidas al sistema de transporte de la alfombra.....	109
5.4. Pruebas realizadas al sistema de transporte de la alfombra.....	109
5.5. Pruebas corregidas al sistema de transporte de la alfombra.....	110
5.6. Pruebas realizadas al sistema de transporte de la alfombra.....	110
5.7. Pruebas realizadas al sistema de transporte de la alfombra.....	110
5.8. Pruebas corregidas al sistema de transporte de la alfombra.....	110
5.9. Pruebas realizadas al sistema de dosificación con una velocidad de 5m/min.....	111
5.10. Pruebas realizadas al sistema de dosificación con una velocidad de 7m/min.....	112
5.11. Pruebas corregidas al sistema de dosificación con una velocidad de 5m/min.....	112
5.12. Pruebas corregidas al sistema de dosificación con una velocidad de 6m/min.....	113
5.13. Pruebas corregidas al sistema de dosificación con una velocidad de 7m/min.....	114
5.14. Pruebas corregidas al sistema de dosificación con una velocidad de 5m/min.....	116

5.15. Pruebas corregidas al sistema de dosificación con una velocidad de 6m/min.....	116
5.16. Pruebas corregidas al sistema de dosificación con una velocidad de 7m/min.....	117

GLOSARIO

CPU: Unidad Central de Procesos

DB: Diagrama de Bloques

DI: Entradas Discretas

DO: Salidas Discretas

FB: Bloque de Funciones

HMI: Interfaz Humano Máquina

IEC: Comisión Electrotécnica Internacional

KTP: Panel Terminal de Operador por Teclado

KW: Kilovatios

LAN: Red de Área Local

MAC: Control de Acceso al Medio

NEMA: Asociación de Fabricantes Nacionales Eléctricos

PLC: Controlador Lógico Programable

RESISTENCIAS ROTORICAS: Sirven para controlar la velocidad y el par de los motores del sistema antiguo

VARIADOR: Elemento capaz de controlar la aceleración o desaceleración de los motores.

ANEXOS

ANEXO 1

DIAGRAMAS ELÉCTRICOS

ANEXO 2

CONFIGURACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS

ANEXO 3

PROGRAMA PLC

FECHA DE ENTREGA

El día 09 de Enero del 2013, en la ciudad de Sangolquí, firman en constancia de la entrega del presente Proyecto de Grado Titulado "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA LA DOSIFICACIÓN DE MATERIAL QUÍMICO EN UNA MÁQUINA DE MANUFACTURA DE ALFOMBRAS". En calidad de Autores los Señores José Alejandro León Caicedo y Diego David Pillajo Angos estudiantes de la Carrera de Ingeniería Electrónica en Automatización y Control, recibe por parte del Departamento de Eléctrica y Electrónica el director de Carrera de Automatización y Control, el Señor Ingeniero Víctor Proaño.

José Alejandro León Caicedo
18036877-1

Diego David Pillajo Angos
172196884-8

Ing. Víctor Proaño
Director de Carrera de Automatización y Control

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

JOSÉ ALEJANDRO LEÓN CAICEDO
DIEGO DAVID PILLAJO ANGOS

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado denominado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA LA DOSIFICACIÓN DE MATERIAL QUÍMICO EN UNA MÁQUINA DE MANUFACTURA DE ALFOMBRAS”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie, de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 09 de Enero del 2013

José Alejandro León Caicedo
18036877-1

Diego David Pillajo Angos
172196884-8

Autorización de publicación

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

AUTORIZACIÓN

Nosotros, JOSÉ ALEJANDRO LEÓN CAICEDO y
DIEGO DAVID PILLAJO ANGOS

Autorizamos a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo denominado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA LA DOSIFICACIÓN DE MATERIAL QUÍMICO EN UNA MÁQUINA DE MANUFACTURA DE ALFOMBRAS”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 09 de Enero del 2013

José Alejandro León Caicedo
18036877-1

Diego David Pillajo Angos
172196884-8