



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

MAESTRÍA EN AUTOMATIZACION Y SISTEMAS DE CONTROL

Tema: SISTEMA DE CONTROL PARA LA SINCRONIZACION DE VELOCIDAD EN EL PROCESO DE SOLIDIFICACIÓN CONTINUA DEL ACERO EN LA PLANTA DE ACERÍA DE LA EMPRESA NOVACERO S.A.

Proyecto de Trabajo de Investigación para Titulación o Graduación, previo a la obtención del Grado Académico de Magister en Automatización y Sistemas de Control

Autor: Ing. Albaro Trajano Espinosa Padilla.
Director: Ing. Patricio Germán Encalada Ruiz, Msc.

Ambato – Ecuador

2019

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial.

El Tribunal receptor del Trabajo de Investigación presidido por la Ingeniera. Elsa Pilar Urrutia Urrutia Mg., e integrado por los señores: Ingeniero. Marcelo Vladimir García Sánchez Dr., Ingeniero. Franklin Wilfrido Salazar Noroña Mg. y el Ingeniero. Carlos Diego Gordón Gallegos Dr., designados por la Unidad Académica de Titulación de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Investigación con el tema: “Sistema de control para la sincronización de velocidad en el proceso de solidificación continua del acero en la planta de acería de la empresa Novacero S.A.”, elaborado y presentado por el señor Ingeniero. Alvaro Trajano Espinosa Padilla, para optar por el Grado Académico de Magister en Automatización y Sistemas de Control; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Investigación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.



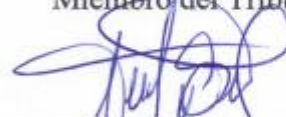
Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia Mg.

Presidente del Tribunal



Ing. Marcelo Vladimir García Sánchez Dr.

Miembro del Tribunal



Ing. Franklin Wilfrido Salazar Noroña Mg.

Miembro del Tribunal



Ing. Carlos Diego Gordón Gallegos Dr.

Miembro del Tribunal

AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Investigación presentado con el tema: “SISTEMA DE CONTROL PARA LA SINCRONIZACION DE VELOCIDAD EN EL PROCESO DE SOLIDIFICACIÓN CONTINUA DEL ACERO EN LA PLANTA DE ACERÍA DE LA EMPRESA NOVACERO S.A”, le corresponde exclusivamente al Ing. Albaro Trajano Espinosa Padilla, Autor bajo la Dirección del Ing. Patricio Encalada, Mg., Director del Trabajo de Investigación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.



Ing. Albaro Trajano Espinosa Padilla

CC: 050265332-2

AUTOR



Ing. Patricio German Encalada Ruiz MSc.

CC: 180388293-5

DIRECTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Investigación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad.



Ing. Alvaro Trajano Espinosa Padilla

CC: 050265332-2

AUTOR

INDICE

Portada.....	i
A la unidad Académica de Titulación.....	ii
Autoría del Trabajo de Investigación.....	iii
Derechos de Autor.....	iv
Dedicatoria.....	xi
Agradecimiento.....	xii
Resumen Ejecutivo.....	xiii
Executive Summary.....	xv

CAPITULO I. EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACION..... 1

1.1	Tema de Investigación.	1
1.2	Planteamiento del problema.	1
1.2.1	Contextualización	1
1.2.2	Análisis Crítico.....	4
1.2.3	Prognosis.	5
1.2.4	Formulación del problema.	5
1.2.5	Preguntas directrices.	5
1.2.6	Delimitación del problema.	6
1.3	Justificación.	6
1.4	Objetivos.....	7
1.4.1	Objetivo General.	7
1.4.2	Objetivos Específicos:	7

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO..... 8

2.1	Antecedentes investigativos.	8
2.2	Fundamentación Filosófica.	16
2.3	Fundamentación Legal.	16
2.4	Categorías Fundamentales.....	19
2.5	Hipótesis.	19
2.6	Señalamiento de variables de las hipótesis.	20

CAPÍTULO III. MARCO METOLÓGICO.....	21
3.1 Enfoque.....	21
3.2 Modalidad básica de la investigación.....	21
3.3 Nivel o Tipo de Investigación.	22
3.4 Población y Muestra.	22
3.5 Operación de Variable.	23
3.6 Recolección de Información.....	26
3.7 Procesamiento y análisis.	26
CAPITULO VI. MARCO ADMINISTRATIVO.....	28
4.1 Recursos Institucionales.....	28
4.4 Cronograma.....	29
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	30
5.1. Conclusiones.....	30
CAPITULO VI. LA PROPUESTA.....	32
6.1. Datos Informativos	32
6.1.1. Titulo	32
6.6 Objetivos.....	34
6.6.1 Objetivo General.	34
6.6.2 Objetivos Específicos:	34

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Relación Causa – Efecto.....	4
Figura 2. Velocidad del molde y negative strip time en un ciclo de oscilación.....	9
Figura 3. Colada Continua del Acero.....	10
Figura 4. Boceto de la Colada Continua de Acero.	10
Figura 5. Bobina para generación de campo magnético en molde	13
Figura 6. Diagrama de flujo de GA	15
Figura 7. Variable Independiente – Variable Dependiente	19
Figura 8. Cronograma	29
Figura 9. Colada continua del acero	37
Figura 10. Máquina totalmente vertical.....	38
Figura 11. Colada vertical, con curvado y enderezamiento posterior	38
Figura 12. Máquina curva con el molde recto.....	39
Figura 13. Máquina curva con el molde curvo y enderezado posterior	39
Figura 14. Torre de colada	40
Figura 15. Cuchara de colada	41
Figura 16. Artesa (Tundish) o distribuidor	41
Figura 17. Cristalizador o molde	42
Figura 18. Bancos de oscilación (oscilador)	42
Figura 19. Sistema de refrigeración secundaria	43
Figura 20. Rodillos de arrastre y Enderezadora	43
Figura 21. Ciclo de trabajo máquina de solidificación continua del acero	44
Figura 22. Diagrama Logico	48
Figura 23. Modelación del cálculo de sincronización de velocidades	49
Figura 24. Diagrama del cálculo de sincronización de velocidades	49
Figura 25. Diagrama P&ID	50
Figura 26. Configuración de protocolos de comunicación y equipos de líneas	54
Figura 27. Configuración de protocolos de comunicación de auxiliares	55
Figura 28. Configuración de protocolos de comunicación por línea	55
Figura 29. Escalamiento de consigna de velocidad de colado	56
Figura 30. Rutinas de cálculo para sincronización de velocidad osciladora.....	57

Figura 31. Rutinas de cálculo para sincronización de velocidad enderezadora, extractor uno y dos	58
Figura 32. Rutinas de cálculo para sincronización de velocidad falsa barra	59
Figura 33. Variador de Velocidad ATV312	59
Figura 34. Configuración de direcciones de comunicación del ATV312	60
Figura 35. Creación de variables para desarrollo de un FC de comunicación profibus con ATV312.....	61
Figura 36. Llamada de un FC para controlar un VDF desde un FB	62
Figura 37. Uso de un FC para control de un ATV312	62
Figura 38. Introducción falso lingote	63
Figura 39. Levantamiento del brazo de aparcamiento	64
Figura 40. Bajada el brazo de aparcamiento falso lingote	65
Figura 41. Inserción Falso lingote	65
Figura 42. Temporización para inserción Falso lingote en el molde	66
Figura 43. Inserción Falso lingote en el molde	67
Figura 44. Secuencia de permiso de colado activada	67
Figura 45. Puesta en Marcha de la línea de colado	68
Figura 46. Arranque de los 4 motores	69
Figura 47. Sistema de extracción en automático	70
Figura 48. Separación de falso lingote	71
Figura 49. Activación rodillo enderezador	71
Figura 50. Cambio de Velocidad motor 4	72
Figura 51. Cambio de Presión	72
Figura 52. Subida de brazo y aparcamiento del falso lingote.....	73
Figura 53. Convenio de colores para HMI	74
Figura 54. Diagrama de navegación de HMI principal.....	77
Figura 55. Diagrama de navegación de HMI de enfriamiento	78
Figura 56. Consola principal de máquina de solidificación continua del acero....	79
Figura 57. Tablero de mando de máquina de solidificación continua del acero ...	79
Figura 58. Ventana de gráficos HMI.....	80
Figura 59. Resolución HMI.....	80
Figura 60. SCADA máquina de solidificación continua del acero	81
Figura 61. Tamaño de etiquetas en HMI	81

Figura 62. Gráfico de tendencias en HMI	82
Figura 63. Colores usados en el HMI.	82
Figura 64. Colores de fondo de HMI.	83
Figura 65. Texto en el HMI.....	83
Figura 66. Cuadro de dialogo de alarmas	84
Figura 67. Botones del HMI.....	84
Figura 68. Diagrama de navegación de HMI.....	85
Figura 69. Tamaño de componentes de un HMI.....	86
Figura 70. HMI en operación	86
Figura 71. Porcentaje de paras antes de la implementación.....	87
Figura 72. Porcentaje de paras después de la implementación.....	88
Figura 73. Cálculo de la respuesta con la sincronización anterior	90
Figura 74. Cálculo de la respuesta con la sincronización actual	90
Figura 75. Cálculo de la respuesta con la sincronización anterior vs. actual.....	91
Figura 76. Respuesta con la sincronización anterior	92
Figura 77. Respuesta con la sincronización actual.....	93
Figura 78. Pantalla de simulación de sincronización de velocidades actual.....	94
Figura 79. Pantalla de simulación de sincronización de velocidades anterior.....	94
Figura 80. Comparación de sincronización de velocidades anterior vs actual	95
Figura 81. Perdidas en la sincronización anterior	96
Figura 82. Perdidas en la sincronización actual	97
Figura 83. Calidad del producto anterior vs el actual	98
Figura 84. Pantalla para verificar funcionamiento mediante tendencias	98
Figura 85. Campana de Gauss para verificar hipótesis.....	101
Figura 86. Diagrama P&ID	109
Figura 87. Diagrama P&ID Auxiliares.....	110
Figura 88. Tarjeta de comunicación profibus.	111
Figura 89. Tabla de direcciones profibus para ATV312.....	112
Figura 90. Conexión de cable profibus en tarjeta profibus ATV312.....	112
Figura 91. Configuración de parámetros de comunicación ATV312	113
Figura 92. Creación del FC de comunicación con ATV312	115
Figura 93. Tarjeta Wago 750-833	116

Figura 94. Árbol de dispositivos en software TIA Portal cargar archivo GSD ..	117
Figura 95. Carga de dispositivos Wago en la configuración de la CPU	118
Figura 96. Configuración de direcciones en tarjetas Wago.....	118
Figura 97. HMI principal MCC Osciladoras	119
Figura 98. HMI de sistemas auxiliares	119
Figura 99. HMI auxiliares mesa de evacuación	120
Figura 100. HMI Camino de rodillos	120
Figura 101. HMI oxicortes	121
Figura 102. HMI mantenimiento de VDF's.....	121
Figura 103. HMI enfriamiento molde	122
Figura 104. HMI del sistema de enfriamiento abierto	122
Figura 105. Diagrama de cálculo de simulación	123

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sincronización de control para MCC del acero.....	24
Tabla 2. Sincronización de velocidades de MCC del acero.....	25
Tabla 3. Preguntas de la Investigación.....	26
Tabla 4. Presupuesto.....	28
Tabla 5. Tabla para el Telegrama de control del VDF.....	61
Tabla 6. Catálogo de paras sincronización anterior.....	88
Tabla 7. Catálogo de paras sincronización actual.....	89
Tabla 8. Contribución Chi Cuadrada.....	99
Tabla 9. Prueba Chi Cuadrada.....	100
Tabla 10. Parámetros básicos de configuración.....	111
Tabla 11. Variables del programa del PLC.....	123

INDICE DE ANEXOS

Anexo A. Diagrama P&ID de máquina de solidificación continua del acero_ ...	109
Anexo B. Información para parametrización ATV312.....	111
Anexo C. Telegrama Profibus.	114
Anexo D. Configuración de Tarjetas Wago en Tia Portal	116
Anexo E. Pantallas de HMI.....	119
Anexo F. Listado de Variable principales	123
Anexo G. Diagrama de modelación labview	124

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a Dios, quien siempre ha estado dándome muestras de su infinito amor y su presencia en mi vida.

A mi esposa quien me dio el empujón para dar este paso y por su apoyo incondicional Te Amo.

A mi Hijo quien es la razón para haberme decidido continuar preparándome, por ser lo mejor y lo más grande de mi vida.

A ti mi último milagro.

A mi Padre y a mi Madre porque gracias a ellos tenía las bases para poder ingresar a esta maestría y por qué de ellos aprendí la dedicación y el compromiso.

A mi Abuelito que desde el cielo siempre acompaña mis pasos.

A mi hermana y a mi sobrina por ser una parte muy especial de mi vida.

AGRADECIMIENTO

A Dios y nuestra madre María por bendecirme con la vida que tengo, la familia que me dio y su bendición para poder cumplir este objetivo.

A mi familia por su apoyo y respaldo, por haberme robado de su tiempo para enfocarme en este objetivo.

A la empresa Novacero, en especial a los Ingenieros: Guillermo Miño y Carlos Morales por su confianza y apoyo en particular por dejarme implementar este proyecto en nuestra planta.

Al Ingeniero Patricio Encalada por su ayuda en la dirección de este proyecto, por transmitir sus conocimientos y su guía.

Al personal de Mantenimiento Eléctrico de Acería por su apoyo, ayuda y confianza.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL / DIRECCION DE POSGRADO

MAESTRÍA EN AUTOMATIZACION Y SISTEMAS DE CONTROL

TEMA:

“Sistema de control para la sincronización de velocidad en el proceso de solidificación continua del acero en la planta de Acería de la empresa NOVACERO S.A.”

Autor: Ing. Albaro Trajano Espinosa Padilla.

Director: Ing. Patricio German Encalada Ruiz, Msc.

FECHA: 22 de noviembre del 2018

RESUMEN EJECUTIVO

En la actualidad la tecnología está desarrollándose en todos los ámbitos de nuestras vidas, aún más en todos los procesos productivos, siempre buscando el mejoramiento de la calidad, tiempos de producción y seguridad ocupacional.

El proceso de solidificación continua del acero que se realiza en la empresa Novacero S.A. hasta antes de ejecutar esta propuesta no tenía una automatización adecuada a su proceso, por este motivo se desarrolló la implementación de una nueva automatización ajustada a al tipo de máquina de la que se dispone. En primer lugar se determinaron las ecuaciones para la sincronización de velocidades de la máquina y se realizó el estudio del negative strip time, luego se procedió a migrar de tecnología reemplazando los variadores de velocidad antiguos por una versión moderna que contemplaba el uso de redes industriales, en este caso comunicación profibus al igual que las tarjetas principales de las entradas y salidas remotas (RIOS). Con esto ahora se dispone de una red profibus antes se tenía una red mixta

con profibus, modbus y ethernet. El siguiente paso fue la implementación de plc's que reemplazan los servidores de soft plc y se realizó la programación de los mismos, al mismo tiempo se fue trabajando en el desarrollo de los hmi y finalmente con la integración del control automático de colado; con la ayuda de sistemas se implementa un servidor con todas las seguridades para poder ingresar tanto a los plc's como a los hmi en tiempo real desde cualquier parte del mundo.

Descriptores: Negative Strip time, Acería, Horno de Arco eléctrico, Horno Cuchara, Máquina de Colada Continua, Enderezadora, Extractores, Falsa barra, Lingote, acero líquido.

TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO
FACULTY OF ENGINEERING IN SYSTEMS, ELECTRONICS AND
INDUSTRIAL / POSTGRADUATE ADDRESS
MASTERS IN AUTOMATION AND CONTROL SYSTEMS

THEME:

"Control system for speed process synchronization of continuous solidification of steel in the Steel Mill of NOVACERO S.A. Company"

Author: Eng. Albaro Trajano Espinosa Padilla.

Directed by: Eng. Patricio German Encalada Ruiz Msc.

DATE: 22 november 2018

EXECUTIVE SUMMARY

Presently, technology is developing in all aspects of our lives, and even more in productive processes, always looking for the improvement of quality, production times and occupational safety.

The process of continuous solidification of steel being performed in Novacero S.A. company, Lasso Production facility, before executing this project did not have an appropriate automation control system, therefore a new automation system adjusted to the existing machine and process was developed. In the first place, equations for the machine speed synchronization were determined and the negative strip time study was carried out; after this, old speed drives were replaced with new modern versions contemplated to use their industrial network communication properties and protocols, in this case Profibus, as well with the main input / output cards (RIOs).

By making these changes a new fully operational and transparent profibus network was implemented, changing the old mixed profibus – modbus – ethernet network.

In the next step, S7-300 PLCs were installed and their applications developed and programed to replace the old Iba Logic Soft PLC applications running in Windows 2003 servers; at the same time the HMI interfaces were developed and finally integrating the automatic casting control; with the help of the IT department of the company a server with all its securities was implemented to access both: PLCs and HMIs in real time from anywhere around the world.

Keywords: Negative Strip time, Steelworks, Electric Arc Furnace, Ladle Furnace, Continuous Casting Machine, Straightener, Extractors, False Bar, Ingot, Liquid Steel.

CAPÍTULO I. EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.

1.1 Tema de Investigación.

Sistema de control para la sincronización de velocidad en el proceso de solidificación continua del acero en la planta de Acería de la empresa NOVACERO S.A.

1.2 Planteamiento del problema.

1.2.1 Contextualización

Macro Contextualización.

A nivel mundial la producción del acero se ha desarrollado vertiginosamente de tal manera que en casi la totalidad de países del mundo se cuenta con empresas dedicadas a la fabricación y producción de materiales de acero. Por tal razón esta industria exige altos índices de automatización, en países de Europa los sistemas de automatización se han visto liderados por empresas muy grandes de automatización como Siemens, Schneider Electric entre otras.

En Italia está instalada la empresa de acero Danieli la misma que cuenta con plantas experimentales en la que solo se produce para poder desarrollar equipamiento tecnológico, los mismos que luego de ser probados en su industria son ofertados como soluciones integrales a otras acerías del mundo, además esta empresa no solo se ha convertido en desarrollador de soluciones sino también en escuela de personal técnico, los mismos que luego de trabajar en esta empresa se convierten en especialistas de automatización de acerías, los que han fundado sus propias empresas de automatización y se encuentran regados por todo el mundo dedicados a dar soporte en el desarrollo de la industria.

Meso Contextualización.

En nuestro continente los principales productores como Estados Unidos han apostado por desarrollar sus tecnologías propias para este tipo de industrias de igual, en este país podemos encontrar Rockwell, Allen Bradley y General Electric, que cada una se ha dedicado a brindar soluciones especializadas. En el caso de los dos primeros con sus programadores lógicos controlables y variadores de velocidad mientras que General Electric ha desarrollado reguladores de arco eléctrico para hornos de acerías, estos reguladores han sido desarrollados en México.

En cuanto a Sudamérica las tendencias han sido bajo la recomendación de la empresa que ha realizado los montajes de cada planta, es decir, si los asesoró una empresa europea se han ido por tecnología europea si fueron asesorados por Norteamericanos se han ido por tecnologías americanas, de esto alrededor del 75 % de tecnología de automatización instalada en Sudamérica es europea.

Micro Contextualización.

En el proceso de solidificación intervienen varias máquinas y sistemas que se interrelacionan entre sí, para lograr el propósito de solidificar el acero en el caso de la Empresa NOVACERO S.A. consta de una máquina de solidificación continua de acero de 12 metros de alto, que tiene un sistema de automatización realizado hace ocho años el mismo que fue desarrollado en un sistema de Soft PLC el cual ha traído algunos contratiempos y problemas en producción.

Este sistema cuenta con un OLE for Process Control (OPC) server el cual está trabajando como software de automatización, en este programa corren todas las rutinas de automatización de la planta. Este servidor por medio de fibra óptica se comunica con dispositivos Remote Input/Output (RIO) de la planta a los que están conectados toda la instrumentación de la planta al igual que todos los dispositivos de control y mando de la planta. A esto se suma que en los dispositivos de control tenemos varios tipos de comunicaciones, existen relés inteligentes que trabajan con

comunicación modbus, variadores de velocidad que se comunican por profibus, RIOS que se comunican por ethernet y otros por profibus, por lo que se ha necesitado instalar gateway's para traducir de un lenguaje a otro, esto hace muy compleja la arquitectura de red de la planta.

Este software no fue diseñado para realizar tareas de control, este dispositivo fue diseñado para adquirir señales de campo para luego ser analizadas por otro software de la misma marca, no se utiliza la herramienta con el propósito para el que fue diseñado.

Un servidor no está diseñado para trabajar como PLC, más aun si en el mismo se tiene una plataforma como Windows, esto hace que el equipo se reinicie esporádicamente ya sea por alguna actualización o por algún problema en hardware, esto ha ocasionado que en varias oportunidades se ha perdido el control de la máquina debido a fallos en servidores o componentes de los mismos.

Otro aspecto importante es que al ser un software poco conocido, no existen muchos técnicos capacitados en el mismo lo que ha creado dependencia con el proveedor, lo que en varias ocasiones ha causado malestar debido a la demora en dar soporte a la planta esto genera no solo pérdidas de producción si no también gastos no programados.

La mayor dificultad radica en que las rutinas para la sincronización de la velocidad de la máquina de solidificación del acero no son del todo correctas, esto produce defectos de calidad del producto, a esto se suma como se mencionó anteriormente que se necesita la presencia del proveedor para poder realizar algún cambio o mejora tanto en programa como en mejoras de la máquina.

En caso de tener una falla compleja, que resulta difícil de arreglar sin monitorear dentro de las rutinas y al encontrarse varias de ellas encriptadas se hace completamente difícil el solucionarlas y de la misma formas se tiene que llamar al

proveedor para que realice el monitoreo e informe la causa y se pueda dar solución al problema.

1.2.2 Análisis Crítico.

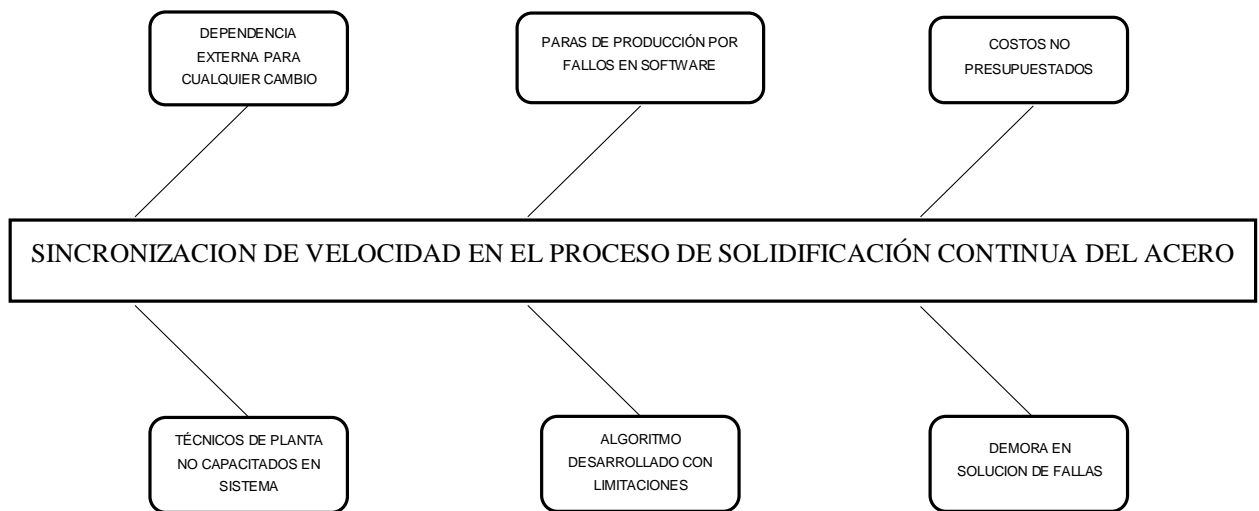


Fig. 1 Relación Causa – Efecto
Elaborado por: Trajano Espinosa.

En la actualidad la tecnología está desarrollándose en todos los ámbitos de nuestra vida, así como, también en todos los procesos productivos, es así que debido al desarrollo tecnológico y las exigencias de calidad es necesario desarrollar tecnología a la medida de cada industria, y con esto lograr mejores resultados de producción.

El desarrollo tecnológico que día a día avanza exige tener personal preparado en todos los ámbitos de una industria esto es necesario para responder inmediatamente a imprevistos dentro de la producción. El no tener personal capacitado puede conllevar situaciones en perjuicio de las empresas ya sea como desperdicios de materiales, pérdidas económicas e incluso riesgo de daños mayores.

De la mano del desarrollo tecnológico va la necesidad de estandarizar procesos y parte de la estandarización es el desarrollo de algoritmos o rutinas de programación de los autómatas esto ayuda a simplificar las tareas realizadas por las personas que intervienen en los procesos de fabricación, además de facilitar la migración de tecnologías en el caso de ser necesario así como también la mejora continua.

Si una industria no posee técnicos bien capacitados o cuenta con software desconocido corre el riesgo de que llegue a depender de empresas que prestan estos servicios esto puede generar molestias ya que el tener que esperar la disponibilidad del proveedor puede ocasionar gastos que no están presupuestados y demoras en paradas no programadas o mantenimientos correctivos.

1.2.3 Prognosis.

De no implementarse este proyecto la máquina de solidificación continua del acero seguiría teniendo los problemas de paradas repetitivas ya que al no poder realizar cambios en la lógica del programa y no poder realizar mejoras se continuará con las causas de tiempo de máquina no disponible, también se continuará con la demora en solución de problemas ya que al mantenerse la dependencia de soporte de contratistas y cuando no existe la disponibilidad de los mismos existe demora en restablecer sistemas y por ende la máquina, esto también seguirá generando costos no presupuestados.

1.2.4 Formulación del problema.

¿Cómo afecta la no sincronización de velocidad en el proceso de solidificación continua del acero en la planta de Acería de la empresa NOVACERO S.A.?

1.2.5 Preguntas directrices.

¿Cuáles son las etapas de solidificación del acero?

¿Cómo se calcula el negative strip que es utilizado en una máquina de solidificación del acero?

¿Con el cálculo del negative strip se puede desarrollar rutinas de programación en los autómatas y verificar su correcto funcionamiento?

¿Mediante la automatización de una máquina de solidificación continua del acero se puede mejorar la eficiencia de la productividad?

1.2.6 Delimitación del problema.

Campo: Automatización Industrial

Área: Acería

Aspecto: Implementar un sistema de control para el proceso de solidificación continua del acero en la planta de Acería de la empresa NOVACERO S.A.

Delimitación Espacial:

Provincia de Cotopaxi. Empresa NOVACERO S.A., Planta Industrial Lasso, Acería - Colada Continua.

Delimitación Temporal:

Enero 2018 a octubre 2018

Unidades de Observación:

Planta Acería, Máquina de Solidificación continua del Acero.

1.3 Justificación.

El presente trabajo corresponde a una investigación teórico-práctica que se desarrolla y propone el cálculo del negative strip, con el que se procederá a realizar las rutinas de programación para mediante la automatización de la máquina de

solidificación continua del acero comprobar su exactitud, que este caso particular será con la producción de lingotes de acero.

La investigación propuesta al planteamiento del problema responde a la pregunta de investigación, la cual, aportará a la estandarización de cálculos y rutinas para la producción de acero mediante el sistema de solidificación continua. La empresa Novacero está dispuesta dar las facilidades para el presente proyecto en vista de que será muy útil para realizar la automatización de la máquina de solidificación continua, esto contribuirá con tener un proceso más eficiente y con mayor disponibilidad de la misma.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo General.

Desarrollar un sistema de control para la sincronización de velocidad en el proceso de solidificación continua del acero en la planta de Acería de la empresa NOVACERO S.A.

1.4.2 Objetivos Específicos:

- Analizar el funcionamiento existente en el proceso de solidificación continua del acero.
- Desarrollar un sistema de control para la sincronización de velocidades en el proceso de solidificación continua del acero.
- Diseñar y desarrollar el cálculo de negative strip para el control del proceso de solidificación continua del acero.
- Realizar la simulación del cálculo y verificar que las velocidades de referencias sean las correctas para todos los sistemas de la máquina de solidificación del acero.
- Implementar la programación de control mediante la automatización de la Máquina de Colada Continua.

- Desarrolla un HMI para el control del proceso de solidificación continua del acero.
- Verificar los datos con automatización anterior versus automatización final.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.

2.1 Antecedentes investigativos.

Después de haber desarrollado las investigaciones necesarias respecto al tema de investigación, en bibliotecas, artículos publicados en revistas, páginas tecnológicas e instituciones de regulación se han encontrado los siguientes artículos relacionados.

- a. En la publicación de (Bhattacharya & Sambasivam, 2009) “**Optimization of oscillation parameters in continuous casting process of steel manufacturing: genetic algorithms versus differential evolution**”. Se determina que la oscilación del molde es necesaria para minimizar la fricción y la adherencia de la pared de solidificación, y evitar el desgarro de la pared y las rupturas de acero líquido, que pueden causar daños en los equipos y el tiempo de inactividad de la máquina debido a la limpieza y las reparaciones. La fricción entre la pared y el molde se reduce mediante el uso de lubricantes de molde como aceites o fundentes en polvo. La oscilación se logra de forma hidráulica o mediante levas o palancas impulsadas por motor que soportan y oscila el molde. Los ciclos de oscilación del molde varían en frecuencia, trazo y patrón. Sin embargo, un enfoque común es emplear lo que se denomina como "negative strip", un patrón de carrera en el que la carrera descendente del ciclo permite que el molde se mueva hacia abajo más rápido que la velocidad de extracción de la sección. Esto permite que se desarrollen tensiones de compresión en la carcasa que aumentan su resistencia al sellar las fisuras superficiales y la porosidad. (Figura 2)

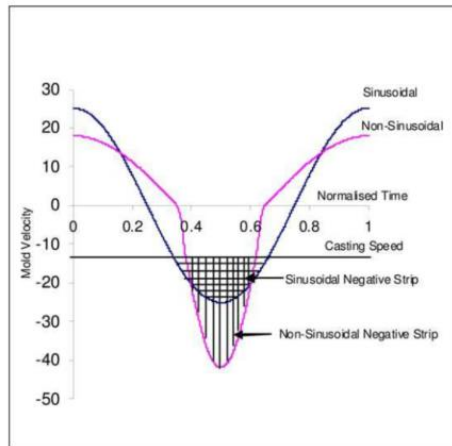


Figura 2. Velocidad del molde y negative strip time en un ciclo de oscilación, bajo condiciones sinusoidales y formas de onda no sinusoidales.

Elaborado por: Arya K. Bhattacharya and Debjani Sambasivam

Las conclusiones del estudio son:

Las relaciones entre las métricas de rendimiento de oscilación como la lubricación, la marca de oscilación la fricción de profundidad y el conjunto de parámetros de diseño que consiste en trazos s , frecuencia f la desviación de la forma de onda sinusoidal τ se expresa en un marco matemático. Esta permite la definición de funciones y restricciones objetivas explícitas que se utilizan para conducir un algoritmo genérico hacia el conjunto de parámetros de mejor rendimiento en toda la gama de velocidad de fundición. Comparación con conjuntos de parámetros proporcionados por equipo original del fabricante e implementados Actualmente, muestra que el conjunto sintetizado proporciona una lubricación mucho mejor: el principal objetivo de oscilar el molde, al tiempo que se reducen las marcas de oscilación y la fricción máxima. Además, esto se logra con solo una pequeña variación de los parámetros a través del rango de velocidad.

Sustitución de un algoritmo genérico por un algoritmo de evolución diferencial, para generar resultados exactamente idénticos desde la

perspectiva del dominio de ingeniería, pero con una tasa de convergencia que es más rápida en al menos un número superior. Las razones de esto se analizan, lo que lleva a la conclusión de que para problemas de pequeña dimensión evolución diferencial es definitivamente un mejor enfoque, pero para dimensiones más grandes es aconsejable usar algoritmo genético en la inicial fases y cambiar a evolución diferencial en una etapa posterior a medida que se acerca el enfoque al óptimo global asintótico.

- b. En el estudio “**Numerical simulation and optimal control in the continuous casting of billets**”; (Ji, Jiang, & Yang, 2010). Se realizó un modelo matemático del traspaso de temperatura de la solidificación para controlar la refrigeración en una máquina de solidificación continua de acero, el modelo simula el campo de temperatura en una sección transversal longitudinal a través del centro del filamento, la transferencia de temperatura es el principio dominante como se observa en la figura 3.

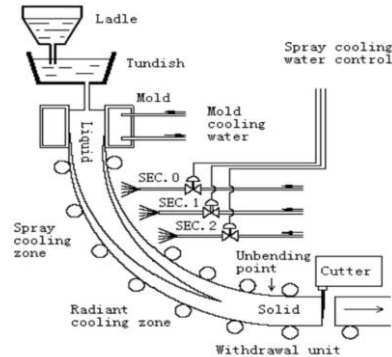


Figura 3. Colada Continua de Acero.

Elaborado por: Zhenping Ji, Yuanyuan Jiang.

Utilizando el desarrollo del software para el enfriamiento, el caudal de agua óptimo de pulverización de la zona secundaria a diferentes velocidades de colado fue obtenido de la simulación de enfriamiento y optimizado bajo las condiciones de temperatura del acero líquido. Este estudio fue realizado en Pingxiang Steel Co., Ltd. En su máquina de solidificación continua del

acero. Los resultados obtenidos indican que la calidad del billet fue mejorada los resultados de las pruebas demuestran:

Disminución de las grietas de centro del 22% al 1%.

Disminución de las grietas de las equinas del 25% al 5%.

Disminución de las grietas del centro de la cavidad 5% al 0.

Disminución del 25% de la cantidad del producto de desecho.

Aumento del 11% en la carga en caliente.

En conclusión se consideró que las tasas de flujo de agua pulverizada de la zona de enfriamiento fueron relacionadas con la velocidad de oscilación del molde, la temperatura del molde y las compensaciones del acero líquido.

- c. En la publicación **“Study on mathematical model of temperature and stress for thin slab in continuous casting”**; (Jin, Chen, Zhao, & Long, 2009). En este trabajo, el modelo de transferencia de calor y el modelo de estrés en se han establecido procesos de solidificación para simular campo de la temperatura y distribución de la tensión-tensión para la losa fina en el bastidor continuo, y los factores principales afectaron la distribución de la temperatura, el estrés y el crecimiento de la losa se han analizado para optimizar los parámetros técnicos de solidificación continua y prevención de defectos de calidad. Como se puede observar en la Figura 4.

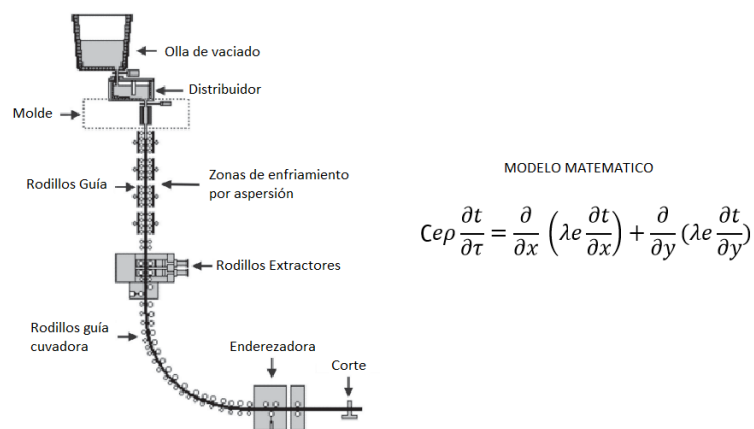


Figura 4. Boceto de la Colada Continua de Acero.

Elaborado por: Xing Jin, Dengfu Chen, Yan Zhao, Mujun Long.

La conclusión de este trabajo es que la transferencia de calor y el estado de la tensión de la losa delgada tienen un impacto significativo en la calidad de la palanquilla en la solidificación continua. Un modelo matemático bidimensional de la transferencia de calor y termal-elástico-plástico el modelo de la tensión para la losa delgada se ha establecido el análisis de la distribución de la temperatura de una sección transversal del estrés y distribución de la tensión de la losa delgada en el bastidor continuo.

Los resultados de la simulación demuestran que es importante para el enfriamiento uniforme en la zona de enfriamiento secundaria para prevenir grandes periodos, la temperatura disminuyó heterogeneamente y la concentración de la tensión son la razón principal para la grieta de la losa. Puede proporcionar una guía teórica para el optimización de los parámetros de proceso de colado continuo y mejorar de la calidad de la losa delgada.

- d. En la publicación de (Shvidkiy, Sokunov, Uskov, & Smolyanov, 2016) **“Simulation of continuous casting process with electromagnetic influence to the ingot liquid phase”**; En este artículo el objetivo del estudio es obtener un modelo matemático de un proceso tecnológico particular, incluyendo los artículos tales como una transición de la fase (líquido/sólido), dependencia de la conductividad eléctrica del estado físico y temperatura, calor latente de la solidificación, etc. Este modelo permitirá producir varias investigaciones y desarrollo de la solidificación tecnología con influencia electromagnética.

Como una instalación básica en este modelo se ha utilizado instalación industrial que incluyen el tubo del molde y el EMS (Figura. 5).

El EMS es un CLIM con tres pares de bobinado de núcleos magnéticos

1. Orientación al tubo de moldeo
2. Los núcleos magnéticos son ensamblado por medio de seis bobinas de cobre
3. El objeto de la el impacto es un lingote de cristalización consistente en líquido y sólido áreas.

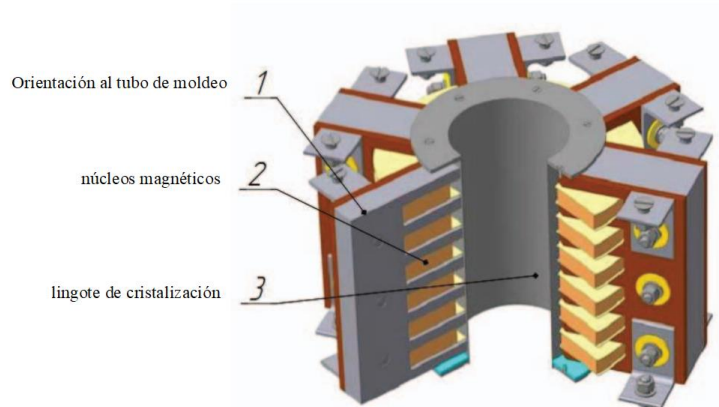


Figura 5. Bobina para generación de campo magnético en molde.

Elaborado por: Shvidkiy E.L., Sokunov B.A., Uskov I.A., Smolyanov

El modelo ha sido representado en el software COMSOL Multiphysics
construido en la función Heaviside.

En conclusión la comparación muestra suficientemente buen acuerdo entre el cálculo y el experimento. Con la solución de problemas en la distribución de fuerzas y la velocidad, se procede a la distribución de la gradiente de temperatura en el volumen del lingote. Obviamente, cambiando el valor del área del frente de la solidificación, tendrá un impacto significativo en el proceso de cristalización. Este modelo permitió, la investigación y la prueba de los diferentes modos de fundición continua con agitación electromagnética de la fase líquida del lingote. En futuro se planea verificar el calor y la hidrodinámica cálculos, y comparar con otros métodos de cálculo.

- e. En el estudio realizado por (Wang, You, Wu, & Yu, 2017); “**Numerical study of secondary cooling technology in continuous casting**”. La calidad de la palanquilla pesada ancha depende de la tecnología de enfriamiento secundaria, que tiene un impacto serio en el funcionamiento del proceso de colado continuo. De acuerdo con la disposición del rodillo y el principio de diseño del enfriamiento secundario del agua, se ha diseñado el programa de tecnología de enfriamiento secundario del acero de medio carbón. Y combinando con el modelo numérico de la transferencia y de la

solidificación, los resultados de la simulación demuestran que la temperatura superficial de la losa obtenida por diseño la tecnología de refrigeración está centrada a la temperatura como objetivo, lo que comprueba la viabilidad de la distribución secundaria de agua de refrigeración esquema. La tecnología de distribución de agua de refrigeración secundaria Diseño bajo diversa velocidad del bastidor. La conclusión de este trabajo tomando la máquina de solidificación continua de la palanquilla pesada como objeto de investigación, programa de tecnología de refrigeración secundaria del acero al medio carbono ha sido diseñado basándose en la disposición del rodillo y el diseño secundario del agua de enfriamiento principal. Sobre esta base, combinando con la secundaria transferencia de calor de enfriamiento y modelo numérico de la solidificación, se analiza el proceso de solidificación del bastidor. Los resultados de la simulación verifican la distribución del agua de refrigeración secundaria diseño del esquema.

- f. En el artículo de (Zhao, Wang, & Hu, 2014); **“Genetic algorithm based scheduling model of continuous casting crystallizer copper electroplating”**; Este estudio determina que según el proceso del embotellamiento-electrochapado de cobre del proceso de la preparación para el bastidor continuo el cobre del cristalizador, un algoritmo genético se diseña para solucionar su problema de programación, incluyendo la codificación, el descifrar, el crossover y la mutación. Mediante el análisis de experimentos de simulación, en comparación con el uso del modo manual y el algoritmo tradicional, el algoritmo genérico muestra un mejor rendimiento. Finalmente, el algoritmo se aplica a la programación práctica de la producción, y obtiene un buen efecto de la aplicación. El algoritmo utilizado en el estudio se lo puede encontrar en la Figura 6.

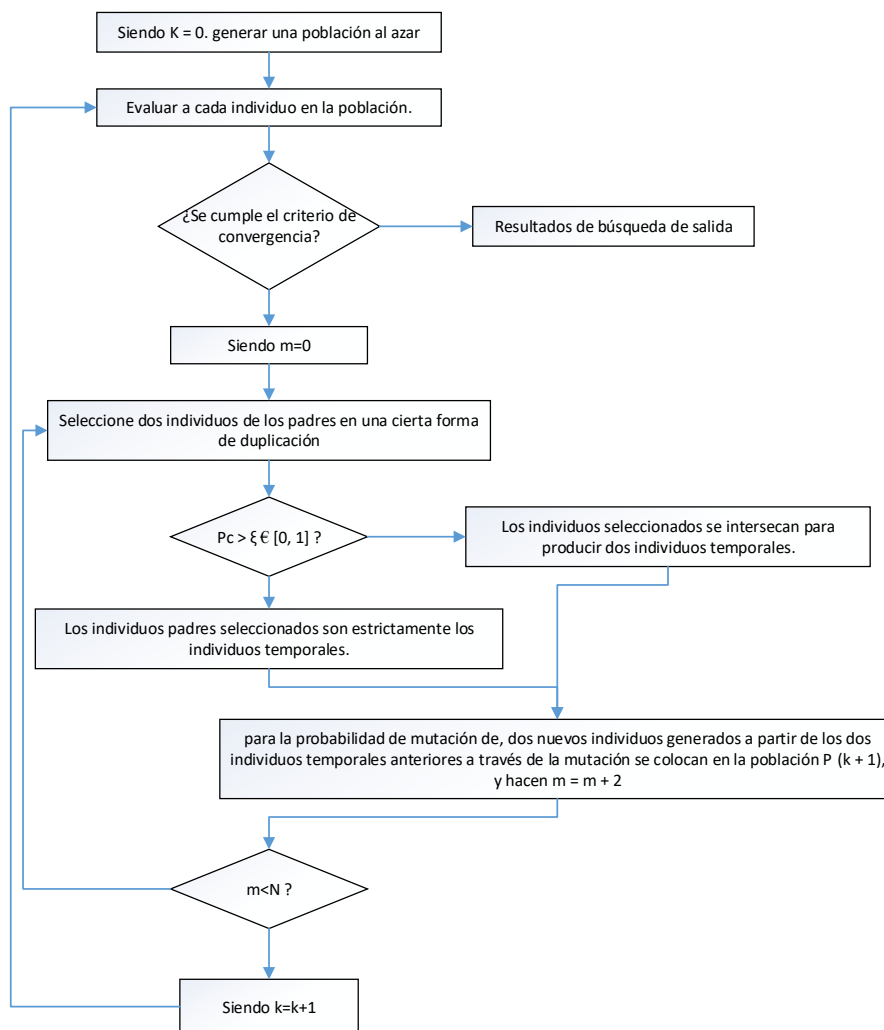


Figura 6. Diagrama de flujo de GA.

Elaborado por: Zhen Zhao, Haihong Wang, Naiping Hu.

Para verificar las propiedades del diseño genético algoritmo--solución de los problemas de programación del remiendo de cobre, aquí, simulan el algoritmo en el entorno de la plataforma cuya memoria interna es 2G, la frecuencia de la CPU es 2G, operando el sistema es Windows XP SP3, usando lenguaje C#. Este documento diseña un algoritmo genérico para resolver el problema de programación del cristalizador continuo del bastidor proceso de reparación de cobre. Los operadores de algoritmo genérico están preparados para resolver el problema, incluyendo la codificación, la decodificación, la crossover y mutación. A través del análisis de simulación experimentos, en comparación con el uso del modo manual y el

algoritmo tradicional, el algoritmo genérico muestra un mejor rendimiento. Ahora el algoritmo se modifica, extendido y aplicado en la producción práctica y Obtiene un buen efecto de aplicación.

2.2 Fundamentación Filosófica.

El libro de (Sahai & Emi, 2008) marca un hito en el desarrollo de sistemas de control en máquinas de solidificación continua del acero. Básicamente convirtiéndose en el manual de esta máquina.

Este proyecto busca conocer los principios básicos del proceso de solidificación continua del acero, así como también todas las variables a controlar y manipular durante este proceso, el cálculo del Negative Strip es la base en la que se fundamente este proceso, del correcto cálculo depende tanto la calidad del producto como el funcionamiento de la máquina.

Es por esto que una vez realizado el cálculo del Negative Strip se deberá calcular la frecuencia de oscilación del molde, la velocidad del molde y la velocidad lineal de la máquina, después de esto se deberán obtener la referencia para la sincronización de las velocidades de los equipos controlados para la automatización.

2.3 Fundamentación Legal.

Las normas empleadas en este trabajo serán básicamente el estándar IEC 61131-3 (IEC65) para la programación de PLC y para HMI será las normal IEC 60445 y la ISA101.

2.3.1 Constitución Política de la República del Ecuador.

TÍTULO III

DE LOS DERECHOS, GARANTÍAS Y DEBERES

Sección novena

De la ciencia y tecnología

Art. 80.- El Estado fomentará la ciencia y la tecnología, especialmente en todos los niveles educativos, dirigidas a mejorar la productividad, la competitividad, el manejo sustentable de los recursos naturales, y a satisfacer las necesidades básicas de la población. Garantizará la libertad de las actividades científicas y tecnológicas y la protección legal de sus resultados, así como el conocimiento ancestral colectivo. La investigación científica y tecnológica se llevará a cabo en las universidades, escuelas politécnicas, institutos superiores técnicos y tecnológicos y centros de investigación científica, en coordinación con los sectores productivos cuando sea pertinente, y con el organismo público que establezca la ley, la que regulará también el estatuto del investigador científico. (Constituyente, 2008)

2.3.2 Código Orgánico de la Producción, Comercio e Inversiones.

TÍTULO I

Del Desarrollo Productivo y su Institucionalidad

Capítulo I

Del Rol del Estado en el Desarrollo Productivo

Art. 5.- Rol del Estado.- El Estado fomentará el desarrollo productivo y la transformación de la matriz productiva, mediante la determinación de políticas y la definición e implementación de instrumentos e incentivos, que permitan dejar atrás el patrón de especialización dependiente de productos primarios de bajo valor agregado. Para la transformación de la matriz productiva, el Estado incentivará la inversión productiva, a través del fomento de: a. La competitividad sistémica de la economía a través de la provisión de bienes públicos como la educación, salud, infraestructura y asegurando la provisión de los servicios básicos necesarios, para potenciar las vocaciones productivas de los territorios y el talento humano de las ecuatorianas y ecuatorianos. El Estado establecerá como objetivo nacional el alcance de una productividad adecuada de todos los actores de la economía, empresas, emprendimientos y gestores de la economía popular y solidaria, mediante el fortalecimiento de la institucionalidad y la eficiencia en el otorgamiento de

servicios de las diferentes instituciones que tengan relación con la producción; b. El establecimiento y aplicación de un marco regulatorio que garantice que ningún actor económico pueda abusar de su poder de mercado, lo que se establecerá en la ley sobre esta materia; c. El desarrollo productivo de sectores con fuertes externalidades positivas a fin de incrementar el nivel general de productividad y las competencias para la innovación de toda la economía, a través del fortalecimiento de la institucionalidad que establece este Código; d. La generación de un ecosistema de innovación, emprendimiento y asociatividad mediante la articulación y coordinación de las iniciativas públicas, privadas y populares y solidarias de innovación y transferencia tecnológica productivas, y la vinculación de investigación a la actividad productiva. Así también fortalecerá los institutos públicos de investigación y la inversión en el mejoramiento del talento humano, a través de programas de becas y financiamiento de estudios de tercer y cuarto nivel; e. La implementación de una política comercial al servicio del desarrollo de todos los actores productivos del país, en particular, de los actores de la economía popular y solidaria y de la micro, pequeñas y medianas empresas, y para garantizar la soberanía alimentaria y energética, las economías de escala y el comercio justo, así como su inserción estratégica en el mundo; f. La profundización del acceso al financiamiento de todos los actores productivos, a través de adecuados incentivos y regulación al sistema financiero privado, público y popular y solidario, así como del impulso y desarrollo de la banca pública destinada al servicio del desarrollo productivo del país; g. La mejora de la productividad de los actores de la economía popular y solidaria y de las micro, pequeñas y medianas empresas, para participar en el mercado interno, y, eventualmente, alcanzar economías de escala y niveles de calidad de producción que le permitan internacionalizar su oferta productiva; h. Un desarrollo logístico y de infraestructura que potencie la transformación productiva, para lo que el Estado generará las condiciones para promover la eficiencia del transporte marítimo, aéreo y terrestre, bajo un enfoque integral y una operación de carácter multimodal; i. La producción sostenible a través de la implementación de tecnologías y prácticas de producción limpia; y, j. La territorialización de las políticas públicas productivas, de manera que se vayan eliminando los

desequilibrios territoriales en el proceso de desarrollo. (Oficial & PRODUCCION, 2010)

2.4 Categorías Fundamentales.

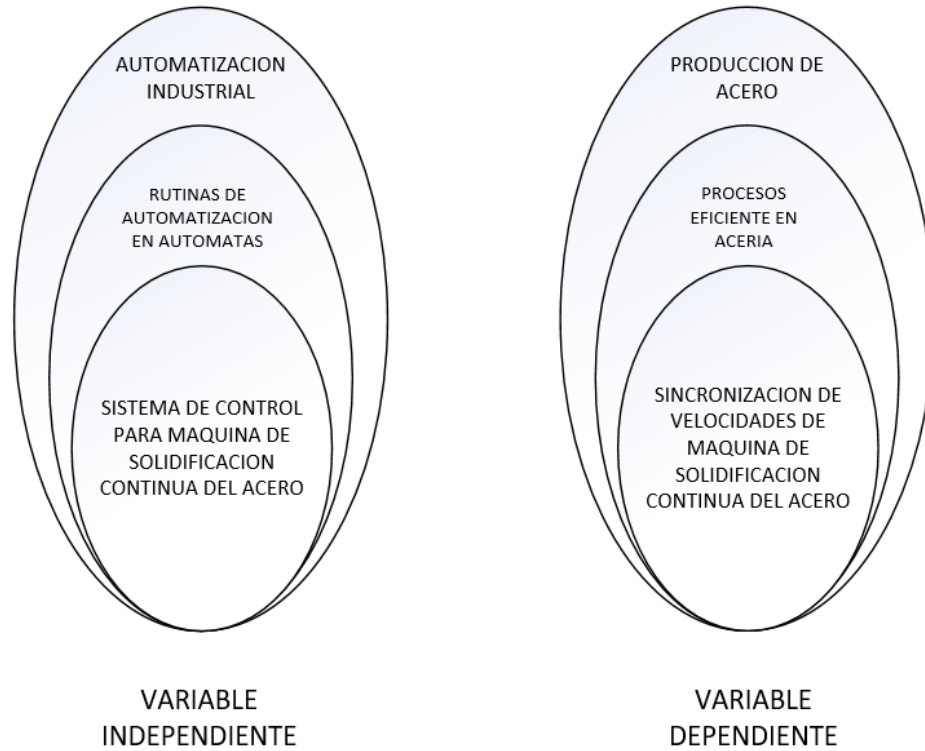


Figura 7. Variable Independiente – Variable Dependiente.

Elaborado por: Trajano Espinosa.

2.5 Hipótesis.

El desarrollo de un Sistema de control para la sincronización de velocidad en el proceso de solidificación continua del acero en la planta de Acería, mejorará la productividad de este proceso industrial.

2.6 Señalamiento de variables de las hipótesis.

Variable Independiente: Sistema de control para máquina de solidificación continua del acero (mcc)

Variables Dependiente: Sincronización de velocidades de máquina de solidificación continua del acero.

CAPÍTULO III. MARCO METOLÓGICO.

3.1 Enfoque.

El presente estudio tiene enfoque cuantitativo ya que está encaminado a una investigación aplicada dado que se va a generar conocimiento mediante el estudio y cálculo del negative slip para el desarrollo de rutinas que permitan la correcta sincronización de velocidad de las partes de una máquina de solidificación continua del acero, con la finalidad de mejorar la productividad y facilitar el manejo del sistema de automatización (Programación de PLC y modificaciones de HMI).

Mediante la automatización de una máquina de solidificación continua del acero será posible verificar el correcto funcionamiento del sistema de control desarrollado.

3.2 Modalidad básica de la investigación.

El tipo de investigación a emplear es la descriptiva y experimental, pues permitirán realizar un estudio e implementación de la investigación, permitiendo solucionar el problema y realizar una propuesta viable en función de las variables presentadas, con la finalidad de verificar la hipótesis.

La modalidad de la investigación es deductiva - investigativa.

Métodos.

- Observación
- Investigación.

Técnicas.

- Recopilación de información.
- Análisis de la información.
- Utilización de Manuales.
- Diseño lógico.
- Implementación práctica.

- Observación y documentación de resultados.

3.3 Nivel o Tipo de Investigación.

El tipo de investigación es experimental y de campo, debido a que se parte del estado actual, identificando fallos para luego describir las tareas a realizar.

Investigación De Campo.

En el caso particular del proyecto a efectuar, se pretende definir las características y particularidades presentes en el proceso de solidificación continua del acero, con la finalidad de ponderar aquellas actividades que agreguen valor, así como, mejoramiento de la productividad.

Investigación experimental.

A través de las propuestas presentadas se pretende modificar la variable dependiente que es la sincronización de velocidades, a través de la automatización del proceso luego del estudio y cálculo del negative strip y generación de referencias de control.

3.4 Población y Muestra.

La población teórica engloba el conjunto de elementos de una máquina de solidificación continua en una empresa de fundición de acero y la población estadística que incluye a los elementos sobre los cuales se realizan las observaciones.

En este proyecto la se considera como población a la máquina de solidificación continua del acero de la empresa Novacero S.A. en la cual se recopilará información actual de su línea productiva para la investigación, esto facilitará la obtención de

resultados con los históricos de dos años antes de la implementación de la investigación y resultados luego de la misma.

Muestra.

Debido a lo reducido de la muestra, puesto que se trata de una línea de producción de la empresa y en esta se tienen 8 personas no se utilizara muestreo por el número pequeño de la población.

3.5 Operación de Variable.

3.5.1 Variable Independiente:

Tabla 1. SISTEMA DE CONTROL PARA MAQUINA DE SOLIDIFICACION CONTINUA DEL ACERO (MCC)

CONCEPTUALIZACION	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEM	TECNICAS E INSTRUMENTOS
Un sistema de control es un conjunto de equipos o dispositivos encargados de controlar un proceso de producción industrial con el objeto de reducir fallos.	Procesos	Rutinas de automatización en autómatas	¿Las rutinas de control de velocidad de referencia lograrán sincronizar las velocidades de la máquina?	Aplicación Practica
	Procesos	Calculo de negative strip de MCC	¿El cálculo del negative strip será suficiente para determinar la referencia de velocidad de los equipos de la MCC?	Medición, Observación, Aplicación práctica.

Elaborado por: Trajano Espinosa.

3.5.2 Variable Dependiente:

Tabla 2. SINCRONIZACION DE VELOCIDADES DE MAQUINA DE SOLIDIFICACION CONTINUA DEL ACERO.

CONCEPTUALIZACION	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEM	TECNICAS E INSTRUMENTOS
Hacer que dos o más hechos, fenómenos, movimientos, mecanismos, etc., sean sincrónicos, estén en perfecta correspondencia temporal.	Productos	Procesos eficientes en acería	¿El sistema de control lograra un proceso eficiente en la máquina de solidificación continua del acero?	Aplicación Practica
	Procesos	Sincronización de velocidades de MCC	¿La sincronización de velocidades mejora el funcionamiento y calidad del producto en una máquina de solidificación continua del acero?	Medición, Observación, Aplicación práctica.

Elaborado por: Trajano Espinosa.

3.6 Recolección de Información.

Tabla 3. Preguntas de la Investigación.

PREGUNTAS BASICAS	EXPLICACIÓN
1. ¿Para qué?	Para implementar un sistema de control para el proceso de solidificación continua del acero
2. ¿A qué vamos aplicar?	Máquina de solidificación continua del acero
3. ¿Sobre qué aspectos?	Automatización Industrial
4. ¿Quién?	Trajano Espinosa
5. ¿Cuándo?	Tres meses a partir de la aprobación
6. ¿En qué lugar?	Provincia: Cotopaxi Cantón: Latacunga
7. ¿Con que técnicas?	Observación y Experimental
8. ¿Con que instrumentos?	Fichas de Observación Registro de datos Históricos Listas de cotejos
9. ¿En qué situación?	En Línea de Producción

Elaborado por: Trajano Espinosa.

3.7 Procesamiento y análisis.

FASE 1: Etapa de Estudio.

- Recopilación de libros relacionados al tema de investigación.
- Recopilación de publicaciones acerca del tema.
- Estudio de estado actual de los equipos y máquinas.
- Entrevistas a especialista en MCC.
- Análisis de la información.

FASE 2: Etapa de Planificación de proceso.

- Análisis matemático de acuerdo a la información recolectada.
- Creación del algoritmo.
- Simulación del algoritmo en software.

FASE 3: Etapa de implementación.

- Selección de PLC.
- Selección de variadores de frecuencia.
- Selección de sistemas de adquisición de datos.
- Selección de la instrumentación.

FASE 4: Etapa de Verificación y prueba.

- Configuración de PLC
- Programación de PLC.
- Configuración de red
- Monitoreo de red
- Verificación de algoritmo mediante el correcto funcionamiento de la máquina.

CAPITULO VI. MARCO ADMINISTRATIVO.

4.1 Recursos Institucionales.

- Planta Industrial Novacero.
- Biblioteca Virtual UTA
- Biblioteca Virtual Metallon.

4.2 Recursos Humanos.

Director de investigación: Ing Patricio Encalada.

Investigador: Ing. Trajano Espinosa.

Personal de Mantenimiento Eléctrico Acería Novacero.

4.3 Recursos Materiales.

- Máquina de Colada Continua de Planta Industrial Novacero.
- Computador portátil Allienware.
- PLC S7-300
- Servidor Industrial.
- Monitores de 32 Pulgadas.
- Tarjetas Wago.
- Variadores de frecuencia ATV312
- Material de Oficina.

Tabla 4. Presupuesto.

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo
Variadores de frecuencia ATV32	30	un	30000
Servidor Industrial	2	un	7000
Licencias Labview, Modulo DSC y OPC	1	un	13000
Pantalla KTP 700	4	un	4800
PLC S7-300 CPU 315 2DP/PN	4	un	8000
Tarjeta Entradas Digitales Siemens	4	un	1200
Tarjeta Salidas Digitales Siemens	4	un	1200

Computador Todo en Uno DELL	2	un	2200
Equipos Existentes	600	un	0
TOTAL			67400

Elaborado por: Trajano Espinosa.

4.4 Cronograma.

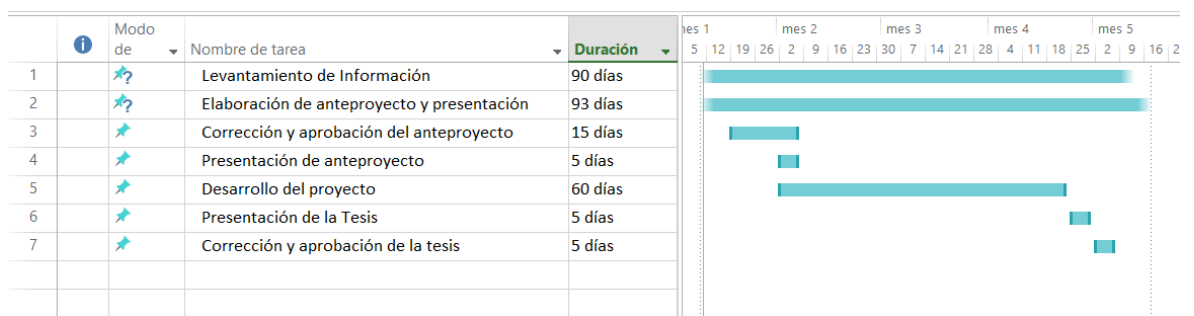


Fig. 8. Cronograma

Elaborado por: Trajano Espinosa.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El sistema de automatización existente tiene muchos errores además de la dependencia de terceros para solucionar problemas o realizar mejoras.
- Es factible desarrollar un sistema para sincronizar las velocidades de los dispositivos que intervienen en el proceso de una máquina de solidificación continua del acero.
- Es importante desarrollar el cálculo de las velocidades basados en el negative strip para el cual la máquina fue diseñada.
- Es necesario simular los resultados del cálculo para ver el comportamiento de los Variable Frequency Driver (VFD) que intervienen en el proceso.
- Realizar la programación de los equipos que sean necesarios para conseguir la sincronizar las velocidades de máquina de solidificación continua del acero.
- Se debe desarrollar un Human Machine Interface HMI para una máquina de solidificación continua del acero.
- Para evaluar el correcto funcionamiento de la implementación es necesario evaluar datos anteriores versus los datos posteriores.

5.2. Recomendaciones

- El sistema de automatización tendría que ser desarrollado con equipos más comerciales
- La sincronización de los dispositivos de una máquina de salificación continua del acero deben ser muy exactos ya que de esto depende que el producto terminado no tenga imperfecciones.
- Es importante que la máquina de solidificación continua del acero haya sido diseñada en base al producto final que se desea obtener
- Se recomienda simular resultados del cálculo para ver el comportamiento de los VDF que intervienen en el proceso antes de ingresar a la máquina para estar seguros de su funcionamiento.
- Realizar la programación de manera estructurada para que personal calificado de la empresa pueda dar soporte y no depender de terceros.
- Se recomienda implementar un HMI para una máquina de solidificación continua del acero basado en los equipos instalados en la planta.
- Se recomienda obtener datos anteriores y datos posteriores para poder analizar la eficiencia de la implementación.

CAPITULO VI. LA PROPUESTA.

6.1. Datos Informativos

6.1.1. Titulo

“DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL PARA EL PROCESO DE SOLIDIFICACIÓN CONTINUA DEL ACERO EN LA PLANTA DE ACERÍA DE LA EMPRESA NOVACERO S.A.”

6.1.2 Institución Ejecutora.

EMPRESA NOVACERO S.A.

6.1.3 Beneficiarios.

- Planta de Función.
- Máquina de solidificación continua del acero.

6.1.4 Ubicación.

- Provincia: Cotopaxi
- Cantón: Latacunga
- Dirección: Panamericana Norte Km 16, Planta Lasso.

6.1.5 Equipo técnico responsable.

- Investigador: Ing Trajano Espinosa P.
- Tutor: Ing. Patricio Encalada
- Personal de producción de máquina de colada continua Novacero.

6.2 Antecedentes de la propuesta.

Novacero se identifica como una empresa en constante crecimiento y desarrollo, así como la implementación de nuevas tecnologías en sus líneas de producción, y su constante compromiso de soluciones de acero de alta calidad.

Uno de los problemas que afecta actualmente a la empresa se localiza en la máquina de solidificación continua, la misma que presenta algunas oportunidades de mejora.

- Software de automatización no conocido.
- Dependencia de personal externo para solución de problemas e implementación de cambios o mejoras en su automatización.
- Paras en producción.
- Defectos en los productos.
- Rutinas de programaciones cerradas y erróneas.

6.3 Justificación.

El desarrollo de un sistema de control mediante la automatización de la máquina de solidificación continua del acero es de suma importancia debido al crecimiento continuo de la empresa y por ende su eficiencia en la producción.

El sistema busca realizar el cálculo de referencia de velocidades para los dispositivos de la máquina mediante el uso del negative strip y así sincronizar las velocidades de los actuadores que interviene en la máquina y con esto disminuir paras de producción por fallos o tiempos muertos, que el personal de la empresa pueda implementar cambios y mejoras en su sistema de control, modificar las rutinas de programación de los autómatas inmediatamente y disminuir los defectos en el producto.

6.6 Objetivos.

6.6.1 Objetivo General.

Desarrollar e implementar un sistema de control para el proceso de solidificación continua del acero en la planta de Acería de la empresa NOVACERO S.A.

6.6.2 Objetivos Específicos:

- Automatizar el funcionamiento existente en el proceso de solidificación continua del acero.
- Realizar el cálculo de negative strip para el control del proceso de solidificación continua del acero.
- Modelar el cálculo, para simular subsistemas de control y luego aplicarlas en la programación de los autómatas.
- Implementar subrutinas de control mediante la Automatización de la Máquina de Colada Continua.
- Desarrolla un HMI para el control del proceso de solidificación continua del acero.
- Verificar los datos con automatización anterior versus automatización final.

6.7 Análisis de factibilidad.

La propuesta es factible ya que la empresa NOVACERO S.A, apoyara el desarrollo e implementación un sistema de control para el proceso de solidificación continua del acero en la planta de Acería.

6.7.1 Factibilidad Técnica.

- Licencia de Labview.
- Licencia de módulo DSC de labview.
- Licencia de NiOPC Server.

- Servidor DELL.
- Licencia de TIA PORTAL V13.
- 4 PLC S7-300
- 42 Variadores de velocidad ATV312.
- 650 Tarjetas WAGO.

6.7.2 Factibilidad Organizacional.

Puesto que el desarrollo e implementación un sistema de control para el proceso de solidificación continua del acero en la planta de Acería ayudara a mejorar el proceso productivo así como el manejo y mantenimiento del sistema de automatización se cuenta con la disponibilidad de máquinas y equipos para su desarrollo y aprobación.

6.7.3 Factibilidad Económica.

La empresa NOVACERO S.A. cuenta con los recursos tecnológicos necesarios, y el desarrollo por parte del investigador, lo cual implica una inversión económica muy reducida en comparación a cotizaciones para la ejecución de este proyecto.

6.7.4 Factibilidad operacional.

Se cuenta con el recurso humano para el desarrollo, puesto que el personal operativo y administrativo de la Acería asesorara con secuencias operativas de la máquina, así como también en base a su experticia.

6.8 Fundamentación.

6.8.1 Fundamentación filosófica.

La colada continua ha reemplazado gradualmente a la fundición de lingotes sobre años, alcanzando el 50% de la producción anual de acero crudo en Japón 1978, en Italia y la antigua Alemania Occidental en 1980, en Corea en 1982, en

el Reino Unido en 1984, y en los Estados Unidos en 1986. Grandes lingotes para forjados y la producción de pequeños lotes de diversos grados de acero todavía se produce por lingote fundición. Se ha dedicado un gran esfuerzo para mejorar la superficie y calidad interna de los productos de colada continua para obtener una prima más alta rendimiento del metal fundido. Al mismo tiempo, la productividad de colada continua era aumentada sustancialmente para mantener el ritmo del aumento de acero crudo capacidad de producción. Actualmente, más del 95% de los aceros al carbono y los aceros especiales se producen mediante colada continua.

En lingotes de fundición, un molde hueco de hierro fundido con un cuadrado, rectangular, sección transversal poligonal o redonda se establece en el taburete de hierro fundido. Terminado el derretimiento de acero se vierte desde una cuchara en el molde de dos maneras. Uno es de la parte superior del molde, llamada vertido superior en un molde a la vez, y el otro es desde el fondo del molde, llamado vertido inferior o cuesta arriba acumulando en moldes únicos o múltiples a través del canalón y los ladrillos del corredor.

Proceso de Colada Continua

El proceso de colada continua del acero, tecnología empleada en la industria siderúrgica, ha sido uno de los mayores avances en la producción del mismo durante el siglo pasado.

Su aplicación comienza a extenderse en los años 60, pero es a partir de la década del 70 cuando su expansión es más considerable, remplazando paulatinamente al método convencional de colada de lingotes. La colada continua presenta ventajas si se compara con los métodos convencionales, pudiéndose destacar un mayor rendimiento, trabajo en secuencia, mejor calidad del producto colado, y ahorro de energía, supresión del rechupe que solamente se producirá en el extremo final de la barra.

Esto ha originado que actualmente el 90 % de la producción mundial de acero sea realizada utilizando el proceso de colada continua, mientras que en la década 70

solo el 15 % correspondía a este proceso. En este proceso, la transferencia de calor en el molde tiene una profunda influencia sobre la operación de la máquina y la calidad del producto final.

Los problemas de calidad del producto, breakouts y de deformación del molde detectados, mantienen una estrecha relación con el uso correcto de la tecnología de vaciado continuo para cada marca de acero. En la actualidad existen las máquinas de colada continua para producir tres tipos de semiproductos; estos son: Palanquillas, tocho y planchón. En la figura 9, se puede observar el esquema de una máquina de colada continua.



Fig. 9 Colada continua del acero

Elaborado por: Colada del Acero; José Luis Enríquez, Enrique Tremps Guerra, Susana de Elío de Bengy Daniel Fernández Segovia; Madrid, junio 2009.

A continuación se mencionan los tipos de la MCC

Máquina totalmente vertical: Especialmente para aleaciones no férricas. En ella, al final del recorrido vertical, se cortan las palanquillas, todavía muy calientes, por medio de un soplete y luego se voltean, son puestas en posición horizontal y arrastradas con un juego de rodillos hasta la zona de almacenaje, así se puede ver en la Figura 10.

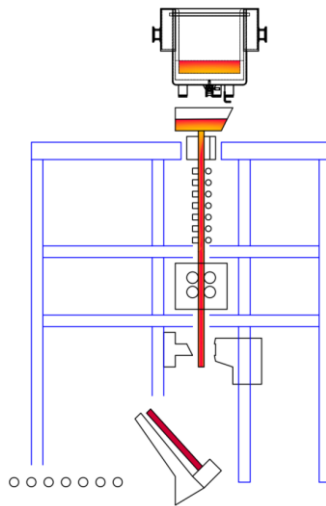


Fig. 10 Máquina totalmente vertical

Elaborado por: Trajano Espinosa.

Colada vertical, con curvado y enderezamiento posterior: Con el objetivo de evitar la extraordinaria altura que debían tener los edificios para alojar a las primeras máquinas de colada continua, se ha desarrollado este sistema en el que doblando las palanquillas cuando ya está bien solidificado el acero, se obtienen buenos resultados y se consigue reducir la altura total de la instalación, Figura 11.

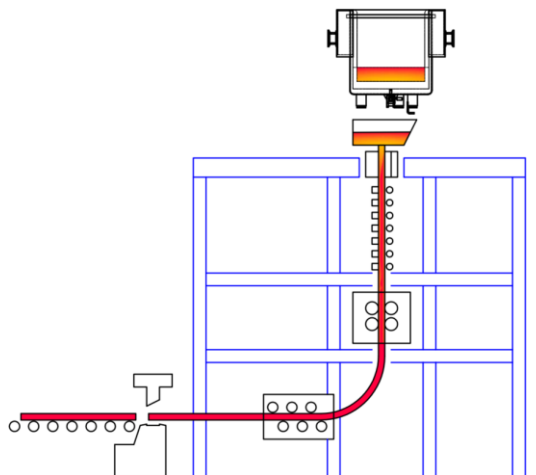


Fig. 11 Colada vertical, con curvado y enderezamiento posterior

Elaborado por: Trajano Espinosa.

Máquina curva con el molde recto: Se caracteriza por el doblado de la palanquilla y comienza a la salida del molde, en la zona de refrigeración secundaria, mientras que en su interior todavía está en estado líquido. Se diferencia del modelo interior en que en aquel el enfriamiento secundario se hace en la zona recta y en este caso es en la curva, ver Figura 12.

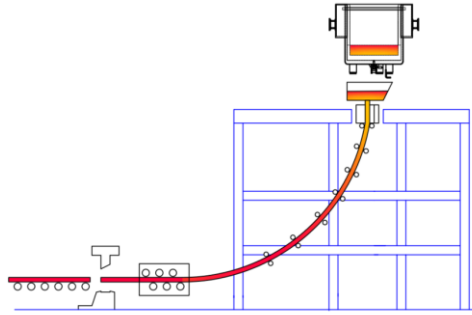


Fig. 12 Máquina curva con el molde recto
Elaborado por: Trajano Espinosa.

Máquina curva con el molde curvo y enderezado posterior: Esta instalación es la de menor altura de las convencionales desarrolladas recientemente, (ver Figura 13). En este tipo de MCC, el molde metálico es curvo y el enfriamiento secundario se realiza sobre la palanquilla curva, y posteriormente, por medio de los rodillos enderezadores, se transforma en barra recta.

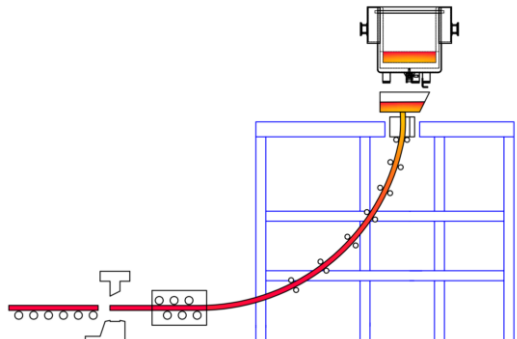


Fig. 13 Máquina curva con el molde curvo y enderezado posterior
Elaborado por: Trajano Espinosa.

Este trabajo centra su estudio en máquinas de tipo radial debido a su gran utilización en el mundo. A continuación, se explica la estructura general de una MCC de tipo radial. Desde la zona superior de una máquina de colada continua, en la que se emplaza la cuchara de acero, hasta la zona inferior por la cual se extraen los semiproductos; la instalación consta de:

Torre de colada: Se usa para la colada secuencial. Es una estructura giratoria, en ella hay dos cucharas; una de ellas, cuchara 1, está alimentando el chorro del acero a la artesa de la colada y la otra, cuchara 2, está llena y en espera. Cuando se agota la 1, la torre gira 180° alrededor de su eje vertical, quedando la 2 sobre la artesa. La 1 se lleva a la zona de reparación de cucharas. La 1 es sustituida por otra llena y en reserva, en la Figura 14 se puede ver una torre de colada.

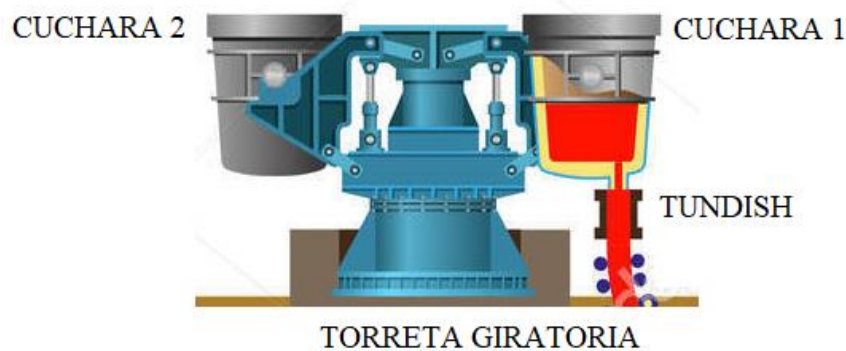


Fig. 14 Torre de colada

Elaborado por: Ironand Steel Works, <https://depositphotos.com/191429818/stock-illustration-casting-of-steel-from-ladle.html>

Cuchara de colada: Es el recipiente que recibe el acero procedente del horno de cuchara y lo vacía en la artesa de la máquina de colada continua; esta revestida de material refractario y aislante térmico. La salida del acero es a través del cierre de corredera situado en la parte inferior de la cuchara. Las cucharas se precalientan eficientemente antes de utilizarse para evitar que el acero se enfríe en la cuchara, se muestra en la Figura 15.

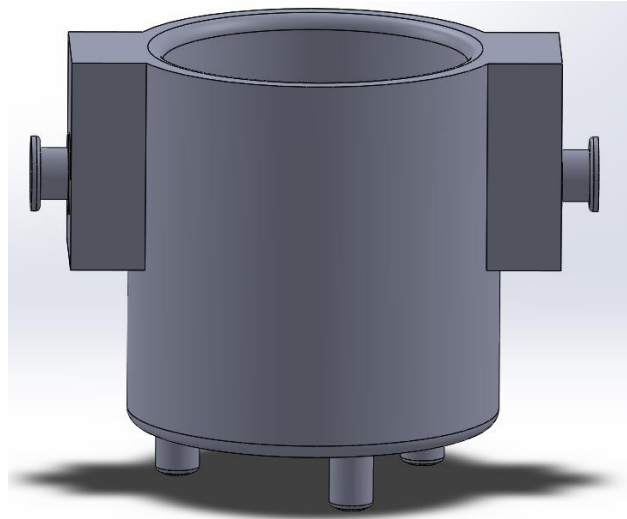


Fig. 15 Cuchara de colada

Elaborado por: Trajano Espinosa.

Artesa (Tundish) o distribuidor: Es uno de los elementos fundamentales de la colada continua y sirve para suministrar al cristalizador un chorro continuo y homogéneo de acero a una velocidad constante. La artesa recibe el chorro del acero de la cuchara de la colada, lo acumula durante un corto período de tiempo y lo distribuye con gran uniformidad a través de las líneas al cristalizador. La artesa se llena hasta el nivel de referencia ($3/4$ partes de la altura total de la artesa) antes de abrirse las líneas. La artesa además cumple la función de limpieza del metal al recoger en la escoria las inclusiones no metálicas. Figura 16.

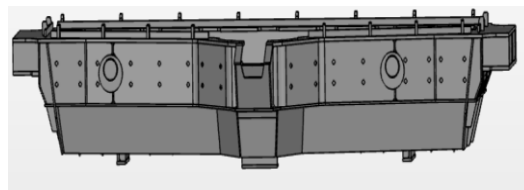


Fig. 16 Artesa (Tundish) o distribuidor

Elaborado por: Tecno E.S.T. srl ; www.tecnoest.net

Cristalizador: Generalmente de cobre, con una capa muy fina de platino para mejorar su resistencia mecánica, con circulación interna de agua de refrigeración que se utiliza para crear la primera capa solidificada de metal y a partir de ahí dar la forma externa al producto final. El cristalizador además, está dotado de un sistema de lubricación encargado de suministrar el aceite que sirve para evitar que las palanquillas se adhieran a la paredes interiores del molde. Figura 17.



Fig. 17 Cristalizador o molde
Elaborado por: Trajano Espinosa.

Bancos de oscilación (oscilador): Durante el proceso de colada continua el cristalizador tiende a moverse alternativamente hacia arriba y hacia abajo, según un ciclo determinado, y se despega de la pared la piel solidificada como consecuencia de la refrigeración primaria, la Figura 18 indica un gráfico del banco oscilante.

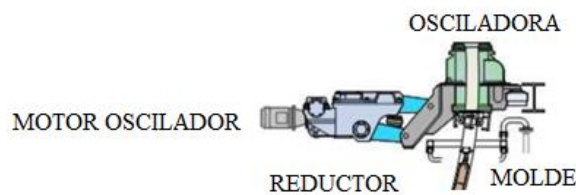


Fig. 18 Bancos de oscilación (oscilador)
Elaborado por: Sidertech

Sistema de refrigeración secundaria: Constituido por duchas (sprays) de agua que al impactar contra la superficie exterior del acero, la enfrían y continúan evacuando el calor necesario para la solidificación total del semiproducto. Para

evitar que el agua produzca una refrigeración demasiado energética de la barra, se proyecta en forma pulverizada. Además, el sistema dotado de guías curvilíneas que sirven para el desplazamiento de las palanquillas durante su paso hacia las extractoras. Como se observa en la Figura 19.

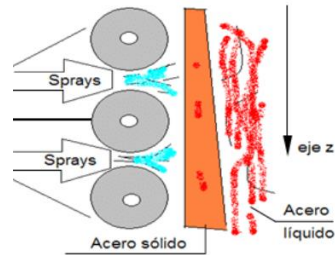


Fig. 19 Sistema de refrigeración secundaria

Elaborado por: Colada del Acero; José Luis Enríquez, Enrique Tremps Guerra, Susana de Elío de Bengy Daniel Fernández Segovia; Madrid, junio 2009

Rodillos de arrastre y Enderezadora: Constituyen una serie de rodillos accionados automáticamente para conducir y guiar la barra, asegurando el descenso a la velocidad deseada a la vez que endereza la barra curva, ver Figura 20.

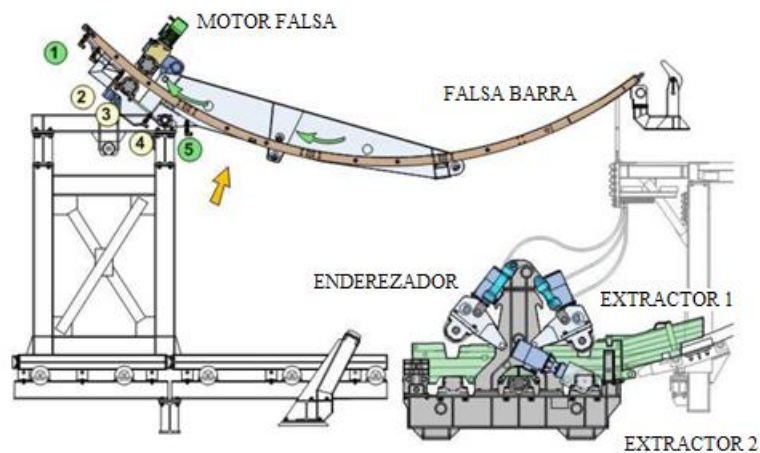


Fig. 20 Rodillos de arrastre y Enderezadora

Elaborado por: Sidertech.

Mecanismo de corte (sopletes o cizallas): Cortan el producto a longitudes deseadas. En la realidad, se construye el sistema de corte adecuado para que el corte sea perfectamente perpendicular a la línea longitudinal del semiproducto.

CICLO DEL TRABAJO.

El acero líquido es suministrado a la máquina de colada continua desde la acería secundaria. La cuchara es entregada mediante una grúa y posicionada en una torreta de cuchara, la que posteriormente gira la cuchara hacia la posición de la colada. Se abre una válvula deslizante en el fondo de la cuchara para permitir que el acero líquido fluya a través de una camisa protectora hacia el distribuidor. A medida que se llena la artesa, las barras tapón se levantan para permitir la colada de acero hacia el cristalizador. La solidificación comienza sobre las paredes del molde y el acero es extraído del molde mediante una barra falsa. Cuando deja el molde, la barra del acero requiere una cáscara sólida suficientemente gruesa para soportar el peso del acero líquido que contiene, es decir, la presión ferrostática. Figura 21.

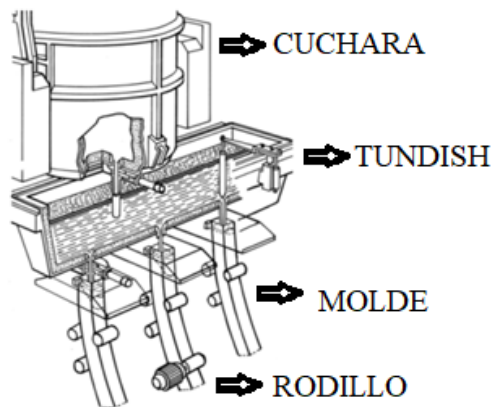


Fig. 21 Ciclo de trabajo máquina de solidificación continua del acero.

Elaborado por: Colada del Acero; José Luis Enríquez, Enrique Tremps Guerra,
Susana de Elío de Bengy Daniel Fernández Segovia; Madrid, junio 2009

Durante todo el proceso de colada, el molde oscila verticalmente a fin de separar el acero solidificado del molde de cobre. Esta separación incrementa aún más al introducir un polvo colador en el molde.

La barra es extraída del molde mediante un conjunto de rodillos que guían al acero a lo largo de un arco hasta que la barra se ubique en posición horizontal. Los rodillos deben ser posicionados a poca distancia entre sí para evitar el abarrilamiento o rotura de la cáscara fina.

Cuando el acero deja el molde, solo tiene una capa solidificada fina que necesita un mayor enfriamiento para completar el proceso de solidificación. Esto se logra en la zona de enfriamiento secundario, donde un sistema de pulverizadores de agua ubicados entre los rodillos es utilizado para rociar una fina niebla de agua sobre el acero. Luego que la barra es enderezada y solidificada por completo, se corta con el soplete en longitudes de producto predeterminadas. Estas pueden ser enviadas a un área de almacenamiento o a un laminado en caliente.

6.9 IMPLEMENTACION.

6.9.1 Automatización.

Para el correcto funcionamiento de una máquina de solidificación continua del acero, es necesario que la misma esté correctamente sincronizada, es decir la velocidad lineal del lingote sea la misma en todas las partes del proceso, para esto es necesario obtener algunas ecuaciones matemáticas que ayudaran a tener una correcta automatización.

6.9.2 Negative Strip Time.

El negative strip time es una constante que permite la perfecta oscilación del molde la misma que elimina desperfectos del producto terminado, en el caso de Novacero para palanquilla de 130 x 130 mm.

Este trabajo consiste en que a partir del negative strip y de las características de los componentes de la máquina generar la referencia de velocidad para la sincronización de las velocidades de las partes de la misma.

Es así que para obtener la referencia de velocidad para el variador que controla el banco oscilante (RPM) se utilizara un valor de negative strip time de 33 % el mismo que garantizara la eficiencia de la máquina y la calidad de producto.

Set point es la consigna dada por el sistema de control automático o por el control manual, el cual consiste en mantener la altura del nivel de acero dentro del molde, en el caso manual el operador observa y mueve el potenciómetro para mantener este nivel, en el caso automático el sensor magnetico es quien realiza un trabajo similar.

La amplitud es una constante del mecanismo igual a 12 mm que es la medida del movimiento oscilatorio del molde.

En la Ecuación 1. Se muestra como realizar el cálculo cuyo resultado serán las RPM del motor oscilante, es así que al dividir es negative strip time para 100 y sumado 1 obtenemos las oscilaciones por minuto del banco este resultado debe ser multiplicado por el set point el mismo que esta multiplicado por uno el resultado de esta operación es dividido por la amplitud dividida para 1000 esto con el fin de trabajar en metros y luego multiplicado por una constante de 2 todo este resultado debe ser multiplicado por 7.98 que es la relación del reductor.

Ecuación 1.

$$RPM\ OSCILADORA = \left(\frac{(Set\ Point * 1) * \left(1 + \left(\frac{NST}{100} \right) \right)}{2 * \left(\frac{12}{1000} \right)} \right) * 7.98$$

Calculo referencia velocidad enderezadora, extractor uno y dos es igual a multiplicar el set point de la velocidad de la maquina por el inverso de la relación del reductor y esto multiplicado por el diámetro del rodillo que hace contacto con el

lingote este resultado dividido para 2 veces π , como se puede observar en la ecuación 2.

Ecuación 2.

$$RPM = \left(\frac{\left(Set\ Point * \frac{1}{0.16} \right) * 328.3}{2 * \pi} \right)$$

Calculo referencia velocidad motor falsa barra es dado por el set point de la velocidad de la maquina multiplicado por el inverso del relación del reductor y multiplicado por el diámetro del rodillo que contacto con la falsa barra y este resultado dividido para 2 multiplicado por π como se muestra en la ecuación 3.

Ecuación 3.

$$RPM = \left(\frac{\left(Set\ Point * \frac{1}{0.2} \right) * 328.3}{2 * \pi} \right)$$

6.9.3 Modelamiento del cálculo.

Para comenzar con el modelamiento del cálculo de referencias de velocidades para los variadores de frecuencia es necesario tener claro la secuencia del funcionamiento como se detalla en la Figura 22. Cuando queremos empezar el proceso de solidificación es decir arrancar una línea de producción se debe realizar en manual, esto consiste en el panel colador seleccionar la opción manual una vez que tengamos todos los permisos esta opción habilitara la máquina para comenzar, una vez que el potenciómetro sea diferente de cero el autómatas ejecuta las ecuaciones del punto 6.9.2, y comienza a cargar la referencia en RPM a todos los variadores de frecuencia y por ende a los motores de la línea. Una vez que la maquina este estable el operador podrá seleccionar la opción de automático, en ese momento el autómatas realiza el mismo trabajo que viene realizando pero toma la referencia que envía el sensor magnético en lugar que la del potenciómetro.

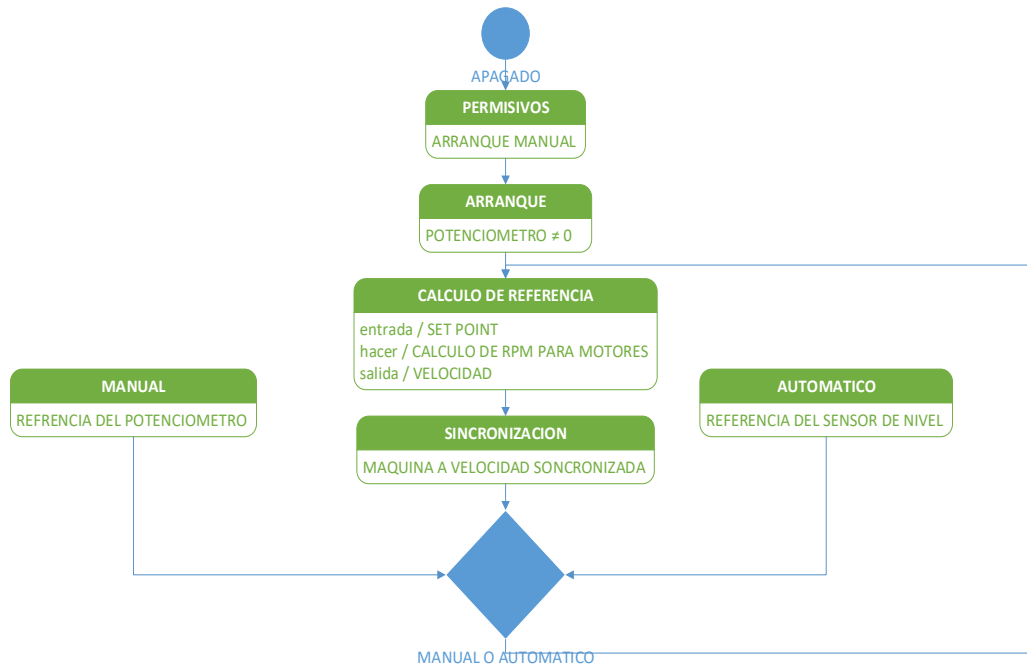


Fig. 22 Diagrama lógico.

Elaborado por: Trajano Espinosa.

En la Figura 23, se observa el panel desarrollado para la simulación de la sincronización de las velocidades con el cual se pudo simular la respuesta del sistemas al variar el valor del potenciómetro o del slide, cuando estos son diferentes a cero comienza a cargar datos a los indicadores que representan cada variador de frecuencia. En la gráfica se observa con color rojo la referencia de velocidad de la máquina, con blanco las rpm de la osciladora con azul las rpm de enderezadora, extractor uno y extractor dos y finalmente con amarillo las rpm de la falsa barra, posteriormente estos datos serán verificados con el PLC y los VDF instalados en la máquina.

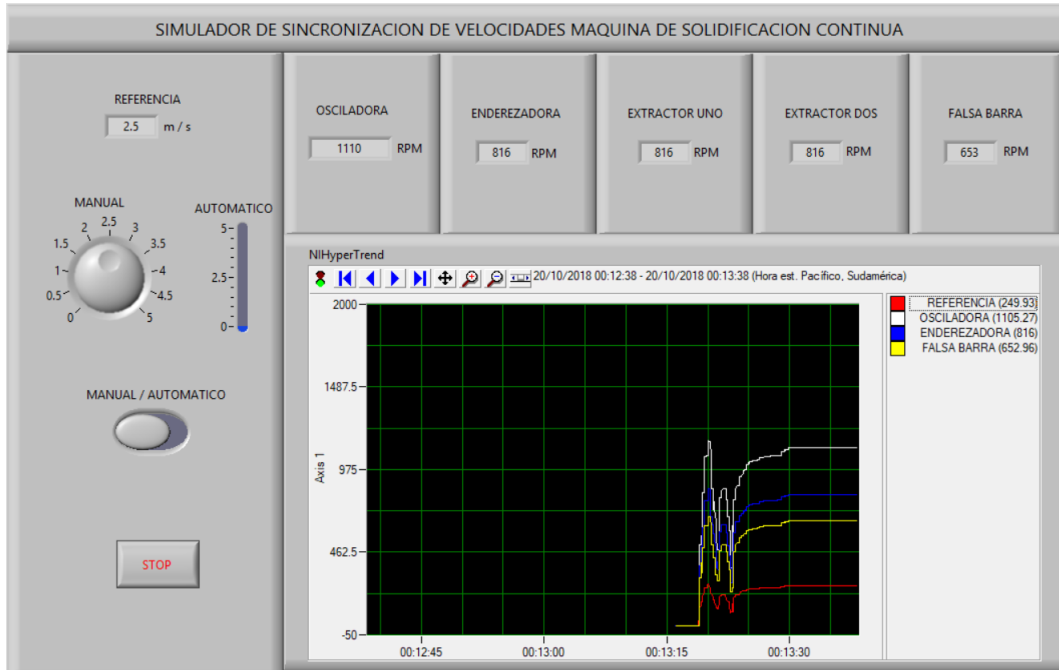


Fig. 23 Modelación del cálculo de sincronización de velocidades.

Elaborado por: Trajano Espinosa.

En la Figura 24 se puede observar también el desarrollo en labview cada una de las ecuaciones ingresadas para la simulación. Véase también anexo G.

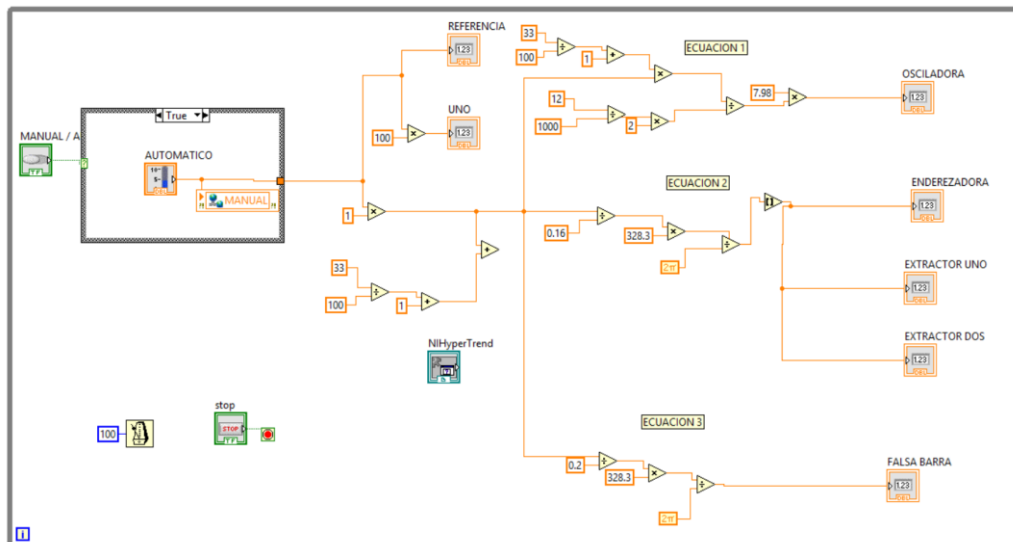


Fig. 24 Diagrama de modelación del cálculo de sincronización de velocidades.

Elaborado por: Trajano Espinosa.

6.9.4 Implementación de sistemas de control.

Para comenzar con la implementación del control es necesario tener claro la arquitectura de todos los dispositivos que intervienen en el control de la máquina es así que en la Figura 25, se puede constatar un diagrama donde se listan todos los equipos con sus respectivas cantidades.

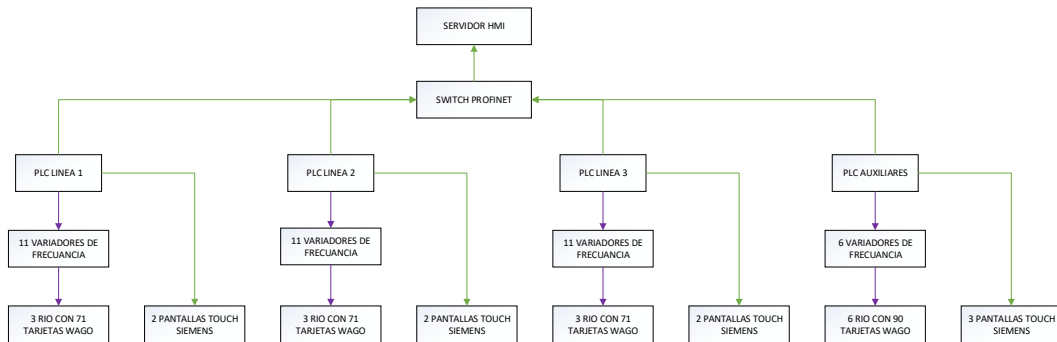


Fig. 25 Arquitectura de dispositivos de planta.

Elaborado por: Trajano Espinosa.

En la Figura 26, se indica la configuración de la arquitectura de hardware que utiliza toda la máquina de solidificación continua del acero. A continuación se explica el funcionamiento de cada dispositivo por línea de colada, recalcando que es uno por línea.

- **Variador de velocidad Osciladora.-** Es el motor encargado de controlar la oscilación del molde, el cual con cada oscilación hace que el lingote avance.
- **Variador de velocidad bomba de lubricación lingotera.-** Para que el lingote resbale con cada oscilación y avance es necesario lubricar el molde con aceite para esto, este variador controla una bomba de ¼ HP que lubrica continuamente el molde.
- **Variador de velocidad Enderezadora.-** Es el motor encargado de controlar al rodillo enderezador, hasta antes de llegar a este rodillo el lingote es curvo una vez que el sensor detecta que el falso lingote pasó por la

posición de este, el rodillo baja desacopla el falso lingote del lingote producido y comienza a enderezarlo mientras va avanzando.

- **Variador extractor uno.-** Este motor controla el rodillo que ayuda a empujar el lingote al llegar a esta posición el lingote tiene ya más o menos 12 metros de largo y esta soldado por esta razón la enderezadora y osciladora necesitan ayuda para extraer el lingote, se encuentra ubicado en la parte inferior del lingote.
- **Variador extractor dos.-** Este motor realiza el mismo trabajo que el extractor uno, con la diferencia que este se encuentra colocado en la parte superior del lingote su función sigue siendo ayudar a la extracción de el lingote.
- **Variador falsa barra.-** Este variador controla el motor que maneja la falsa barra una vez que esta es separada por la enderezadora, cambia su velocidad y la lleva hasta cierta altura en donde manda activar el brazo de aparcamiento e invierte el giro y la lleva a la posición de estacionamiento, luego de esto el motor se apaga.
- **Variador arrastrador.-** Este variador controla un rodillo ubicado a tres metros de distancia de la enderezadora su función es ayudar con el arrastre de la palanquilla.
- **Variador Lanza de corte.-** Este variador controla el avance de la lanza que sostiene la antorcha que realiza el corte de la palanquilla en segmentos de 4 metros de largo.
- **Variador carro de corte.-** Una vez que el sensor detecta los 4 metros se activa el sistema de corte, este hace que una pinza se active y el carro de corte se enchance a la misma mientras la va cortando una vez que termina de cortar, este variador se encarga de activar el motor para que el carro regrese a su posición de estacionamiento y así espere el siguiente corte.
- **Variador camino de rodillos módulo uno.-** Una vez que termina de cortar el variador activa el módulo de camino de rodillos para que el lingote avance de posición.

- **Variador camino de rodillos módulo 2 y 3.-** Una vez que el lingote termino de pasar por el módulo 1, este variador manda arrancar el módulo 2 y 3 para que el lingote avance hasta la mesa de evacuación.
- **CIO201.-** Control de entradas y salidas que maneja el pulpito colador.
- **CIO401.-** Control de entradas y salidas que maneja el sistema de refrigeración y enfriamiento primario y secundario.
- **CIO402.-** Control de entradas y salidas que maneja el sistema de corte y parte de la mesa de evacuación.

A continuación la explicación de cada dispositivo de los sistemas auxiliares:

- **Variador coche cuchara uno.-** Controla el coche cuchara en donde se asienta la cuchara uno, mueve desde la posición de espera a la posición de trabajo.
- **Variador coche cuchara dos.-** Controla el coche cuchara en donde se asienta la cuchara dos, mueve desde la posición de espera a la posición de trabajo.
- **Variador bomba central de válvula deslizante uno.-** Este variador controla las bomba de la central que permite abrir la válvula de la cuchara, que una vez abierta permite el flujo de acero hacia el distribuidor. Está asociada al coche cuchara uno.
- **Variador bomba central de válvula deslizante dos.-** Este variador controla las bomba de la central que permite abrir la válvula de la cuchara, que una vez abierta permite el flujo de acero hacia el distribuidor. Está asociada al coche cuchara dos.
- **Variador bomba de recirculación.-** Este variador controla la bomba que hace recircular el aceite de la central cuando la temperatura de la misma supera los 40 grados centígrados con el objeto de enfriar el aceite.
- **Extractor de vapor.-** Este variador controla un extractor de vapor ubicado en la cámara de enfriamiento primario, al chocar el agua con el lingote genera gran cantidad de vapor el cual es extraído de la cámara.
- **RIO301.-** Entradas y salidas remotas que controlan la refrigeración de sistemas hidráulicos.

- **RIO401.-** Entradas y salidas remotas que controlan la instrumentación de las centrales hidráulicas.
- **RIO402.-** Entradas y salidas remotas que controlan el circuito e enfriamiento abierto.
- **RIO Central hidráulica enderezadoras.-** Existen arrancadores suaves que no tienen protocolos de comunicación por lo que se los controla por medio de las borneras de control, para esto se usa estas entradas y salidas remotas.
- **RIO Central hidráulica mesa de evacuación.-** Estas entradas y salidas también controlan arrancadores suaves que no tienen tarjetas de comunicación.
- **RIO Central válvula deslizante.-** Entradas y salidas remotas que controlan las válvulas de la central y sistemas de válvula deslizante.

En total la máquina cuenta con 4 PLC's S7-315 2 DP/PN, 39 variadores de frecuencia, 4 arrancadores suaves, 9 pantallas touch siemens, 15 "R I/O" (304 tarjetas wago).

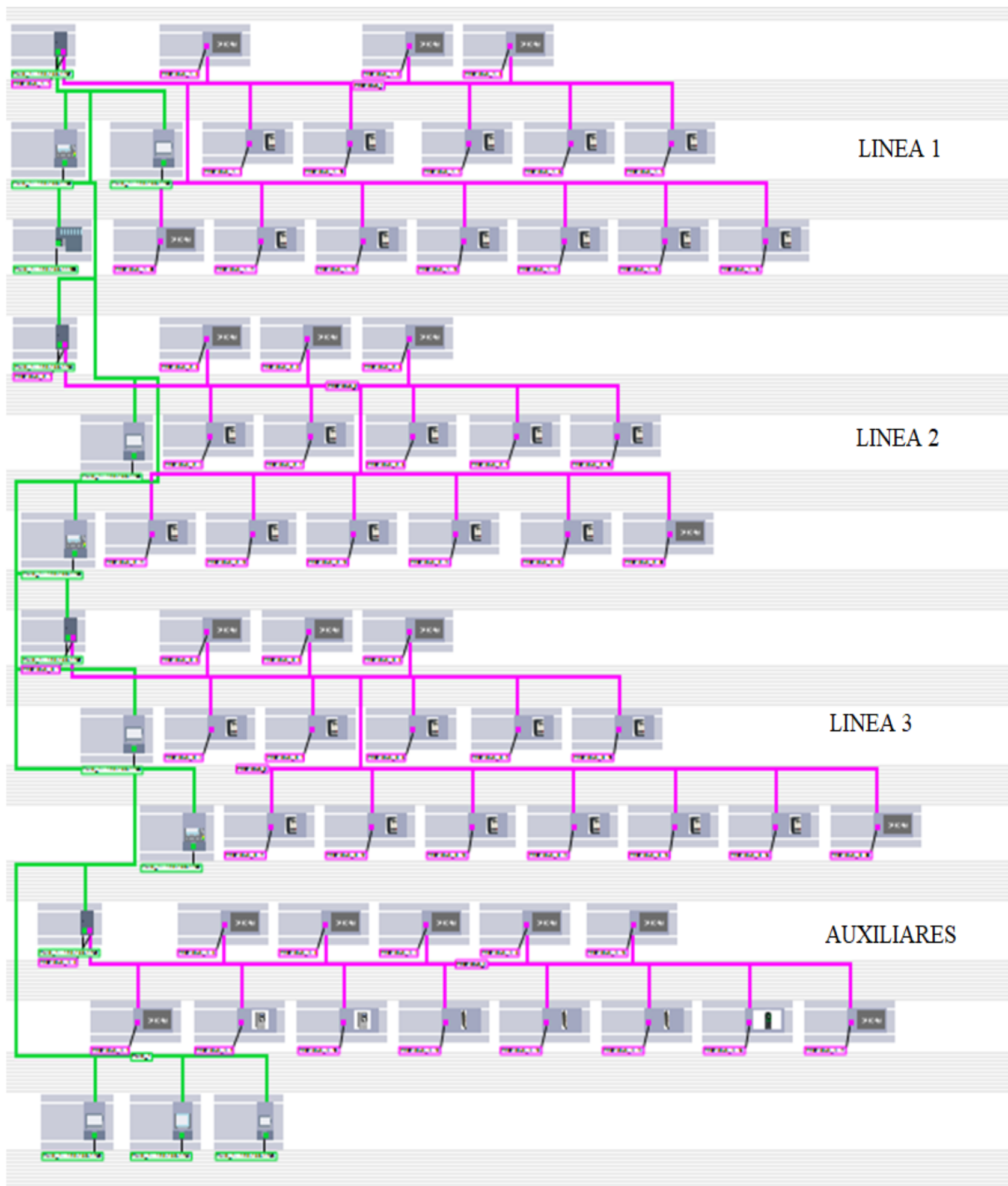


Fig. 26 Configuración de protocolos de comunicación y equipos de líneas de colada.

Elaborado por: Trajano Espinosa.

En la Figura 27, se ve la configuración del plc de los sistemas auxiliares de la máquina. Esta es la configuración que está cargada en el plc de auxiliares.

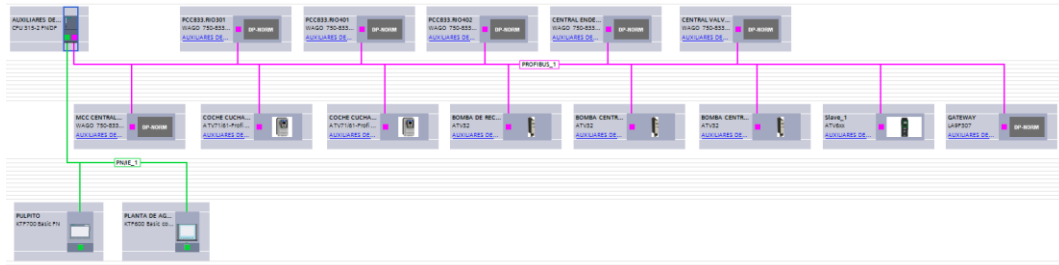


Fig. 27 Configuración de protocolos de comunicación de auxiliares.

Elaborado por: Trajano Espinosa.

En la Figura 28, se puede ver la configuración del plc de una línea de colada, en total son tres plc uno por línea los tres tienen cargada esta configuración

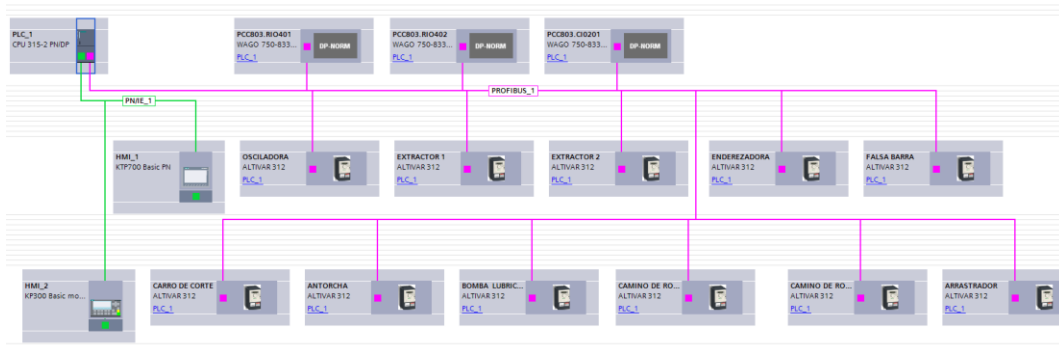


Fig. 28 Configuración de protocolos de comunicación por línea.

Elaborado por: Trajano Espinosa.

Como se mencionó anteriormente el sistema de control de la máquina de solidificación continua, cuenta con dos sistemas de control un manual y un automático, en el caso en particular de nuestra máquina en estudio el control manual es un potenciómetro y el control automático viene de un sensor de control magnético de molde de lingotera el mismo que es conocido en la plata por su marca “Sistema Ergolines”. En la Figura 29 se observa como el PLC recibe el valor ya sea ese desde la entrada analógica del potenciómetro o de la entrada analógica del

sistema automático. De aquí en adelante la referencia de velocidad estará almacenada en la variable MD320.

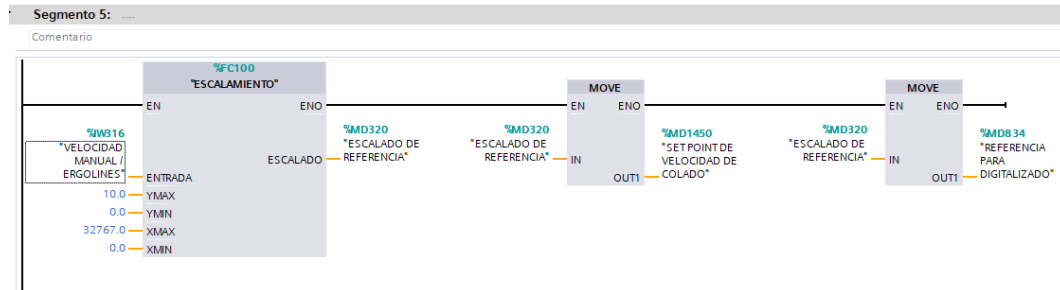


Fig. 29 Escalamiento de consigna de velocidad de colado

Elaborado por: Trajano Espinosa.

Con las ecuaciones anteriormente explicadas para la sincronización de la máquina de solidificación continua del acero se desarrolla las mismas operaciones en la secuencia de programación del plc. En la Figura 30, en el segmento 11 tenemos el cálculo utilizando el negative strip time donde se observa que este es dividido para 100 para posteriormente encontrar las oscilaciones por minuto del banco oscilante, en el segmento 12 se observa cómo se obtiene la amplitud en milímetros, en el segmento 13 se utilizan los resultados de los segmentos 11 y 12 multiplicados por la relación del reductor y témenos la referencia de velocidad en RPM del variador de frecuencia de la osciladora el cual en enviado mediante protocolo profibus.

Cabe indicar que el variador no puede recibir datos de con coma flotante por esta razón en este mismo segmento se realiza la conversión de número real a doble entero utilizaremos la marca MW2000 para almacenar este dato. La trama de comunicación profibus se puede encontrar en el anexo 10.

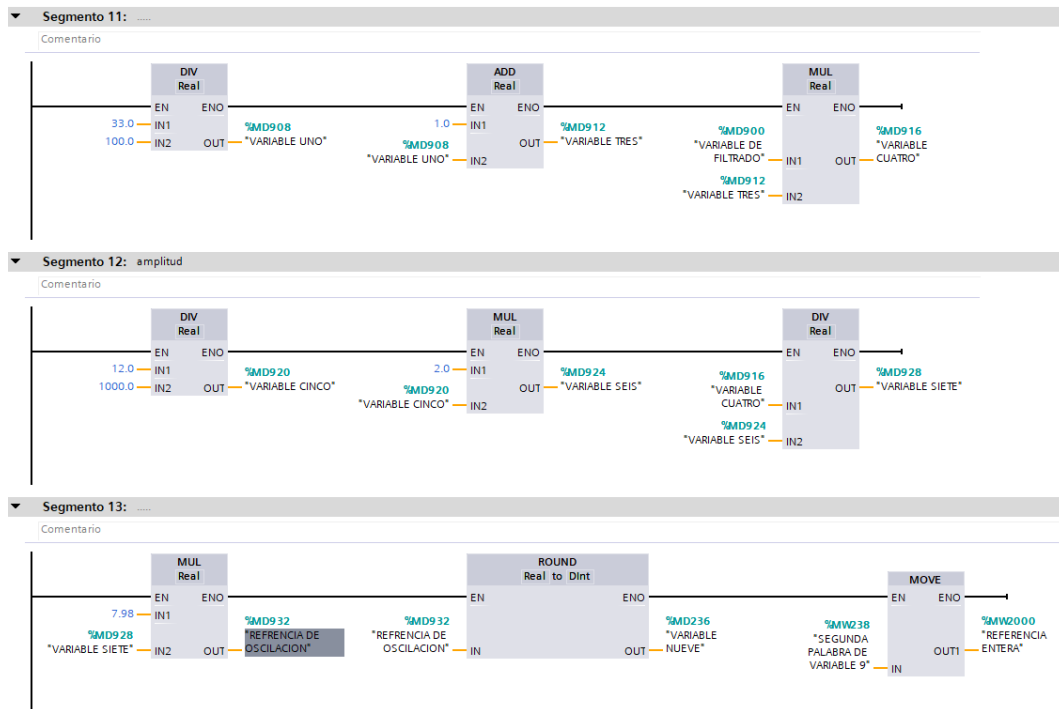


Fig. 30 Rutinas de cálculo para sincronización de velocidad osciladora

Elaborado por: Trajano Espinosa.

De igual manera para la sincronización de velocidad de enderezadora, extractor uno y dos se realiza el cálculo de referencia en el plc y luego se lo envía mediante profibus a los variadores de frecuencia, en la Figura 31, segmento 14 se programó el cálculo de la referencia dividido para la relación del reductor y este resultado multiplicado por el diámetro del rodillo, en el segmento 15 se divide los resultados de las operaciones realizadas en el segmento 14.

De igual manera en el segmento 15 como el variador no puede recibir datos de coma flotante por esta razón se realiza la conversión de número real a doble entero, utilizaremos la marca MW2002 para almacenar este dato

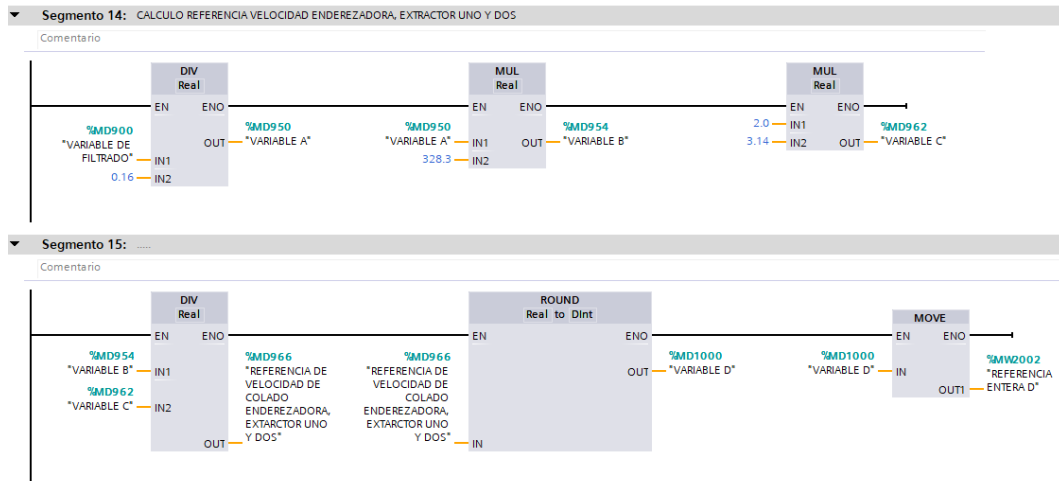


Fig. 31 Rutinas de cálculo para sincronización de velocidad enderezadora, extractor uno y dos

Elaborado por: Trajano Espinosa.

Como se explicó en el paso anterior para la sincronización de velocidad de enderezadora, extractor uno y dos. De la misma manera se realiza para el motor de falsa barra, el cálculo de referencia en el plc y luego se lo envía mediante profibus a los variadores de frecuencia, en la Figura 32, segmento 16 se programó el cálculo de la referencia dividido para la relación del reductor y este resultado multiplicado por el diámetro del rodillo, en el segmento 17 se divide los resultados de las operaciones realizadas en el segmento 16.

De igual manera en el segmento 17 como el variador no puede recibir datos de coma flotante por esta razón se realiza la conversión de número real a doble entero, utilizaremos la marca MW2006 para almacenar este dato, se debe tener en cuenta que esta velocidad es referencia únicamente hasta cuando el lingote es separado por la enderezadora de la falsa barra, cuando esto ocurre la falsa barra se acelera y continua con su rutina de estacionamiento.

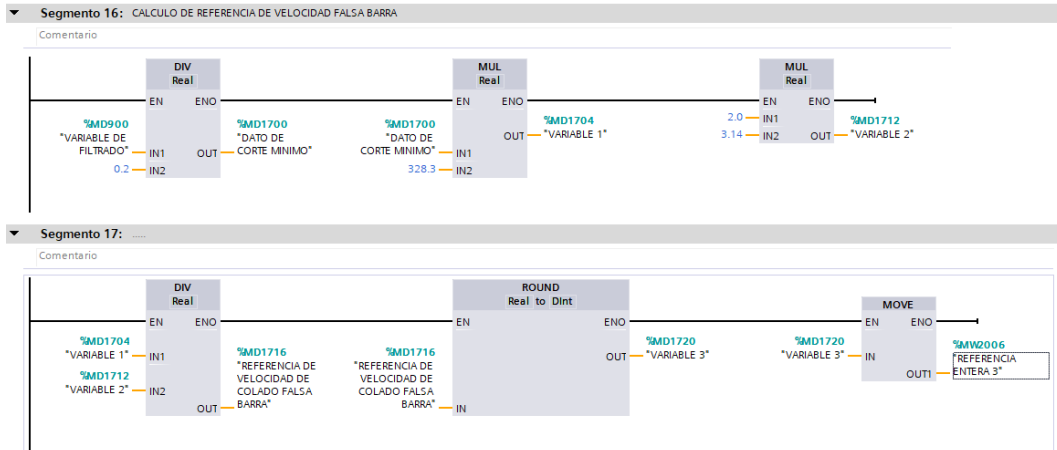


Fig. 32 Rutinas de cálculo para sincronización de velocidad falsa barra

Elaborado por: Trajano Espinosa.

6.9.5 CONFIGURACION VDF SCHNEIDER.

Al usar un variador de frecuencia se debe configurar por lo menos los parámetros básicos con el fin de tener el correcto funcionamiento del equipo y por ende de la máquina.

En este caso en particular vamos hablar del Altivar ATV312 (Figura 33) con comunicación profibus. En el Anexo B, podemos encontrar la tabla de parámetros básicos, la instalación y conexión de la tarjeta de comunicación profibus y cómo definir la dirección del esclavo.



Fig. 33 Variador de Velocidad ATV312

Elaborado por: Manual de usuario ATV312

A más de configurar los parámetros básicos en el variador es necesario indicar que hay que configurar los siguientes parámetros para que se pueda comunicar por medio de profibus.

Debemos acceder a la sección de parámetros de control en el navegador del variador luego entrada al parámetro LAC en el cual debemos seleccionar la opción L3 que es el acceso a nivel experto, luego navegamos al siguiente parámetro que es el Fr1 en el cual debemos seleccionar la opción nET esto habilita la comunicación por red luego de esto seguimos a la opción de perfil CHCF en la que debemos seleccionar la opción SIN que es un valor de fábrica. Con esto el variador está listo para comunicarse mediante profibus.

Al agregar el dispositivo referente al ATV312 en la configuración de dispositivos del TIA Portal, en la vista general del dispositivo se puede ver las propiedades del ATV312 tomar muy en cuenta las palabras en el círculo rojo ya que estas son las palabras de control del variador de frecuencia. QW264 y QW266.

Para comenzar con la rutina de programación del VDF debemos tener claro que la primera salida (QW264) es por la cual enviaremos los comandos de control al variador y la segunda salida (QW266) es por donde enviaremos la velocidad de referencia del variador. Debe tenerse en claro que estas palabras pondrán tener cualquier dirección asignada entre 0 a 2044. Observar en la Figura 34 y Tabla 5.

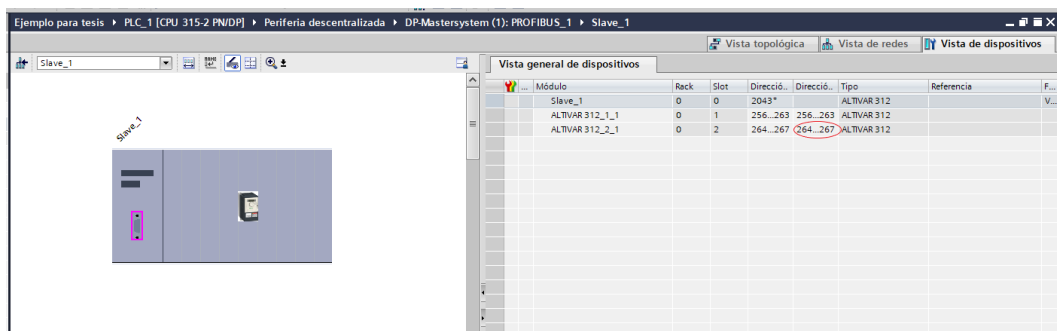


Fig. 34 Configuración de direcciones de comunicación del ATV312

Elaborado por: Trajano Espinosa.

.Tabla 5. Para el Telegrama de control del VDF es el siguiente:

ADELANTE	REVERSA	CONTROL
HEX 0006	HEX 0006	VDF ESTA LISTO PARA ARRANCAR
PAUSA	PAUSA	TIEMPO ENTRE COMANDOS
HEX 0007	HEX 0007	PARADA ACTIVA
PAUSA	PAUSA	TIEMPO ENTRE COMANDOS
HEX 000F	HEX 080F	DIRECCION DE LA OPERACIÓN

Elaborado por: Trajano Espinosa.

Teniendo presente y clara la información de la tabla anterior procedemos con la programación de la secuencia de control del VDF mediante comunicación profibus con la ayuda de un maestro S7-300. En la Figura 35 se indica la declaración de variables en bloque de función.

CONTROL VDF					
	Nombre	Tipo de datos	Offset	Valor predet.	Comentario
1	Input				
2	ADELANTE	Bool			
3	ATRAS	Bool			
4	PARAR	Bool			
5	RESET	Bool			
6	REF. ADELANTE	Int			
7	REF. ATRAS	Int			
8	Output				
9	SALIDA 1	Word			
10	SALIDA 2	Word			
11	InOut				
12	<Agregar>				
13	Temp				
14	TEMPORAL 1	Bool	0.0		
15	TEMPORAL 2	Bool	0.1		
16	TEMPORAL 3	Bool	0.2		
17	ESPERA 1	Bool	0.3		
18	ESPERA 2	Bool	0.4		
19	ESPERA 3	Bool	0.5		
20	Constant				
21	<Agregar>				
22	Return				
23	CONTROL VDF	Void			

Fig. 35 Creación de variables para desarrollo de un FC de comunicación profibus con ATV312

Elaborado por: Trajano Espinosa.

Los telegramas profibus para el control de los variadores se los puede ver en el Anexo C. Para evitar un programa muy grande por cada VDF utilizado en este proyecto se creó un bloque de función FC. Figura 36

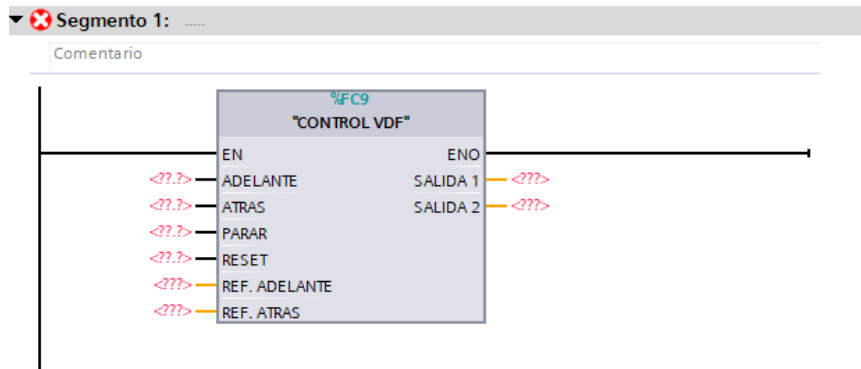


Fig. 36 Llamada de un FC para controlar un VDF desde un FB

Elaborado por: Trajano Espinosa.

En la Figura 37 se puede ver como se utiliza el bloque creado dentro de un OB o un FB.

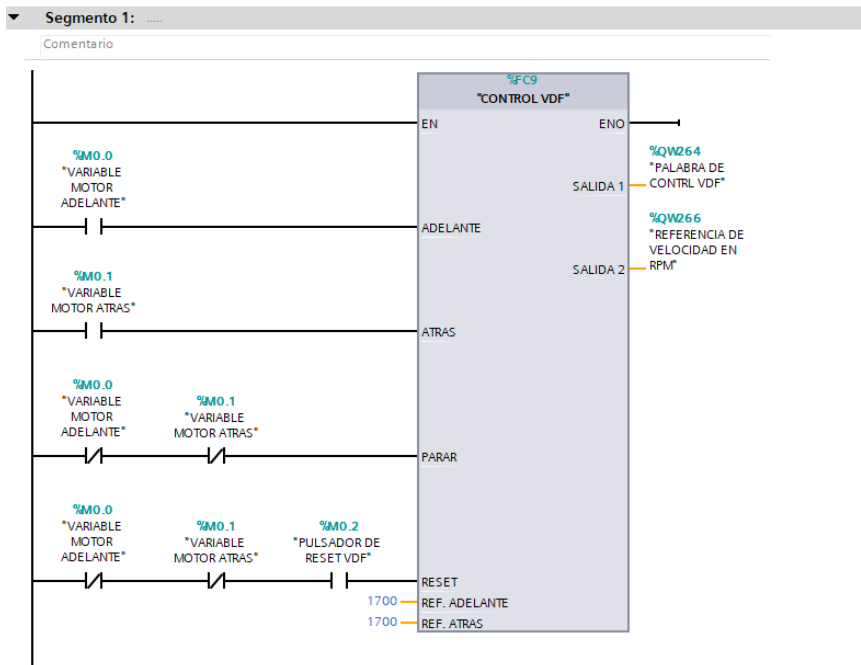


Fig. 37 Uso de un FC para control de un ATV312

Elaborado por: Trajano Espinosa.

6.9.7 SECUENCIA OPERATIVA MCC.

INSERCIÓN.

Acción Operador:

Manda el sistema introducción falso lingote. AUTOMATICO.

Presione el pulsador inserción Verde

Acción PLC:

- Alimentación de la electroválvula que manda el levantamiento del brazo de aparcamiento falso lingote.
- Abre el freno de estacionamiento fr02
- Marcha adelante motor M04 (alta velocidad). (Figura 38).

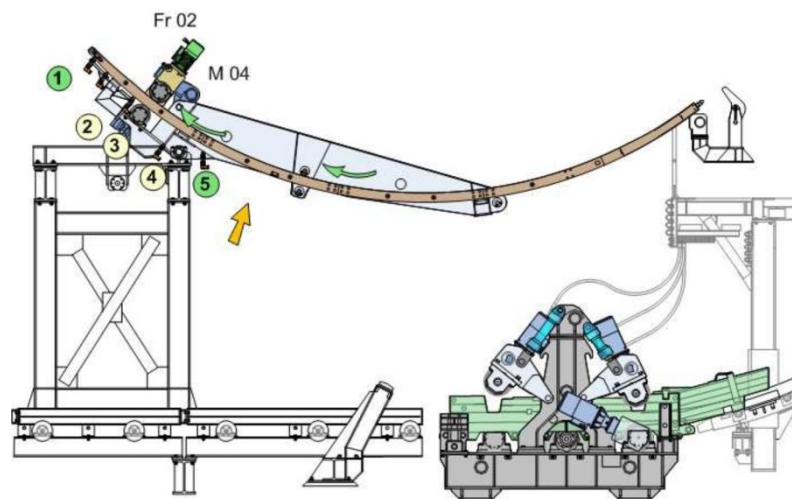


Fig. 38 Introducción falso lingote

Elaborado por: Sidertech.

Acción PLC:

Detector de posición 2

- Quitar tensión a la electroválvula que manda el levantamiento del brazo de aparcamiento falso lingote.
- Cierra el freno de estacionamiento fr02
- Parar la marcha adelante motor M04 (alta velocidad)

- Alimentación de la electroválvula que manda la bajada por el brazo de aparcamiento falso lingote. (Figura 39).

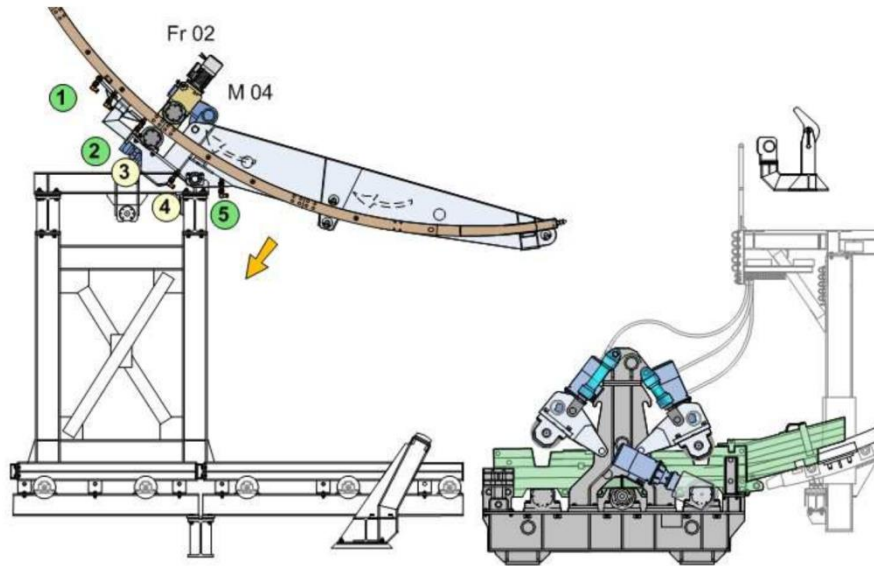


Fig. 39 Levantamiento del brazo de aparcamiento

Elaborado por: Sidertech.

Detector de posición 4.

- Quitar tensión Alimentación de la electroválvula que manda la bajada el brazo de aparcamiento falso lingote.
- Alimentación de la electroválvula S# 2.1 que manda la subida do rodillo extractor.
- Alimentación de la electroválvula S# 4.1 que manda la subida do rodillo extractor.
- Alimenta y abre el freno de estacionamiento Fr02.
- Marcha atrás motor M04 (alta velocidad). (Figura 40).

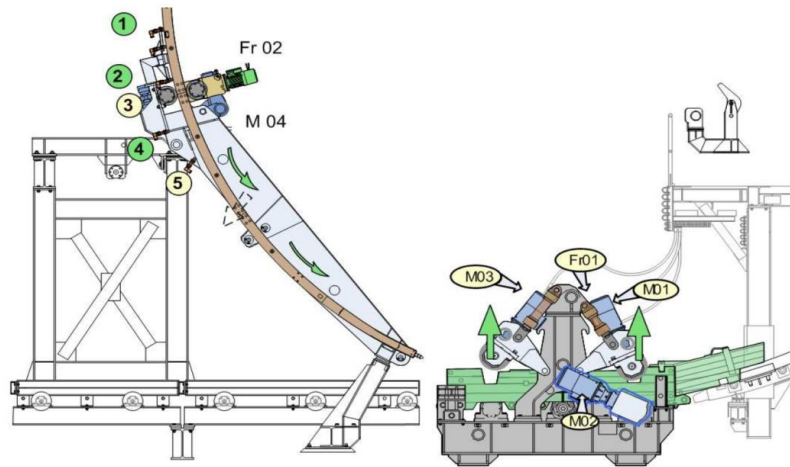


Fig. 40 Bajada el brazo de aparcamiento falso lingote

Elaborado por: Sidertech.

Detector de posición 1.

- Quitar tensión de alimentación por el freno de estacionamiento Fr02.
- Paro por la Marcha atrás motor M04
- Quitar tensión de alimentación por la electroválvula S# 2.1 que manda la subida de lo rodillo extractor.
- Alimentación por la electroválvula S# 2.2 que manda la bajada de lo rodillo extractor. (Figura 41).

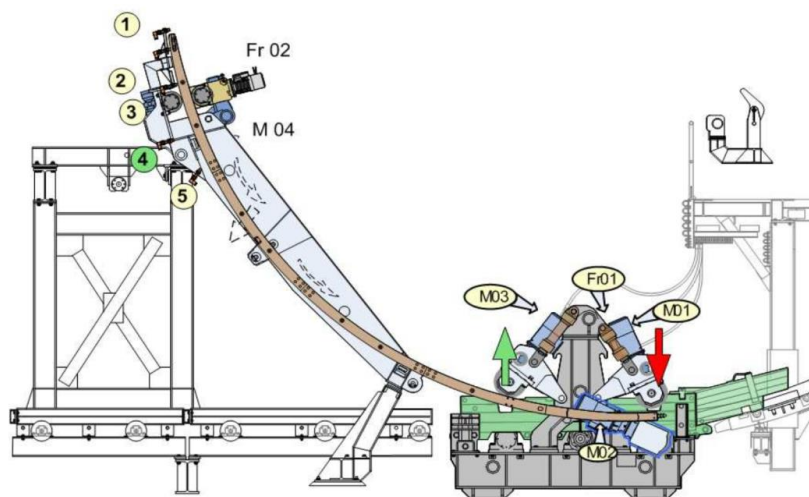


Fig. 41 Inserción Falso lingote.

Elaborado por: Sidertech.

Al decaer el tiempo (Tp A1 para retardar el paso 5 (paso) siguiente. (unos 5 “ seg).

- Alimenta y abre el freno de estacionamiento Fr01
- Alimenta y abre el freno de estacionamiento Fr02
- Marcha atrás de los 4 motores M01-M02-M03-M04 (velocidad sincronizada estimada 4 m/min). (Figura 42).

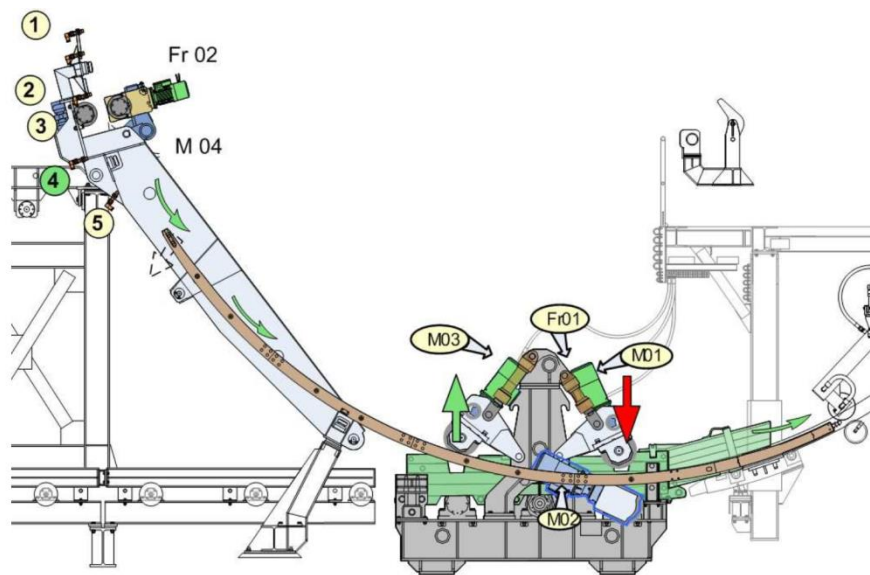


Fig. 42 Temporización para inserción Falso lingote en el molde.

Elaborado por: Sidertech.

Al decaer do tiempo Tp A2) para parar automáticamente la cabeza del falso lingote de bajo de la lingotera.

- Quitar tensión de alimentación por los frenos de estacionamiento Fr01 y Fr02.
- Paro por la Marcha atrás de los motores M01-M02-M03-M04. (Figura 43).

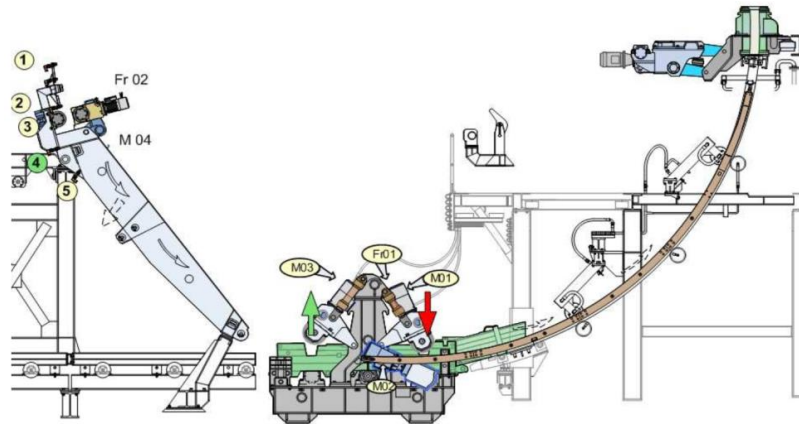


Fig. 43 Inserción Falso lingote en el molde
Elaborado por: Sidertech.

EXTRACION.

- Lámpara blanca encendida listo para colar
- Botones pulsadores luminosos blancos encendidos (para indicar el sistema hidráulico selecto en alta presión). (Figura 44).
- Botón pulsador luminoso blanco encendido (para indicar el rodillo extractor BAJO)
- Secuencia de permiso de colado activada. (Figura 45).

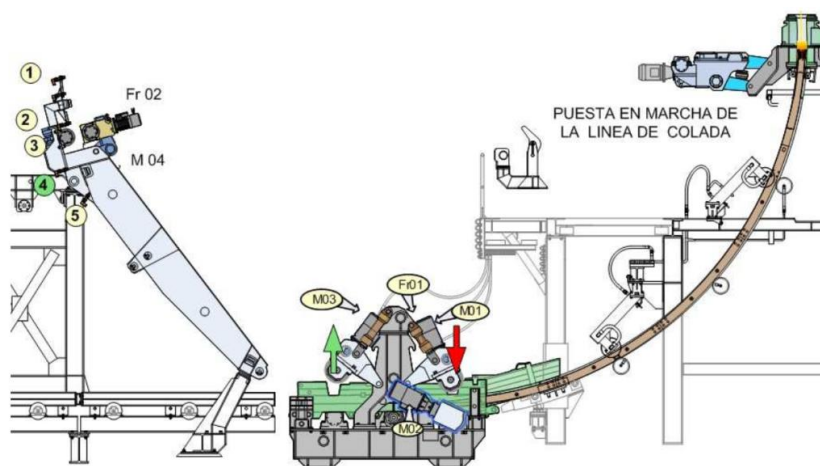


Fig. 44 Secuencia de permiso de colado activada.

Elaborado por: Sidertech.

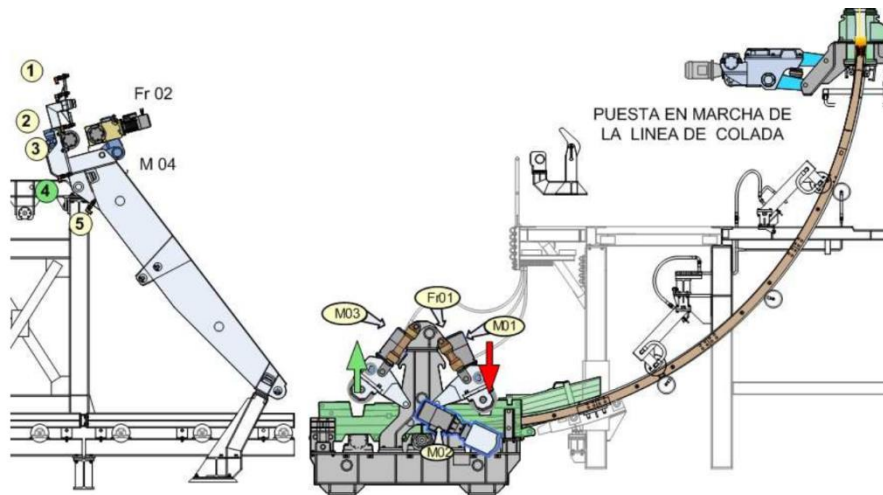


Fig. 45 Puesta en Marcha de la línea de colado.

Elaborado por: Sidertech.

Acción Operador:

- Presione el botón pulsador luminoso Verde
- Ø Lámpara verde encendida cuando el sistema PLC está listo para controlar el movimiento del falso lingote en Manual
- Accione lo Potenciómetro - fuera de la posición de cero

Acción PLC.

- Alimenta y abre los frenos d'estacionam. Fr01 Fr02
- Marcha adelante dirección colada de los 4 motores M01-M02-M03-M04 (velocidad sincronizada)
- Alimentación por la electroválvula S# 2.2 que manda la bajada de lo rodillo extractor. (Figura 46).

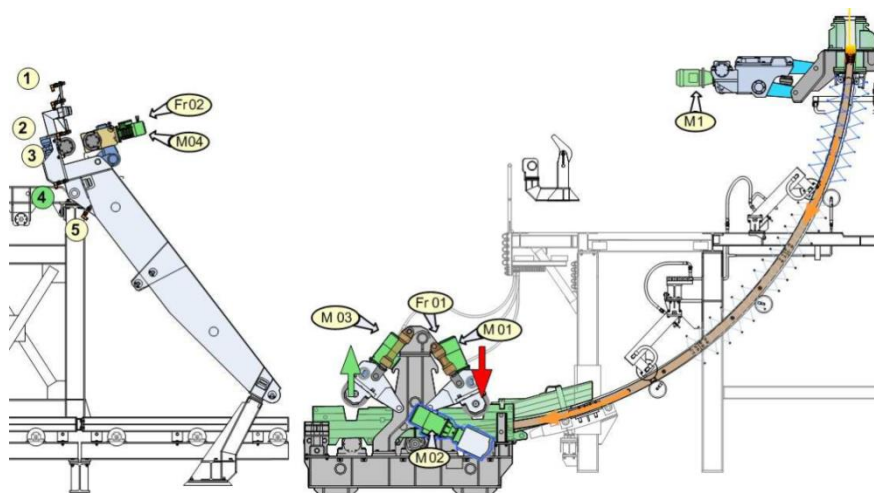


Fig. 46 Arranque de los 4 motores.

Elaborado por: Sidertech.

Potenciómetro - fuera de la posición de cero.

- Con la finalidad y objetivo de arrastrar o de sustentar correctamente y de evitar deslizamientos del falso lingote, a la puesta en marcha de la línea de colada el sistema de automoción PLC tiene que prever el arranque y la sincronización de velocidad de los siguientes motores: (Figura 47).

M 1: oscilación

M 01 – M 02: extractor

M 03 : enderezador

M 04 :arrastre falso lingote

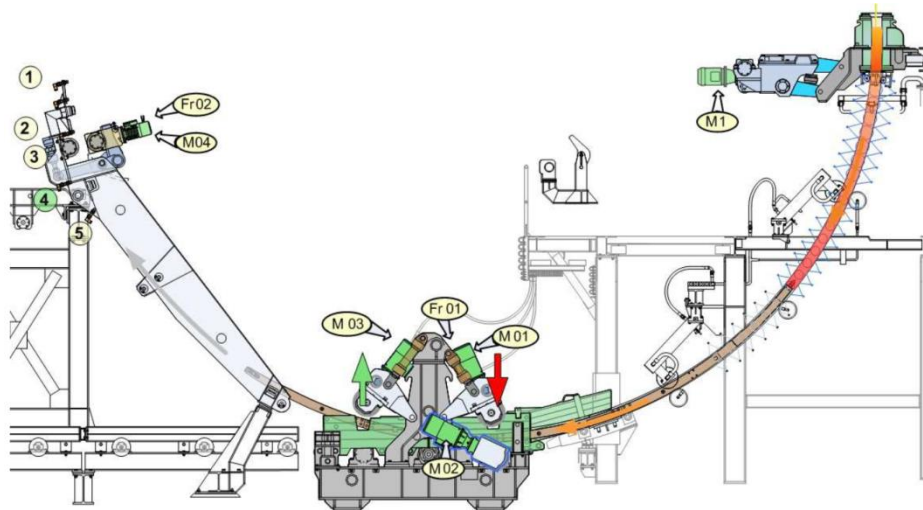


Fig. 47 Sistema de extracción en automático.

Elaborado por: Sidertech.

Potenciómetro - fuera de la posición de cero.

DETECTORES MAGNÉTICOS (Proxi).

Pr 4 detector accionado, con brazo o telar de estacionamiento en bajo.

Pr 1 detector accionado, con falso lingote dentro de los rodillos de estacionamiento

Pr 3 detector se acciona con falso lingote en la posición de separación.

- Alimentación por la electroválvula S# 4.1 que manda la bajada de lo rodillo enderezador.
- Contactor de medidas milímetros para sincronizar los siguientes movimientos. (Figura 48).

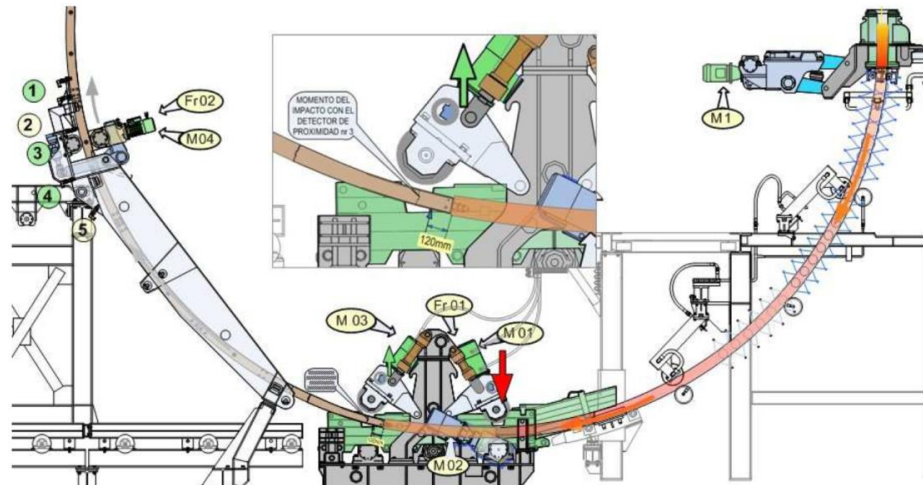


Fig. 48 Separación de falso lingote.

Elaborado por: Sidertech.

Secuencia AUTOMÁTICA SEPARACIÓN

Por la separación do falso lingote y por el ciclo de aparcamiento

- Alimentación por la electroválvula S# 4.1 que manda la bajada de lo rodillo enderezador.
- 3 Ø Lámpara BLANCA encendida sistema de aparcamiento en bajo
- 13 Ø Lámpara BLANCA encendida rodillo separador bajado. (Figura 49).

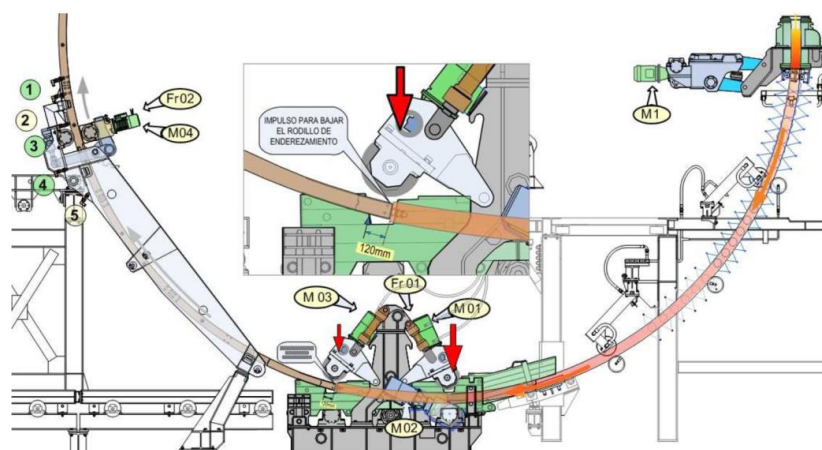


Fig. 49 Activación rodillo enderezador

Elaborado por: Sidertech.

Secuencia AUTOMÁTICA SEPARACIÓN

- Con el PLC los cuatro motores son controlados y sincronizados a la misma velocidad, de este momento el motor Nr 4 es acelerado a una velocidad fija acerca de (4 m/min). (Figura 50).

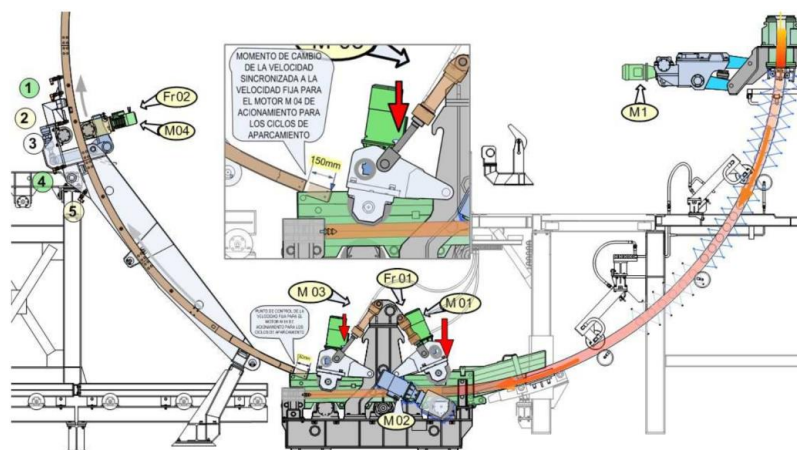


Fig. 50 Cambio de Velocidad motor 4.

Elaborado por: Sidertech.

Secuencia AUTOMÁTICA SEPARACIÓN

- Con el PLC a ir determinada la posición ideal por el cambio de presión ALTA en BAJA por palanquilla. (Figura 51).

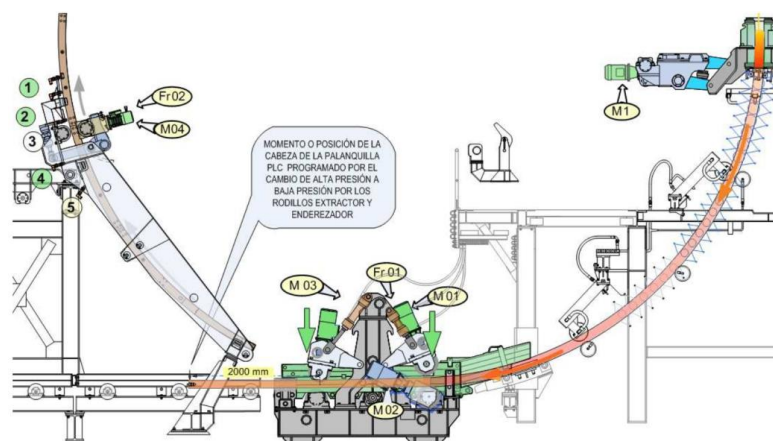


Fig. 51 Cambio de Presión

Elaborado por: Sidertech.

Secuencia AUTOMÁTICA SEPARACIÓN

Pr 2 detector se acciona con falso lingote en la posición de levantamiento del brazo de aparcamiento.

- Dar tensión a la electroválvula que manda el levantamiento del brazo de aparcamiento falso lingote.
- Cierra el freno de estacionamiento fr02 Parar la marcha adelante motor M04
- Alimentación de la electroválvula que manda la subida por el brazo de aparcamiento falso lingote.
- La lámpara del botón pulsador (2) en fase de subida relampaguea.
- Queda encendida fija con el detector (5) activado. (Figura 52).

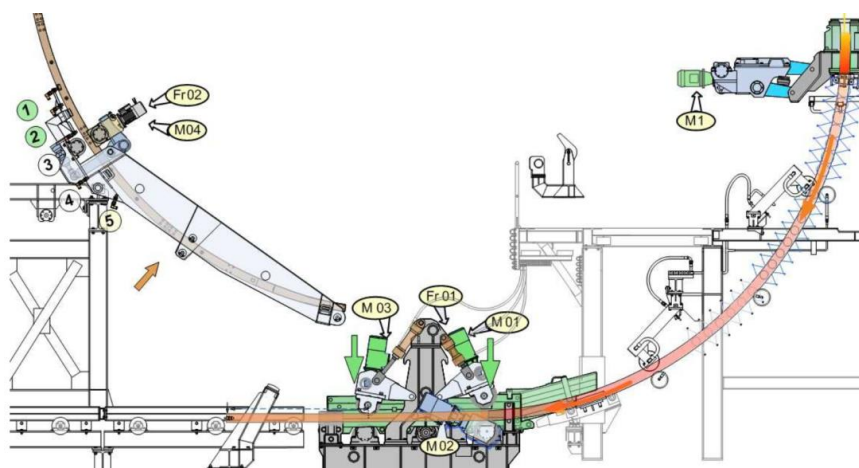


Fig. 52 Subida de brazo y aparcamiento del falso lingote.

Elaborado por: Sidertech.

Secuencia AUTOMÁTICA SEPARACIÓN

Pr 5 detector se acciona con brazo de aparcamiento falso lingote en la posición todo levantado

- Mantener en tensión la electroválvula que manda el levantamiento del brazo de aparcamiento falso lingote.
- Abrir el freno de estacionamiento fr02.
- Marcha atrás a velocidad fija motor M04 (4m/min).

- Activación de un temporizador (Tp A5) para parar automáticamente la cabeza del falso.
- lingote sobre el rodillo de sustentar en posición de aparcamiento.

6.9.8 IMPLEMENTACION DEL HMI.

La implementación de un HMI es muy necesaria para el proceso, ya que es vital que el operador pueda conocer los estados de la máquina, estar consciente de que exista una alarma de proceso o de funcionamiento de dispositivos, esto no solo puede ayudar a evitar mal funcionamiento del proceso no evitar defectos de productos y hasta accidentes.

CONVENIO DE COLORES HMI.

De la siguiente manera se visualizan las señales de los dispositivos del hmi en la figura 53 se puede observar los colores utilizados se los represento con motores pero aplica para todos los dispositivos incluidos en el HMI.


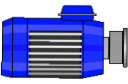
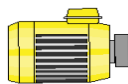
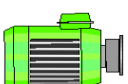
ESTADO	COLOR
Motor sin alimentación.	
Motor en falla.	
Motor listo para arrancar	
Motor arrancando.	
Motor trabajando.	

Fig. 53 Convenio de colores para HMI.

Elaborado por: Trajano Espinosa

Para el desarrollo del HMI es muy importante conocer la magnitud de sistema a desarrollas esto significa tener presente la cantidad de tag's que vamos a manejar, así como la distribución de las pantallas a crear.

En la Figura 54 y Figura 56 tenemos los diagramas de navegación de los HMI, tendremos dos pantallas:

- **HMI osciladoras y sistemas de colada.**- Esta es la pantalla principal del primer HMI en este encontraremos las variables y botones de mando de las osciladoras, enderezadoras, extractores, coches cucharas, carro tundish y botones de navegación para poder pasar a las pantallas secundarias
- **HMI Central Hidráulica enderezadora y lubricación de molde.**- En esta pantalla podemos encontrar las variables y botones de mando de las central hidráulica de lubricación de moldes, central hidráulica de movimientos de enderezadoras, falsa barra, extractor de vapor y botones de navegación para las demás pantallas.
- **HMI Central Hidráulica mesa de evacuación.**- En esta pantalla podemos encontrar las variables y botones de mando de las central hidráulica de mesa de evacuación, movimientos de brazos y botones de navegación para las demás pantallas.
- **HMI Camino de rodillos y mesa de evacuación.**- En esta pantalla podemos encontrar las variables y botones de mando de todos los caminos de rodillos de la mesa de evacuación y botones de navegación para las demás pantallas.
- **HMI Sistema de corte.**- En esta pantalla podemos encontrar variables del sistemas de corte ahí podemos monitorear sus partes como son antorcha, carro de corte, válvulas del sistemas de corte y botones de navegación para las demás pantallas.
- **HMI Enfriamiento de molde.**- Este es la pantalla principal del otro HMI en este podemos visualizar presiones, temperaturas, flujos, nivel del tanque de emergencia, estado de las válvulas de emergencia de enfriamiento del molde y botones de navegación para las demás pantallas.

- **HMI Enfriamiento abierto.**- En esta pantalla podemos visualizar presiones, temperaturas, flujos del circuito abierto y botones de navegación para las demás pantallas.

DIAGRAMAS DE NAVEGACIÓN DE HMI PRINCIPAL.

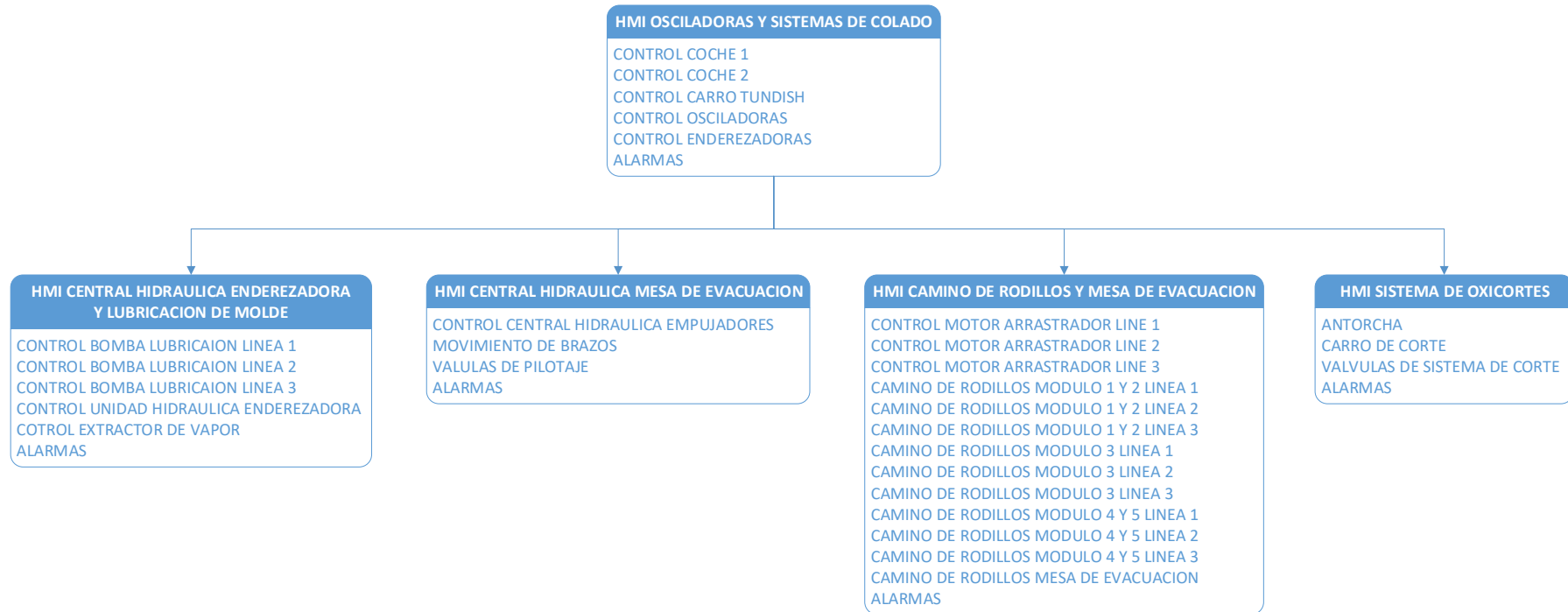


Fig. 54 Diagrama de navegación de HMI principal.

Elaborado por: Trajano Espinosa.

DIAGRAMAS DE NAVEGACIÓN DE HMI ENFRIAMIENTO.

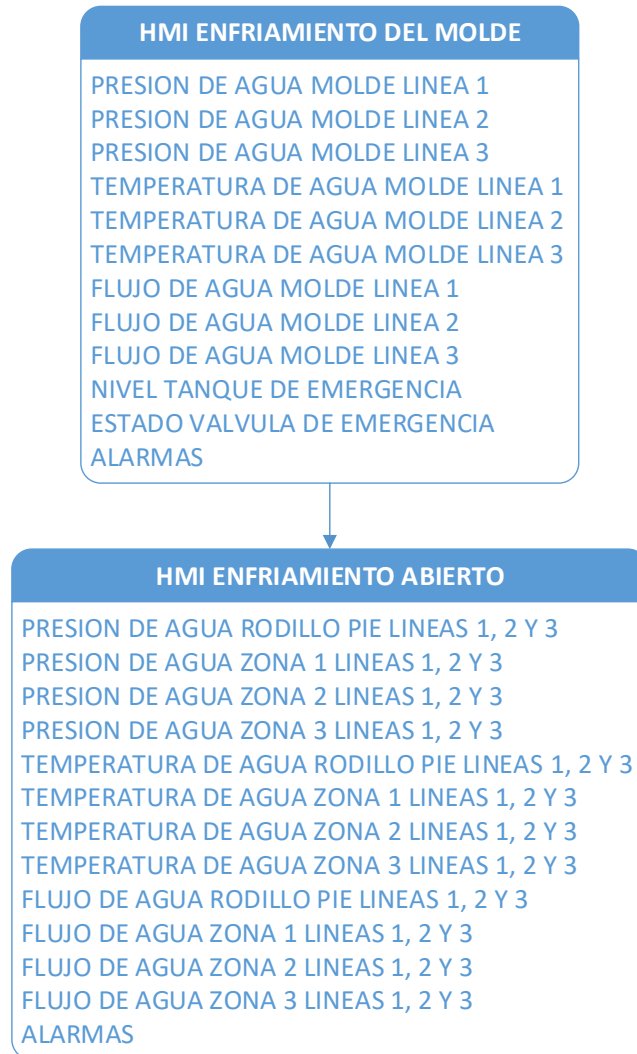


Fig. 55 Diagrama de navegación de HMI de enfriamiento.

Elaborado por: Trajano Espinosa.

Para el desarrollo del HMI se utiliza la norma ISA101, en la cual se basa para cumplir con todos los detalles y exigencias de la misma. A continuación se detalla los puntos más importantes utilizados de la norma.

- **Consola.-** El hardware, software y mobiliario o caja en el que los usuarios monitorean y / o controlan el proceso, que puede incluir múltiples estaciones, dispositivos de comunicación y otros dispositivos (por ejemplo, cámaras, Dispositivos de código de barras, estaciones de pulsadores). Norma ISA101, numeral 3.1.9. Figura 56.



Fig. 56 Consola principal de máquina de solidificación continua del acero.

Elaborado por: Trajano Espinosa.

- **Tablero.-** Un resumen gráfico que muestra varias piezas de información importante que normalmente se utiliza para dar una Visión general de un proceso o parte de un proceso. Norma ISA101, numeral 3.1.13. figura 57.



Fig. 57 Tablero de mando de máquina de solidificación continua del acero.

Elaborado por: Trajano Espinosa.

- **Ventana de Gráficos.-** Una representación visual del proceso y la información relacionada utilizada por el operador para el monitoreo y control. Norma ISA101, numeral 3.1.14. figura 58.

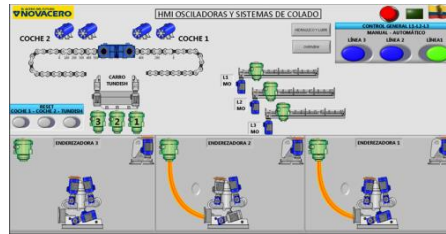


Fig. 58 Ventana de gráficos HMI .

Elaborado por: Trajano Espinosa.

- **Resolución.-** El tamaño y la densidad de píxeles de la pantalla, generalmente especificados por el número de verticales y horizontales Pixeles (por ejemplo, 1024 horizontal x 768 vertical) y la dimensión diagonal. La resolución la finura de los detalles que se pueden distinguir en una imagen en una pantalla determina. Norma ISA101, numeral 3.1.30. figura 59.



Fig. 59 Resolución HMI.

Elaborado por: Trajano Espinosa.

- **Scada.-** Un sistema de monitoreo y control de procesos geográficamente extendidos. Esto incluye Todos los equipos y funciones para adquirir,

procesar, transmitir y mostrar los equipos necesarios. procesar información. Norma ISA101, numeral 3.1.38. figura 60.

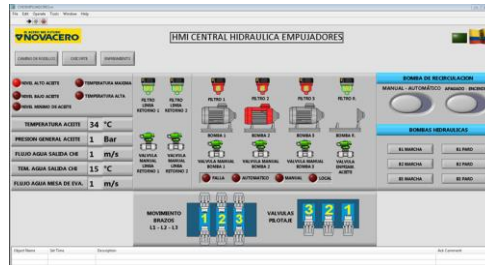


Fig. 60 SCADA máquina de solidificación continua del acero.

Elaborado por: Trajano Espinosa.

- **Etiquetas.-** El identificador único asignado a una medición de proceso, estado, cálculo, dispositivo u otra entidad dentro de la HMI o el controlador. Norma ISA101, numeral 3.1.39. figura 61.

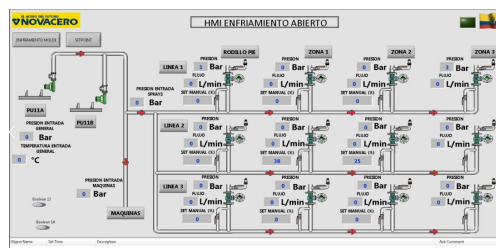


Fig. 61 Tamaño de etiquetas en HMI.

Elaborado por: Trajano Espinosa.

- **Tendencias.-** Una característica para mostrar datos en tiempo real y / o históricos en varios formatos de gráficos, generalmente con respecto al tiempo. Norma ISA101, numeral 3.1.42. figura 62.

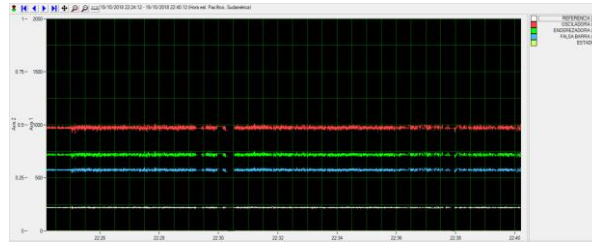


Fig. 62 Grafico de tendencias en HMI.
Elaborado por: Trajano Espinosa.

- **Colores.-** Las deficiencias de percepción del color (por ejemplo, ceguera al color o deficiencias relacionadas con la edad) y la presentación visual de las combinaciones de colores deben considerarse durante el diseño. Los tipos comunes de ceguera al color incluyen rojo-verde, verde-amarillo y blanco-cian. Se debe utilizar un contraste diferencial y brillo apropiados. Los colores elegidos deben ser distinguibles entre sí por la población de usuarios, generalmente involucrando pruebas de usabilidad. Como regla general, el color debe usarse para enfatizar información clave como alarmas y condiciones anormales. Norma ISA101, numeral 5.2.1.2. figura 63.

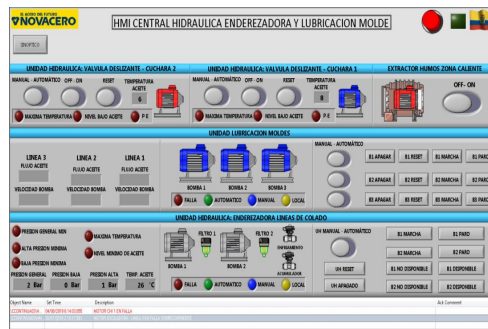


Fig. 63 Colores usados en el HMI.
Elaborado por: Trajano Espinosa.

- **Color de fondo.-** Los siguientes elementos se relacionan con las interacciones de fondo-primero plano: a) El fondo debe ser de un color insaturado o neutro (por ejemplo, gris claro) para limitar las distorsiones

cromáticas y garantizar la prominencia de la información mostrada. Por ejemplo, en la mayoría aplicaciones, se debe evitar el uso de colores de fondo que pueden causar un contraste excesivo (por ejemplo, negro). Norma ISA101, numeral 5.2.1.2 literal a. figura 64.

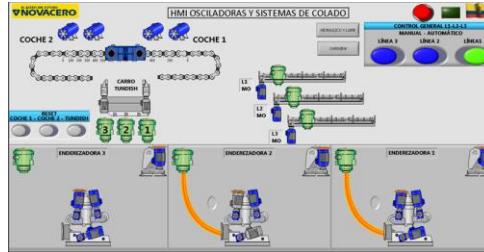


Fig. 64 Colores de fondo de HMI.

Elaborado por: Trajano Espinosa.

- **Texto.-** El texto debe justificarse con la dirección de lectura normal para la población de usuarios. Se ha demostrado que las letras de casos mixtos o de títulos son más fáciles de leer que en mayúsculas y se deben usar en general. Si se requiere un párrafo, el ancho del texto debe ser lo suficientemente ancho para un escaneo rápido. Se debe tener cuidado al usar mayúsculas para enfatizar, ya que el texto en mayúsculas es más difícil de escanear. Las palabras sueltas y las frases cortas se pueden escribir en mayúsculas, pero los párrafos o páginas completos generalmente no deben escribirse en mayúsculas. Norma ISA101, numeral 7.2.1.3. figura 65.



Fig. 65 Texto en el HMI.

Elaborado por: Trajano Espinosa.

- **Alarmas.-** De acuerdo con la filosofía de alarma de la instalación y ANSI / ISA-18.2-2009, los colores utilizados para la presentación de alarmas deben reservarse y no deben utilizarse para ningún otro propósito a fin de fortalecer su significado cognitivo y la velocidad de respuesta del operador a las

alarmas. No se debe confiar en el color como único indicador de una condición importante. La codificación de colores debe ser redundante a otros medios para presentar la información incluyendo, sin limitación, forma, texto, brillo, tamaño y textura. La selección de colores utilizados en una pantalla debe reflejar la importancia de la información presentada. Los colores más notables de una pantalla se deben usar para la información más importante. La información importante debe ser más notoria que la información menos importante. Norma ISA101, numeral 5.2.1.2. figura 66.

Object Name	Set Time	Description
\CCONTINUUA03VH...	04/08/2018 6:14:03.855	MOTOR CHI 1 EN FALLA
\CCONTINUUA03VHM...	30/07/2018 2:16:17.993	MOTOR OSCILADORA - LINEA 3 EN FALLA SOBRECORRIENTE

Fig. 66 Cuadro de dialogo de alarmas.

Elaborado por: Trajano Espinosa.

- **Botones.-** De acuerdo a la norma el uso de botones debe ser:
- El texto de la etiqueta del botón debe ser claro para los usuarios y estar claramente asociado con el botón, ya sea en o cerca del botón.
 - Los botones deben tener un tamaño lo suficientemente grande como para permitir a los usuarios seleccionarlos de manera rápida y precisa con el dispositivo señalador en uso. Norma ISA101. 7.2.1.5 literales a y c. figura 67.

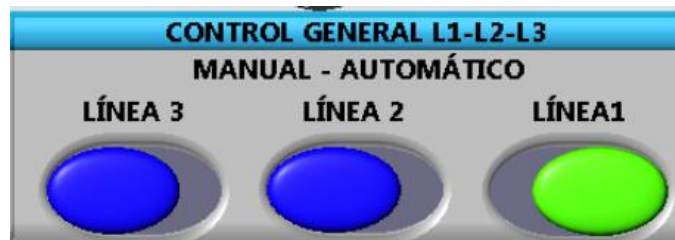


Fig. 67 Botones del HMI.

Elaborado por: Trajano Espinosa.

- **Navegación.-** Un esquema de navegación efectivo e intuitivo puede afectar directamente la velocidad y la precisión de la intervención del operador. Los conceptos básicos de diseño clave para la navegación son el rendimiento, la coherencia y la intuición. Dependiendo de los requisitos del usuario, se deben proporcionar múltiples métodos de navegación para mayor solidez y para facilitar un acceso rápido y consistente a las pantallas. Norma ISA101, literal 7.2.2.1. figura 68.

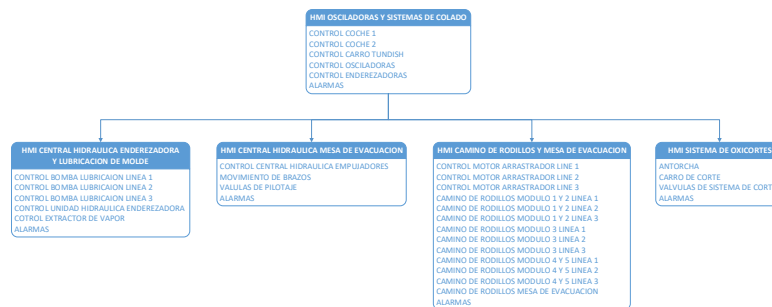


Fig. 68 Diagrama de navegación de HMI.

Elaborado por: Trajano Espinosa.

- **Tamaño.-** El tamaño del dispositivo HMI debe tener en cuenta la cantidad de datos mostrados, los métodos de ingreso de datos y la ubicación física en la consola, incluidos los dispositivos portátiles.

Las diferencias significativas en la relación de aspecto del hardware del monitor pueden requerir un soporte especial del kit de herramientas para garantizar la facilidad de uso en todo el hardware. La relación de aspecto de una imagen describe la relación entre su anchura y su altura. Norma ISA101, literal 7.3.2. Figura 69.



Fig. 69 Tamaño de componentes de un HMI.

Elaborado por: Trajano Espinosa.

- **Operación.-** La capacitación en operaciones debe incluir el uso del HMI para realizar las tareas operativas requeridas. Norma ISA101. Literal 9.11. figura 70

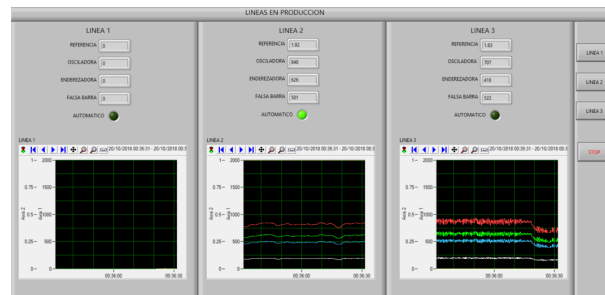


Fig. 70 HMI en operación.

Elaborado por: Trajano Espinosa.

6.9.9 SINCRONIZACIÓN ANTERIOR VS SINCRONIZACIÓN ACTUAL.

Para realizar la comparación entre lo anterior y lo actual se pueden tomar varios parámetros de análisis, entre los principales tenemos tiempos de paradas de producción por fallos, análisis de funcionamiento, simulación del comportamiento de los dos sistemas, costo de producción, y calidad.

En relación al porcentaje de paradas por problemas relacionados con el sistema de automatización, la mejora al implementarlo es realmente grande, esto debido a que se

redujo aproximadamente 800 minutos al año, esto significa 535 Toneladas más de producción. En la figura 71 tenemos las barras que indican los tiempos de paradas no programadas antes de la implementación del nuevo sistema.

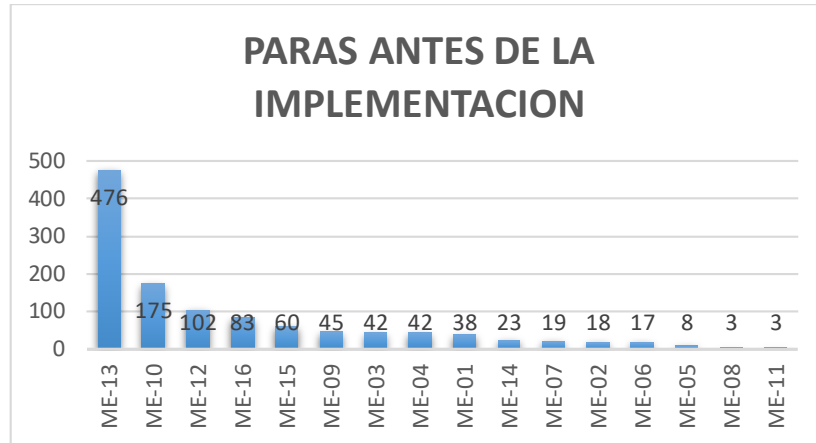


Fig. 71 Porcentaje de paras antes de la implementación.

Elaborado por: Trajano Espinosa.

Al comparar las paras de antes de la implementación y después de la implementación vemos en la figura 72, que la para más grande es la catalogada con código ME12 que es una para de un sistema que no depende de la planta que incluso el departamento de manteamiento es de otra área, el puente grúa es del tren de laminación que se encarga de sacar la palanquilla de la mesa de evacuación y llevársela a su bodega o cargar el horno de laminación, al fallar este la mesa se satura de producto terminando obligando a parar la producción por tal motivo las paras relacionadas a la automatización prácticamente desaparecieron.

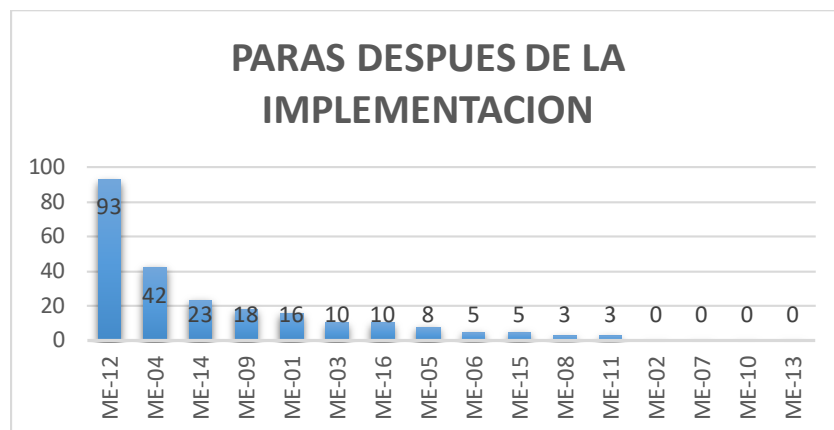


Fig. 72 Porcentaje de paras después de la implementación.

Elaborado por: Trajano Espinosa.

Las paras más grandes anteriormente se trataban de daños en los sistemas de cómputo que manejaban la automatización, ya sea por daño de hardware o software. En la tabla 6 se puede identificar claramente que las paras tenían relación al mal funcionamiento de equipos relacionados a la automatización ya sea daño de servidores o daños inidentificables de programación, los cuales se solucionaban contactando al proveedor de ese sistema de automatización.

Tabla 6. Catálogo de paras sincronización anterior.

CATALOGO DE PARAS COLADA CONTINUA SINCRONIZACION ANTERIOR														
CODIGO	DESCRIPCION	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
ME-01	Sistema de precalentamiento Tundish	20					18							38
ME-02	Movimiento de coches cucharas			12						6				18
ME-03	Centrales de valvula deslizando	5	4	3	5	2	3	7	5	2	2	1	3	42
ME-04	Permisivos flujo de agua	10				9				7		16		42
ME-05	Permisivos pulpito colador		3					5						8
ME-06	Enderezadoras no listas		4		3			7			2	1		17
ME-07	Sistema de corte	3	1		4			3			6	2		19
ME-08	Camino de rodillos		3											3
ME-09	Puentes grúa		20				25							45
ME-10	Mesa de evacuación									175				175
ME-11	Centrales mesa de evacuación			3										3
ME-12	Grúa Tren uno			18							65			83
ME-13	Sistemas Informáticos		240					213				23		476
ME-14	Sistema Automático					23								23
ME-15	Tarjetas electrónicas			35			12			13				60
ME-16	HMI		25		15			25				25	12	102

Elaborado por: Trajano Espinosa.

Actualmente se tiene para los sistemas auxiliares los parámetros para los sistemas de automatización casi han desaparecido. Tabla 7.

Tabla 7. Catálogo de parámetros de sincronización actual.

CATALOGO DE PARAS COLADA CONTINUA SINCRONIZACION ACTUAL														
CODIGO	DESCRIPCION	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
ME-01	Sistema de precalentamiento Tundish			16										16
ME-02	Movimiento de coches cucharas													0
ME-03	Centrales de valvula deslizando									10				10
ME-04	Permisivos flujo de agua	10				9				7		16		42
ME-05	Permisivos pulpito colador		3					5						8
ME-06	Enderezadoras no listas				3						2			5
ME-07	Sistema de corte													0
ME-08	Camino de rodillos		3											3
ME-09	Puentes grúa						18							18
ME-10	Mesa de evacuación													0
ME-11	Centrales mesa de evacuación			3										3
ME-12	Grúa Tren uno		23							70				93
ME-13	Sistemas Informáticos													0
ME-14	Sistema Automático					23								23
ME-15	Tarjetas electrónicas									5				5
ME-16	HMI				10									10

Elaborado por: Trajano Espinosa.

Se tomó como muestra la velocidad a la que normalmente se trabaja en la máquina de solidificación continua del acero y al comparar las curvas de nivel de trabajo en RPM de los 4 motores principales se puede ver como anteriormente la velocidad de la palanquilla no mantenían la relación en los cuatro motores, esto debido a que se usaba una constante mas no se aplicaban las ecuaciones necesarias para el correcto funcionamiento de la misma. Como se puede observar en la figura 73.

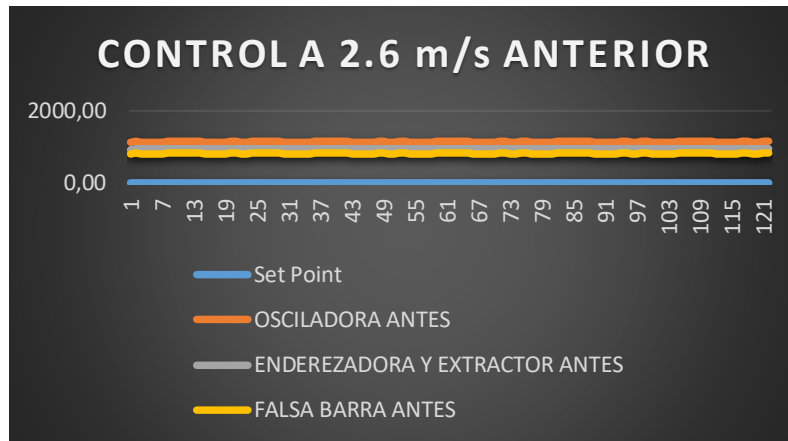


Fig. 73 Cálculo de la respuesta con la sincronización anterior.

Elaborado por: Trajano Espinosa.

En relación al comportamiento del sistema anterior y haciendo una comparación entre la figura 74 y 75 es muy notorio que la relación o diferencia entre la velocidad de los motores anteriormente es menor por lo que eso indica que los motores de enderezadora y extractores giraban más rápido de lo que debían por esta razón jalaban al lingote eso hacía que se generen desperfectos en el producto, también sobre esfuerzos en los motores que tenían que ser intervenidos con mayor frecuencia, esto también indica que cuando a mayor velocidad se produzca mayor será el error y por ende más problemas se presentaran.

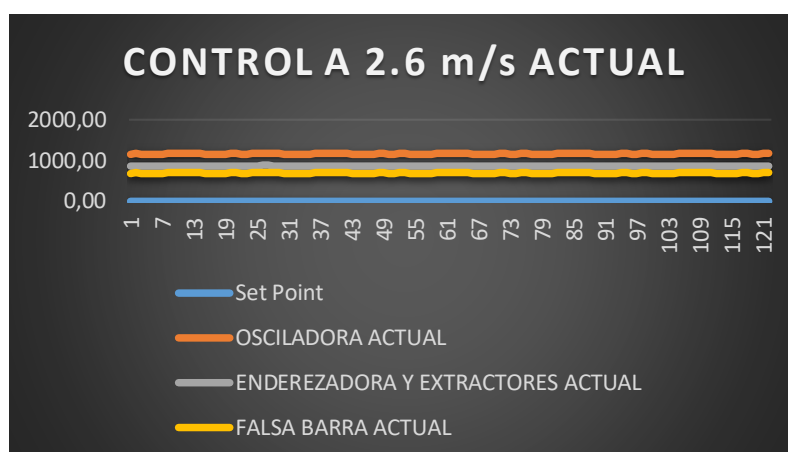


Fig. 74 Cálculo de la respuesta con la sincronización actual.

Elaborado por: Trajano Espinosa.

En la figura 75 se encuentran sobre puestas las curvas de sistemas de automatización anterior y del actual, las RPM en la Osciladora es casi igual en la sincronización anterior así como en la actual pero no sucede lo mismo con la enderezadora y los extractores con la sincronización anterior los motores giraban más rápido esto producía que se generen marcas en las palanquillas ya que la enderezadora y los extractores jalaban a la palanquilla, es decir no se tenía la misma velocidad en toda la línea.

Alrededor de 100 RPM más rápidas de lo que debían girar, En la falsa barra es aún más notorio la diferencia de velocidad eso explica porque anteriormente se tenía rotura en las bases de los motores y daños muy continuos en rodamientos tanto de motores como de reductores.

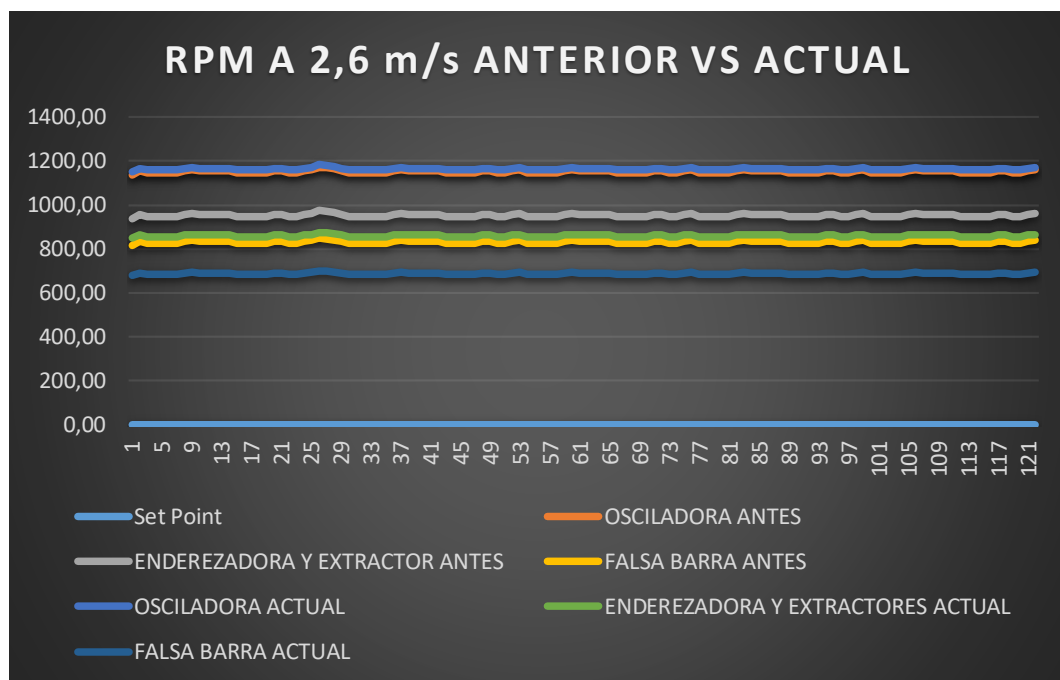


Fig. 75 Cálculo de la respuesta con la sincronización anterior vs. Actual.

Elaborado por: Trajano Espinosa.

En la sincronización anterior no se podía controlar a velocidades bajas es decir se debía necesariamente arrancar la línea a más de 1 m/s, esto significa que se debía tener un arranque brusco ya que de 0m/s debía ir inmediatamente a 1 m/s, y como

se explicó anteriormente en la figura 76 se observa que la sincronización es casi lineal mientras va aumentando la velocidad de oscilación las otras velocidades se van incrementado en la misma proporción esto no es correcto de acuerdo a la simulación efectuada con las ecuaciones desarrolladas.

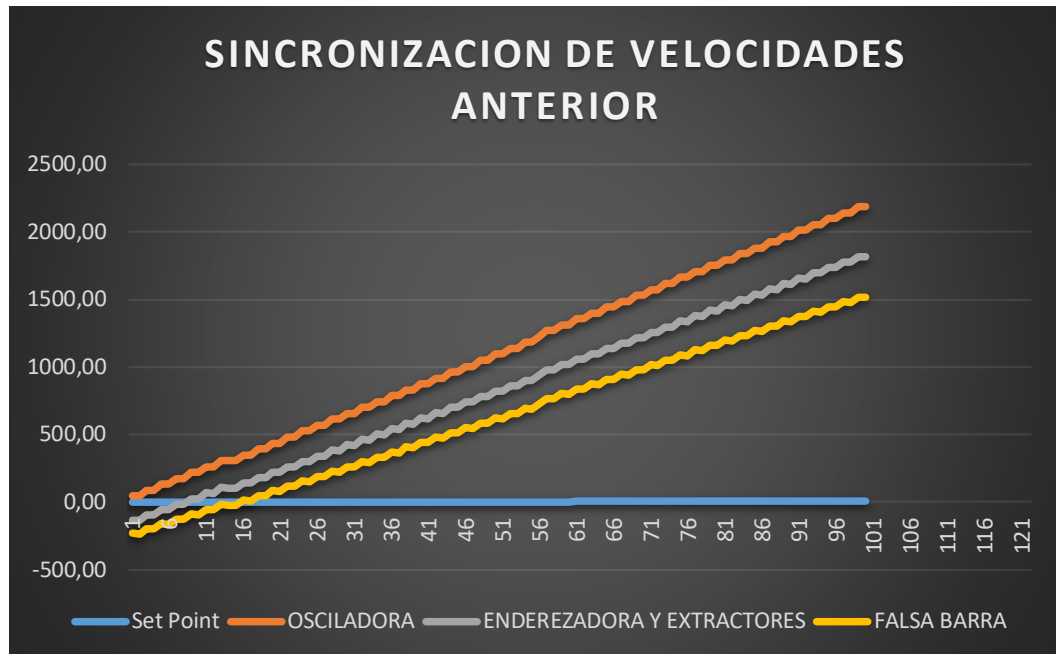


Fig. 76 Respuesta con la sincronización anterior.

Elaborado por: Trajano Espinosa.

En la figura 77 se puede ver como se mantiene la tendencia de regulación en relación de un motor a otro, mientras más alta es la velocidad más notorio es la diferencia de velocidad.

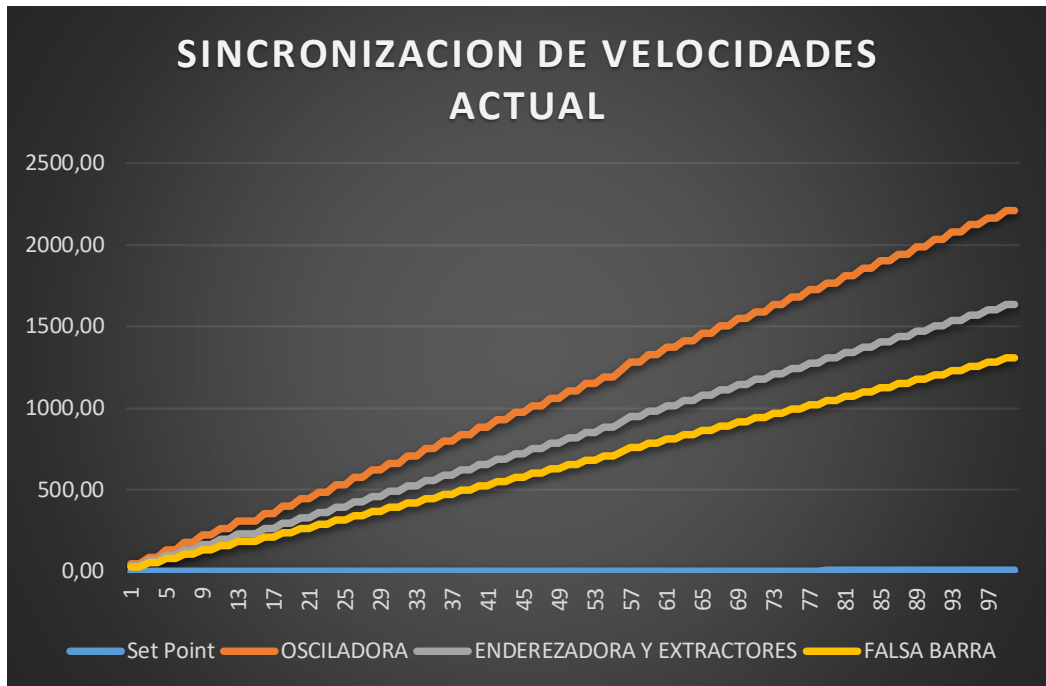


Fig. 77 Respuesta con la sincronización actual.

Elaborado por: Trajano Espinosa.

En la figura 78 tenemos el panel de simulación desarrollado con el fin de verificar el funcionamiento teórico de las ecuaciones en el cual se sacaba valor se referencia para los variadores se puede observar en 3 metros que la diferencia entre la velocidad de oscilación y la velocidad de enderezadoras, extractor uno, extractor dos y falsa barra se hacen más grades a medida que la velocidad aumenta.



Fig. 78 Pantalla de simulación de sincronización de velocidades actual.

Elaborado por: Trajano Espinosa.

En la figura 79 se puede observar la simulación de la automatización anterior las misma que se puede notar que a 3 metros que la diferencia de velocidad de enderezadoras, extractor uno, extractor dos y falsa barra se mantiene, a medida que la velocidad velocidad de la osciladora aumenta también las demás aumentan pero exageradamente para la respuesta requerida de la máquina.

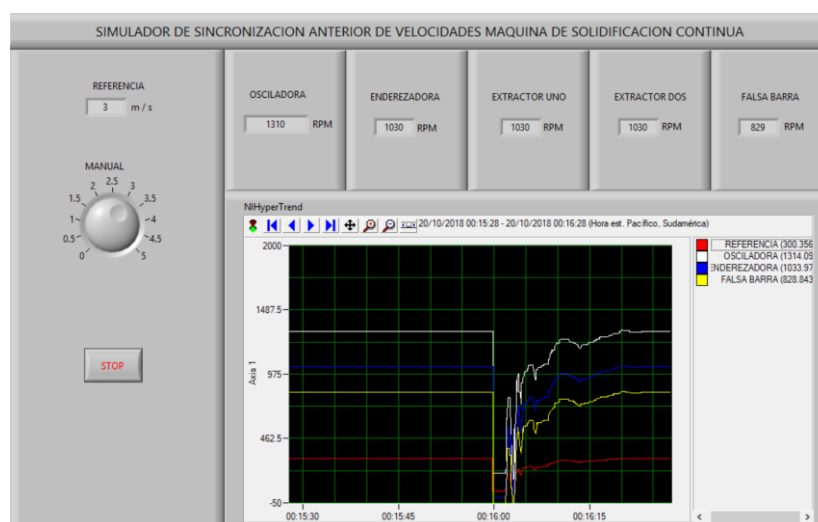


Fig. 79 Pantalla de simulación de sincronización de velocidades anterior.

Elaborado por: Trajano Espinosa.

En la figura 80 se realiza una comparación entre la sincronización anterior y la sincronización actual, estos datos son reales obtenidos del OPC server del HMI ahí claramente se puede ver como a 2.99 m/s las dos sincronizaciones no trabajan igual, y verificamos que anteriormente iban a mayor velocidad los motores lo cual ya se ha demostrado que no es lo adecuado.



Fig. 80 Comparación de sincronización de velocidades anterior vs actual.

Elaborado por: Trajano Espinosa.

En cuanto al costo de producción la máquina de solidificación continua, en la figura 81 se puede ver que al existir una para, esta genera un reproceso, es decir las coladas no procesadas en la maquina deben volver al horno de arco eléctrico lo que genera incremento en los costos de producción. Básicamente al presentarse una falla de hardware o de sistema de automatización las coladas regresaban al horno, y habían coladas que se encontraban a la mitad del procesos por eso debían ser botadas en la fosa o regresar al horno también consistían en sobras de acero en el distribuidor al no poder colar a mayores velocidades. De ahí que también se incrementan costos de asistencia técnica de proveedores para restablecer el sistema de automatización.

Un ahorro adicional generado es el costo de la migración del sistema de automatización la cotización más baja fue de un empresa Italiana con un costo de 154000 Dolares.

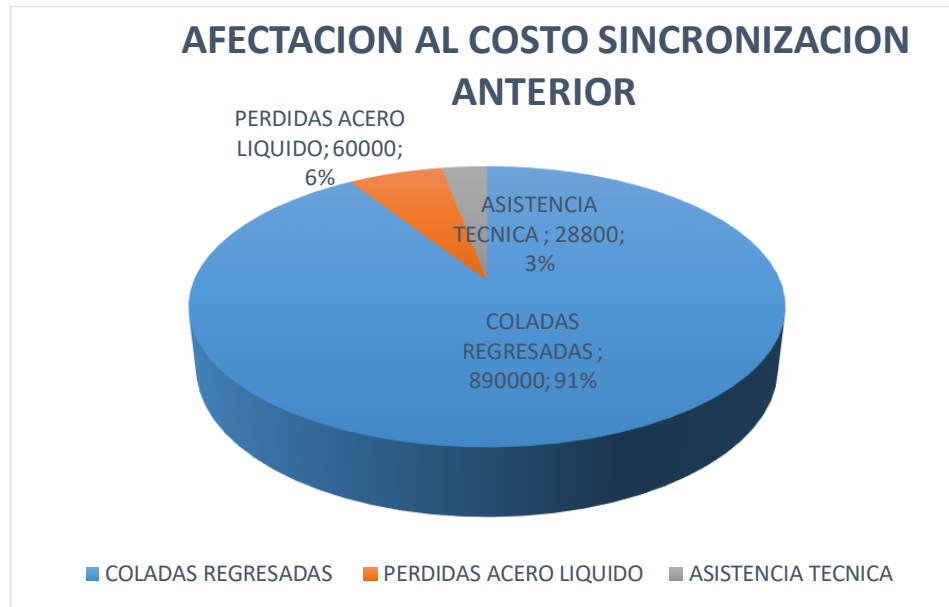


Fig. 81 Perdidas en la sincronización anterior.

Elaborado por: Trajano Espinosa.

Con la sincronización actual los costos por perdidas han sido reducidos notablemente, no se ha vuelto a contactar al proveedor por problemas en la máquina de solidificación continua del acero, las coladas regresadas al horno has disminuido en la figura 82 se tiene 60000 dólares de costo extra por coladas regresadas las mismas que ya no han regresado por causa de fallos en la automatización. Las pérdidas de acero líquido se redujeron ya que al colar más rápido sobra menos acero en el distribuidor.

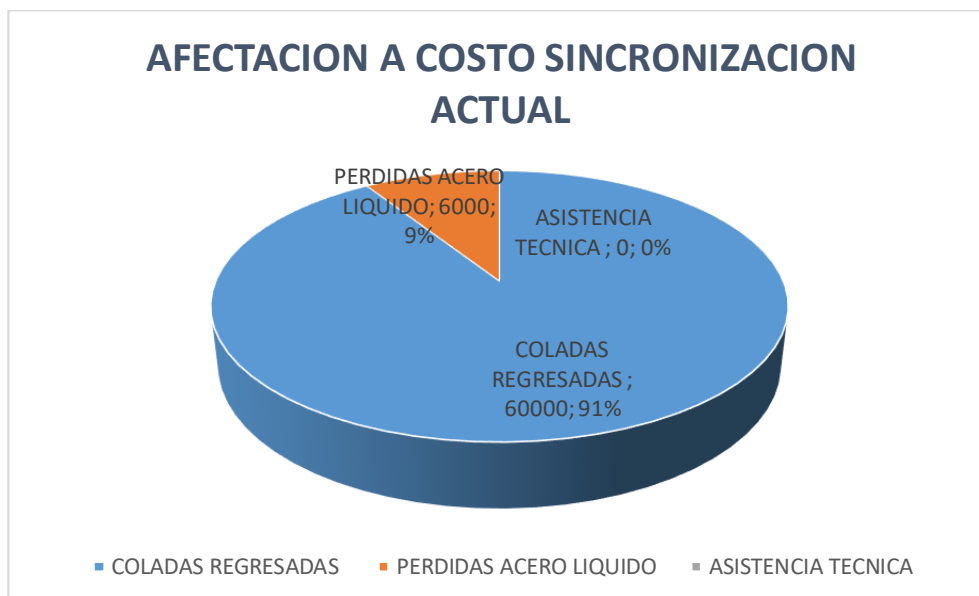


Fig. 82 Perdidas en la sincronización actual.

Elaborado por: Trajano Espinosa.

MEJORA DEL 92 %

En cuanto a temas de calidad se puede observar en la figura 83 el antes y después del producto terminado antes con la sincronización anterior teníamos marcas de oscilación popularmente conocidas como pata de elefante, en la actualidad ya no se encuentran estas marcas. Estas marcas a veces daban problemas al momento de laminar ya que provocabas atorones en los rodillos de laminación.

SINCRONIZACION ANTERIOR



SINCRONIZACION ACTUAL



Fig. 83 Calidad del producto anterior vs el actual.

Elaborado por: Trajano Espinosa.

Con la figura 84 podemos comprobar que la simulación que se realizó antes de la implementación, ahora ya implementada se extraen los datos del plc y se puede verificar que las ecuaciones dentro del autómata trabajan perfectamente y logran sincronizar perfectamente la máquina, prueba de ellos las mejoras anteriormente mencionadas.

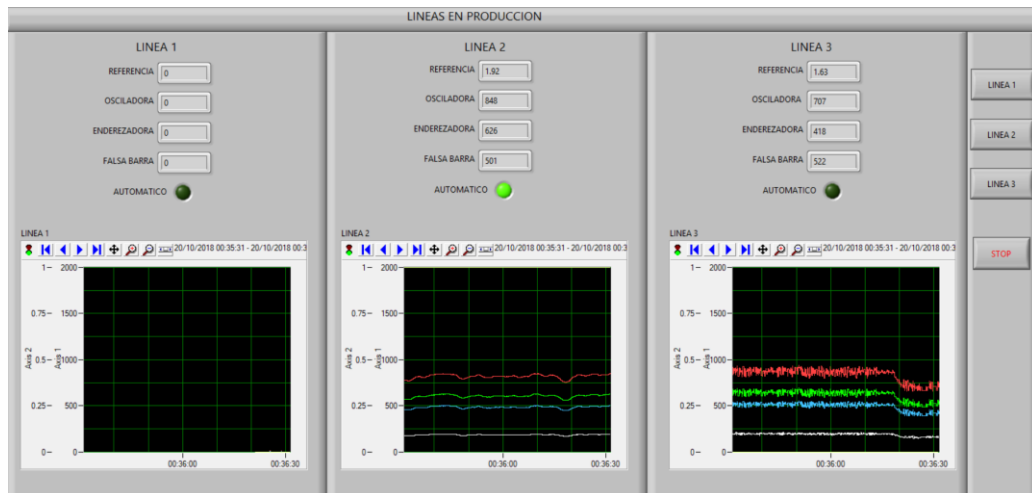


Fig. 84 Pantalla para verificar funcionamiento mediante tendencias.

Elaborado por: Trajano Espinosa.

Análisis de Chi Cuadrado.

Para verificar la hipótesis se usara la herramienta estadística chi cuadrada la misma que fue calculada en un software estadístico llamado minitab.

H0 (hipótesis nula): El desarrollo de un Sistema de control para la sincronización de velocidad en el proceso de solidificación continua del acero en la planta de Acería, mejorará la productividad de este proceso industrial.

H1 (hipótesis alterna): El desarrollo de un Sistema de control para la sincronización de velocidad en el proceso de solidificación continua del acero en la planta de Acería, no mejorará la productividad de este proceso industrial.

La tabla 8 indica el resultado de chi cuadrado que se obtiene del software minitab las tablas ingresadas al programa son la tabla 6 y tabla 7 anteriormente expuestas que indican los tiempos de paradas de la máquina con esto se demostrará que al reducir los tiempos de las paras se incrementa la productividad.

Tabla 8. Contribución chi cuadrada.

Categoría	Observado	Conteos históricos	Proporción de prueba	Esperado	Contribución a chi-cuadrada
Sistema de precalentamiento Tundish	16	38	0.032929	7.7712	8.713
Movimiento de coches cucharas	0	18	0.015598	3.6811	3.681
Centrales de valvula deslizante	10	42	0.036395	8.5893	0.232
Permisivos flujo de agua	42	42	0.036395	8.5893	129.962
Permisivos pulpito colador	8	8	0.006932	1.636	24.755
Enderezadoras no listas	5	17	0.014731	3.4766	0.668
Sistema de corte	0	19	0.016464	3.8856	3.886

Camino de rodillos	3	3	0.0026	0.6135	9.283
Puentes grúa	18	45	0.038995	9.2028	8.41
Mesa de evacuación	0	175	0.151646	35.7886	35.789
Centrales mesa de evacuación	3	3	0.0026	0.6135	9.283
Grúa Tren uno	93	83	0.071924	16.974	340.518
Sistemas Informáticos	0	476	0.412478	97.3449	97.345
Sistema Automático	23	23	0.019931	4.7036	71.17
Tarjetas electrónicas	5	60	0.051993	12.2704	4.308
HMI	10	102	0.088388	20.8596	5.654

Elaborado por: Trajano Espinosa.

En la tabla 9, El estadístico de chi-cuadrada general es 0.648 y tiene un valor p de 0.885. Puesto que el valor p es mayor que el nivel de significancia de 0.05, el sistema no puede rechazar la hipótesis nula. El sistema concluye que existe una diferencia significativa entre los datos observados y los datos esperados, por lo tanto se confirma la hipótesis.

Tabla 9. Prueba Chi cuadrada.

N	GL	Chi- cuadrada	Valor p
236	15	753.654	0

Elaborado por: Trajano Espinosa.

En la figura 85 se indica una campana en la que la zona de color azul señala que el valor de chi cuadrada debería estar en esta zona para descartar H0, pero, como no cae en esta zona se ratifica la hipótesis.

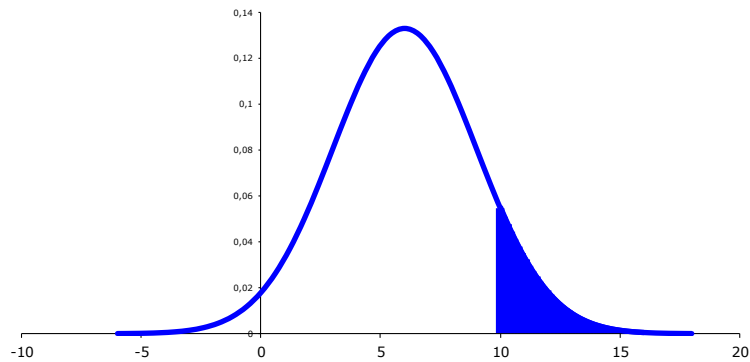


Fig. 85 Campana de Gauss para verificar hipótesis.

Elaborado por: Trajano Espinosa.

6.10. Conclusiones y recomendaciones

6.10.1. Conclusiones

Objetivo 1:

- En esta propuesta se realizó utilizando tecnología de última generación, tanto en equipos (Servidores, PLC's, Variadores de Velocidad, Tarjetas remotas) y protocolos de comunicación (Profibus, Profinet).
- La sincronización de velocidad de equipos está basada en los cálculos realizados a partir del negative strip necesarios para obtener productos sin desperfectos.
- Se utiliza un plc por cada línea de colado, lo incrementa el costo pero con esto se garantiza que en caso de falla de alguna CPU las otras líneas sigan produciendo, y en el caso del PLC de auxiliares se recomienda tener un CPU con el programa cargado y probado para reemplazarlo inmediatamente.

Objetivo 2:

- Del cálculo del Negative Strip depende la calidad del producto y es el punto base para controlar la velocidad de oscilación, por lo tanto la solidificación del acero y la sincronización de velocidades de la máquina.
- El negative Strip es recomendado por el fabricante de la maquina ya que la diseñan en base al tipo de producto que se va a procesar en la misma.
- Se recomienda realizar una pequeña simulación en labview o software similares para verificar que los cálculos estén bien realizados y tengamos los resultados deseados.

Objetivo 3:

- Las subrutinas de esta implementación fueron desarrolladas utilizando software de siemens Tia Portal V13, gracias a la licencia que posee la empresa en la cual se realiza la propuesta.
- Para las rutinas de control de equipos se recomienda crear un FC, esto evita repetir la misma rutina varias veces, luego el programa se vuelve sencillo al solo tener que llamar al FC.
- Se recomienda crear DB dentro del programa para generar variables de cada equipo automatizado con esto evitamos usar las variables por defecto del PLC, así evitamos que se terminen las variables o confusión en caso de etiquetarlas.

Objetivo 4:

- Se recomienda el uso de máquinas virtuales para la creación de los HMI, con esto conseguimos utilizar varias aplicaciones con una sola licencia. Además la creación de respaldos es mucho más fácil.
- Se desarrollaron los HMI en el SDC de Labview gracias a que la empresa donde realizamos la implementación cuenta con la licencia de este software.

- La ventaja de usar Labview es que el costo del software es fijo a diferencia de otros que su valor depende del número de tag's que se usen en el HMI.

Objetivo 5:

- Se consiguió disminuir las paras en un 30%, adicional a esto se logró mejorar el tiempo de respuesta en un 80% y disminuir el costo de soporte de terceros en un 100 %.

REFERENCIAS.

- Bhattacharya, A. K., & Sambasivam, D. (2009). World's largest Science , Technology & Medicine Open Access book publisher Optimization of Oscillation Parameters in Continuous Casting Process of Steel Manufacturing: Genetic Algorithms versus Differential Evolution. *Evolutionary Computation*, (October), 102.
- Chaour, M., & Boulkroune, S. (2015). continuous casting mold.
- Dwlrq, L., Wkh, I. R. U., Kdqjeldr, P., Frp, J., Frp, P. S., Sdqtxdqnh, P., ... Surgxfwlylw, E. (2017). & Dvwlqj 3Ureohp Zlwk Yduldeoh Surfhvvlqj Wlphv, 1144-1149.
- Fanti, M. P., Iacobellis, G., Rotunno, G., & Ukovich, W. (2013). A simulation based analysis of production scheduling in a steelmaking and continuous casting plant. *IEEE International Conference on Automation Science and Engineering*, 150-155. <https://doi.org/10.1109/CoASE.2013.6654020>
- Hoat, D. M. (s. f.). Tecnología de la colada continua del acero, 52-57.
- Isaev, D. (2016). Implementation of electric drive of withdrawal-roll set in horizontal continuous casting machine for the production of small billets. *2016 9th International Conference on Power Drives Systems, ICPDS 2016 - Conference Proceedings*, 3-6. <https://doi.org/10.1109/ICPDS.2016.7756723>
- Isaev, D., Borovik, A., Ph, D., & Osipov, O. (2015). Technological Requirements to the Drive of Horizontal Type Continuous Casting Machine.
- Ji, Z., Jiang, Y., & Yang, J. (2010). Numerical simulation and optimal control in the continuous casting of billets. *Proceedings - 3rd International Conference on Intelligent Networks and Intelligent Systems, ICINIS 2010*, 265-268. <https://doi.org/10.1109/ICINIS.2010.20>
- Jin, X., Chen, D., Zhao, Y., & Long, M. (2009). Study on mathematical model of temperature and stress for thin slab in continuous casting. *Proceedings - 2009 International Conference on Computational Intelligence and Software Engineering, CiSE 2009*, (1), 2-6. <https://doi.org/10.1109/CISE.2009.5366364>
- Jin, X., Chen, D., Zhao, Y., Long, M., Zhao, Z., Wang, H., ... Hoat, D. M. (2009).

- Effect of mold oscillation on powder consumption and hook formation in ultralow-carbon steel slabs. *Proceedings - 3rd International Conference on Intelligent Networks and Intelligent Systems, ICINIS 2010*, 2(October), 56-69. <https://doi.org/10.1109/CISE.2009.5366364>
- Li, Q., Fang, Y., Kang, K., & Huicheng, Z. (2015). Extended state observer based nonsingular terminal sliding-mode control for non-sinusoidal oscillation of continuous casting mold driven by servo motor. *Chinese Control Conference, CCC, 2015-Septe*, 1043-1048. <https://doi.org/10.1109/ChiCC.2015.7259777>
- Lin, J., Hao, J., Min, L., & Jiang, S. (2015). An integrated planning approach based on harmony search algorithm and prediction model for steelmaking-continuous casting-hot rolling process. *Proceedings of the World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA), 2015-March(March)*, 1811-1817. <https://doi.org/10.1109/WCICA.2014.7052995>
- Long, J., Zheng, Z., Gao, X., & Chen, K. (2015). Simulation method for multi-machine and multi-task production scheduling in steelmaking-continuous casting process. *2015 10th System of Systems Engineering Conference, SoSE 2015*, 71-76. <https://doi.org/10.1109/SYSOSE.2015.7151957>
- Lukyanov, S. I., Shvidchenko, D. V., Suspitsyn, Y. S., Pyshnograev, R. S., & Konovalov, M. V. (2016). Diagnosis system for electric drive equipment of pinch rolls in continuous casting machines. *2016 9th International Conference on Power Drives Systems, ICPDS 2016 - Conference Proceedings*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/ICPDS.2016.7756722>
- MATSUO, M. (1994). Continuous casting of aluminum. *Journal of Japan Institute of Light Metals*, 44(9), 510-525. <https://doi.org/10.1093/oepl/gpt018>
- Morales, R. (s. f.). Colada Continua. *Curso CONAC*.
- Shin, H. J., Lee, G. G., Kang, S. M., Kim, S. H., Choi, W. Y., Park, J. H., & Thomas, B. G. (2005). Effect of mold oscillation on powder consumption and hook formation in ultralow-carbon steel slabs. *Iron and Steel Technology*, 2(9), 56-69.
- Shvidkiy, E. L., Sokunov, B. A., Uskov, I. A., & Smolyanov, I. A. (2016). Simulation of continuous casting process with electromagnetic influence to the ingot liquid phase. *Proceedings of the 2016 IEEE North West Russia Section*

- Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference, EIConRusNW* 2016, 685-688.
<https://doi.org/10.1109/EIConRusNW.2016.7448275>
- Tirian, G. O., Prostean, G., Rusu-Anghel, S., & Cristea, D. (2010). Adaptive control system of continuous casting process based on a fuzzy logic mechanism. *ICCC-CONTI 2010 - IEEE International Joint Conferences on Computational Cybernetics and Technical Informatics, Proceedings*, 379-382.
<https://doi.org/10.1109/ICCCYB.2010.5491244>
- Wang, Z., You, G., Wu, Q., & Yu, Z. (2017). Casting, 7694-7697.
- Yang, X., & Junming, L. (2011). Continuous casting of metal hollow profiles with low plasticity under the condition of complex physical fields constrained. *Proceedings of the International Conference on Advanced Manufacturing Technology 2011 (atdm 2011)*.
- Zhang, W., Fang, Y., Li, J., & Ma, Z. (2017). Active disturbance rejection control for vibration displacement tracking system of continuous casting mold driven by servo motor. *Chinese Control Conference, CCC*, 6403-6408.
<https://doi.org/10.23919/ChiCC.2017.8028373>
- Zhao, Z., Wang, H., & Hu, N. (2014). Genetic Algorithm Based Scheduling Model of Continuous Casting Crystallizer Copper Electroplating, (i), 4465-4468.
- Aires, B. (2015). Reindustrialización: oportunidades y desafíos de cara al futuro.
- Alvarez, G., Campo, O., & Láinez, E. (1995). Agitación electromagnética en la colada continua de acero $\wedge * \wedge$. *Revista de Metalurgia*, 31(1), 23-30.
- Cicutti, C. (1997). Transferencia de calor en la colada continua de aceros. II parte. Enfriamiento secundario. *Revista de Metalurgia*, 33(6).
- Echeverr, A. (2017). modelo de solidificación, (November).
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15043.50729>
- I, Y. D. H., I, A. F. Z., Arzola, J., Ii, R., Superior, I. I., José, P., ... La, M. (2014). Modelado del sistema de enfriamiento primario en máquinas de colada de acero con cristalizador curvo Modelling of continuous casting steel during first cooling system with curve mold, 17(1), 90-97.
- López-Martínez, E., Vázquez-Gómez, O., & León-Gil, G. R. (2017). Sensitivity analysis of parameters affecting the thickness of the solidified layer in the

continuous casting process of steels; Análisis de sensibilidad de los parámetros que afectan al espesor de la capa solidificada en el proceso de colada continua de , I (figura 1). Recuperado de <http://revistas.utp.ac.pa/index.php/id-tecnologico/article/view/1709>

Madías, P. J. (2018). Innovaciones en la colada continua de semiproductos para laminados largos, 26-37.

Palacios, J., & Ojanguren, C. O. M. (2005). Modelización global del proceso de colada continua $Q = KaJT-Tj$, 468, 463-468.

Partes, D. D. E., Cobre, Y. P. D. E., Tubos, D., Toberas, D. E. C. Y., Mig, P. S., De, T. E., ... Final, I. T. (2006). No Title.

Pereira, B. A., de Castro, J. A., & da Silva Jorge A R Durán, A. J. (2010). Modelado del Proceso Convencional de Colada Continua de Aceros Libres de Intercicios Modeling of the conventional process of continuous Interstitial Free casting, 21(6), 3-12. <https://doi.org/10.1612/inf.tecnol.4401it.09>

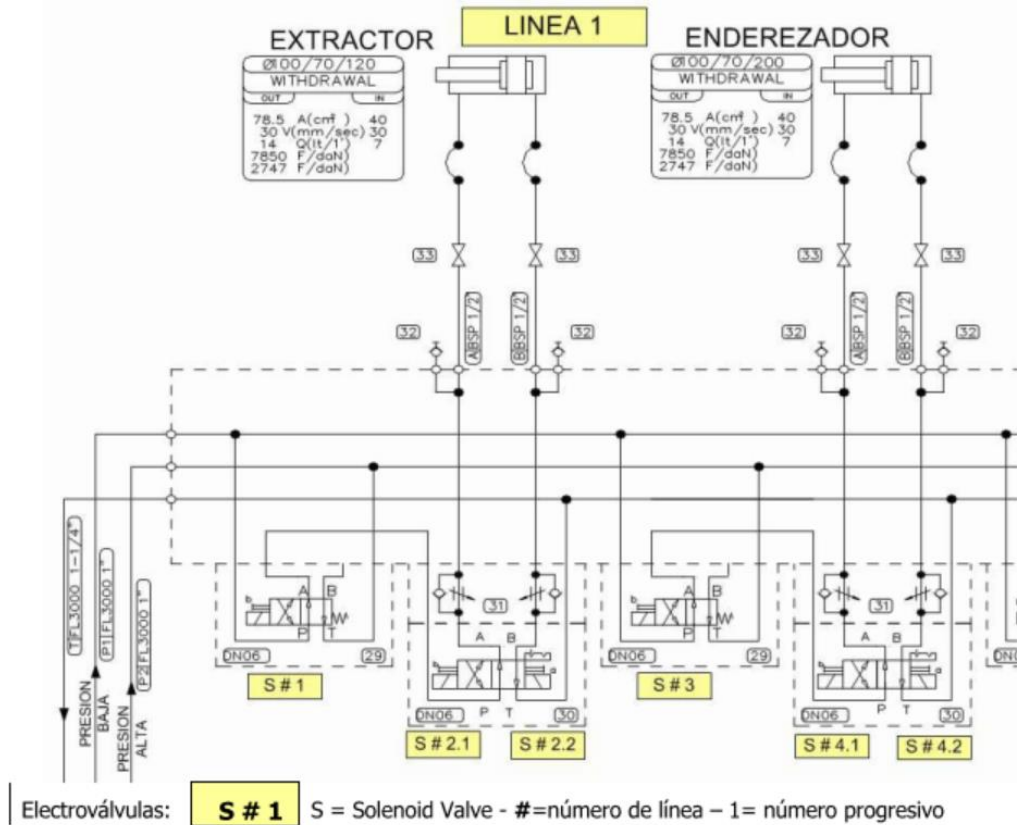
Ramírez, A., Morales, R., & Solorio, A. R. G. (2006). Parte I . (Colada continua)*, 42(3), 203-208.

Sahai, Y., & Emi, T. (2008). *Tundish Technology for Clean Steel Production*. *Tundish Technology for Clean Steel Production*. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3694.5.1>

ANEXOS

Anexo A.

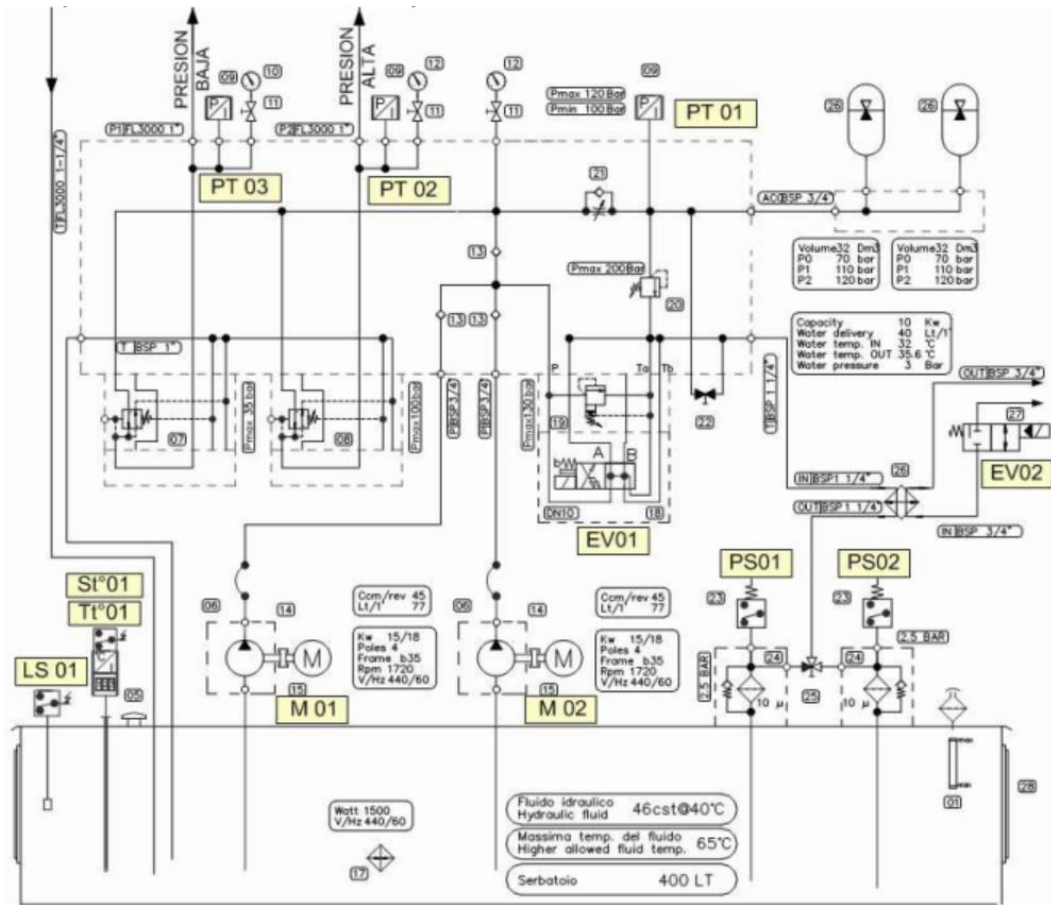
Diagrama P&ID de la máquina de solidificación continua del acero.



S 1 1	electroválvula en tensión (On)	mando rollo de extracción en <u>Alta Presión</u> .
	electroválvula no tensión (Off)	mando rollo de extracción en <u>Baja Presión</u> .
S 1 2.1	electroválvula en tensión (On)	mando rollo de extracción a <u>Levantar</u> .
S 1 2.2	electroválvula no tensión (On)	mando rollo de extracción a <u>Bajar</u> .
<hr/>		
S 1 3	electroválvula en tensión (On)	mando rollo enderezador en <u>Alta Presión</u> .
	electroválvula no tensión (Off)	mando rollo enderezador en <u>Baja Presión</u> .
S 1 4.1	electroválvula en tensión (On)	mando rollo enderezador a <u>Levantar</u> .
S 1 4.2	electroválvula no tensión (On)	mando rollo enderezador a <u>Bajar</u> .

Fig. 86 Diagrama P&ID

Elaborado por: Sidertech.



Motor eléctrico :	M 0 1	P = 15 kW 400 Vac 50Hz 4P L 77 min 120 Bar
Motor eléctrico :	M 0 2	P = 15 kW 400 Vac 50Hz 4P L 77 min 120 Bar
Contacto de presión :	PS 01	Fijo = para el filtro 1 obstruido
Contacto de presión :	PS 02	Fijo = para el filtro 2 obstruido
Contacto de nivel	LS 01	Fijo = aceite nivel bajo bajo
Analógico de presión :	PT 01	Señal analógico de presión general = 4 /20 mA
Analógico de presión :	PT 02	Señal analógico de presión Alta = 4 /20 mA
Analógico de presión :	PT 03	Señal analógico de presión Baja = 4 /20 mA
Analógico de temperatura :	Tl°01	Señal analógico de temperatura = 4 /20 mA
Contacto de temperatura :	St°01	Contacto digital de máxima de temperatura
Electroválvula :	EV 01	de carga línea acumuladores generales = 24 Vdc
Electroválvula :	EV 02	Control del agua de enfriamiento Apertura = 24 Vdc
Electroválvula :	EV 01	Control del agua de enfriamiento Apertura = 24 Vdc

Fig. 87 Diagrama P&ID
Elaborado por: Sidertech.

Anexo B.

Información para parametrización y puesta en marcha de variadores de velocidad Schneider.

Tabla 10. Parámetros básicos de configuración.

Cód.	Descripción	Valor
<i>b F r</i>	[Frec. estándar motor]	[50Hz IEC]
<i>l C C</i>	[Control 2/3 hilos]	[Ctrl. 2 hilos] (2C): control 2 hilos
<i>U f t</i>	[U/f mot 1 selecc 1]	[SVC] (n): Control vectorial del flujo sin captador para aplicaciones de par constante.
<i>R C C</i> <i>D E C</i>	[Rampa aceleración] [Rampa deceleración]	3,00 segundos
<i>L S P</i>	[Velocidad Mínima]	0 Hz
<i>H S P</i>	[Vel. máxima]	50 Hz
<i>I t H</i>	[I Térmica motor]	Corriente nominal del motor (el valor depende del calibre del variador)
<i>S d C l</i>	[Nivel Int. DC auto.1]	0.7 x corriente nominal del variador, para 0.5 segundos
<i>S F r</i>	[Frecuencia de Corte]	4 kHz
<i>r r 5</i>	[Asig. marcha Atrás]	[LI2] (LI2): Entrada lógica LI2
<i>P S 2</i>	[2 Vel. preselecc.]	[LI3] (LI3): Entrada lógica LI3
<i>P S 4</i>	[4 Vel. preselecc.]	[LI4] (LI4): Entrada lógica LI4
<i>F r 1</i>	[Canal Ref. 1]	[AI1] (AI1) - Entrada analógica AI1
<i>S R 2</i>	[Ref. sumatoria 2]	[AI2] (AI2) - Entrada analógica AI2
<i>r l</i>	[Asignación R1]	[Sin fallo] (FLt): Variador en fallo (el contacto se abre cuando se detecta un fallo o cuando el variador está sin tensión)
<i>b r A</i>	[Adapt.rampa dec.]	[SI] (YES): Función activa (adaptación automática de la rampa de deceleración)
<i>R t r</i>	[Rearranque auto.]	[No] (nO): Función inactiva.
<i>S t t</i>	[Tipo de parada]	[Paro rampa] (rMP): En rampa
<i>C F G</i>	[Macroconfiguración]	[Config. de fábrica] (Std) (1)

Elaborado por: Trajano Espinosa.

Configuración del ATV312 para comunicación profibus. El primer paso es reemplazar la tarjeta de fábrica (Modbus) por una tarjeta Profibus.

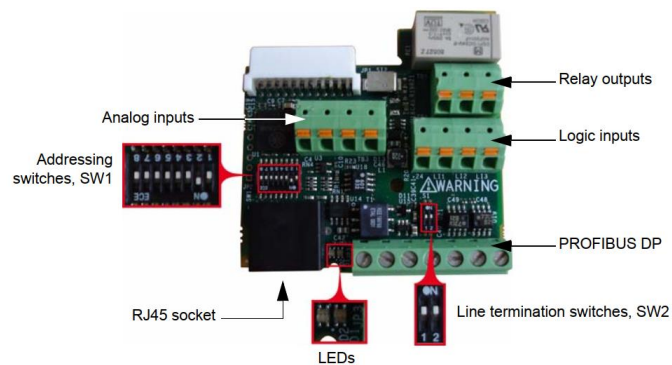


Fig. 88 Tarjeta de comunicación profibus

Elaborado por: Manual de comunicación profibus ATV312

La dirección del esclavo profibus se debe configurar con ayuda de los Dipswitch de la tarjeta profibus. (Figura 89).

Address	Switches 7-6-5-4-3-2-1	Address	Switches 7-6-5-4-3-2-1	Address	Switches 7-6-5-4-3-2-1	Address	Switches 7-6-5-4-3-2-1	Address	Switches 7-6-5-4-3-2-1
0	000 0000	26	001 1010	52	011 0100	78	100 1110	104	110 1000
1	000 0001	27	001 1011	53	011 0101	79	100 1111	105	110 1001
2	000 0010	28	001 1100	54	011 0110	80	101 0000	106	110 1010
3	000 0011	29	001 1101	55	011 0111	81	101 0001	107	110 1011
4	000 0100	30	001 1110	56	011 1000	82	101 0010	108	110 1100
5	000 0101	31	001 1111	57	011 1001	83	101 0011	109	110 1101
6	000 0110	32	010 0000	58	011 1010	84	101 0100	110	110 1110
7	000 0111	33	010 0001	59	011 1011	85	101 0101	111	110 1111
8	000 1000	34	010 0010	60	011 1100	86	101 0110	112	111 0000
9	000 1001	35	010 0011	61	011 1101	87	101 0111	113	111 0001
10	000 1010	36	010 0100	62	011 1110	88	101 1000	114	111 0010
11	000 1011	37	010 0101	63	011 1111	89	101 1001	115	111 0011
12	000 1100	38	010 0110	64	100 0000	90	101 1010	116	111 0100
13	000 1101	39	010 0111	65	100 0001	91	101 1011	117	111 0101
14	000 1110	40	010 1000	66	100 0010	92	101 1100	118	111 0110
15	000 1111	41	010 1001	67	100 0011	93	101 1101	119	111 0111
16	001 0000	42	010 1010	68	100 0100	94	101 1110	120	111 1000
17	001 0001	43	010 1011	69	100 0101	95	101 1111	121	111 1001
18	001 0010	44	010 1100	70	100 0110	96	110 0000	122	111 1010
19	001 0011	45	010 1101	71	100 0111	97	110 0001	123	111 1011
20	001 0100	46	010 1110	72	100 1000	98	110 0010	124	111 1100
21	001 0101	47	010 1111	73	100 1001	99	110 0011	125	111 1101
22	001 0110	48	011 0000	74	100 1010	100	110 0100	126	111 1110
23	001 0111	49	011 0001	75	100 1011	101	110 0101		111 1111
24	001 1000	50	011 0010	76	100 1100	102	110 0110		
25	001 1001	51	011 0011	77	100 1101	103	110 0111		

Fig. 89 Tabla de direcciones profibus para ATV312.

Elaborado por: Trajano Espinosa.

Conexión de cables de comunicación profibus en la tarjeta de comunicación del ATV312.

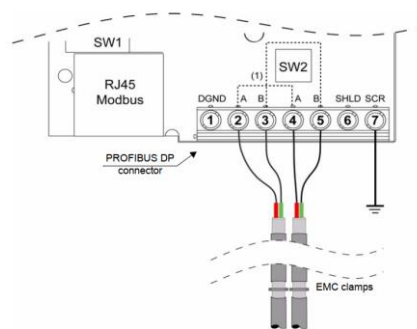


Fig. 90 Conexión de cable profibus en tarjeta profibus ATV312

Elaborado por: Manual de comunicación profibus ATV312

Configuración de parámetros de comunicación ATV312.

[ACCESS LEVEL] (LAC)

Menu	Parameter	Value
[COMMAND] (CtL-)	[Profile] (CHCF) is configured in separate mode	[Separate] (SEP)
	[Cmd channel 1] (Cd1) Channel 1 is used with the communication	[Network] (nEt)
	[Cmd channel 2] (Cd2) Channel 2 is used with the terminal blocks	[Terminal] (tEr)
	[Cmd switching] (CCS) LI3 is used for switching between channel 1 and 2 (see also the programming manual of the ATV312 for more details).	[LI3] (LI3) (1)

[COMMAND] (CtL-)

Menu	Parameter	Value
[COMMAND] (CtL-)	[Profile] (CHCF)	[Not separ.] (SIM) (factory setting)
	[Ref.1 channel] (Fr1)	[Network] (nEt)

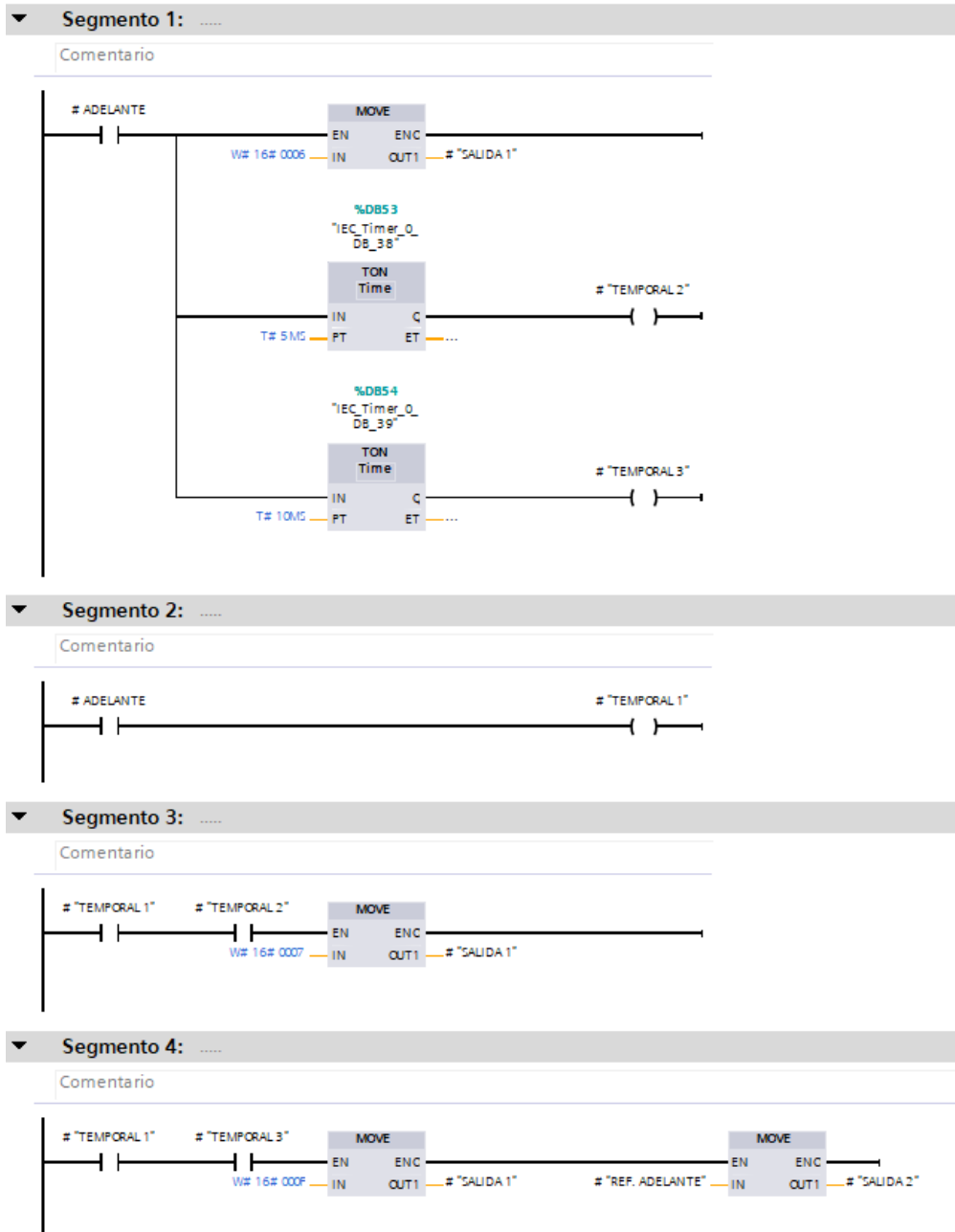
Fig. 91 Configuración de parámetros de comunicación ATV312.

Elaborado por: Manual de comunicación profibus ATV312

Anexo C.

Programa en el PLC para control de variador Schneider mediante comunicación profibus.

TELEGRAMA PROFIBUS ADELANTE.



TELEGRAMA PROFIBUS ATRÁS.

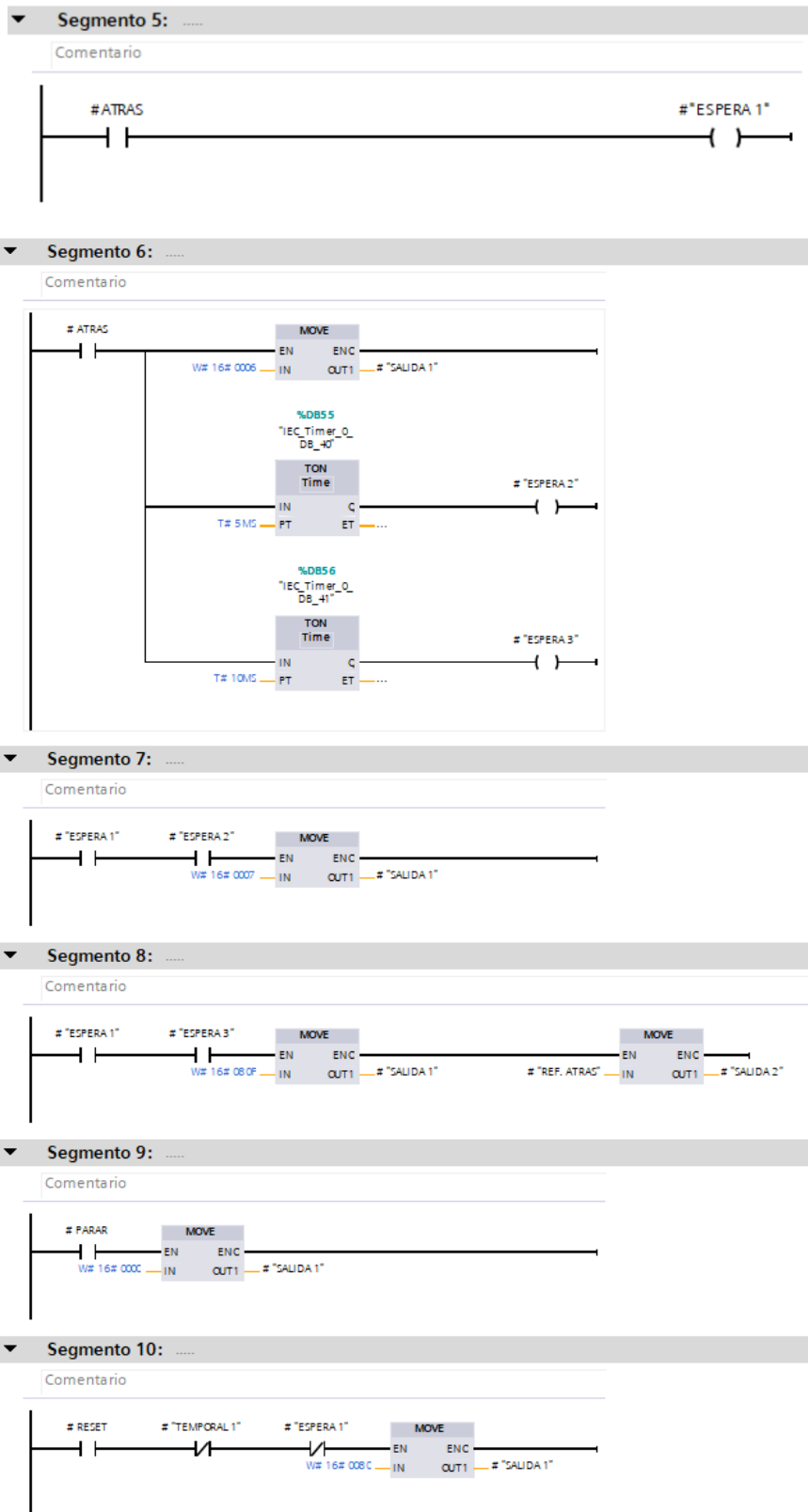


Fig. 92 Creación del FC de comunicación con ATV312

Elaborado por: Trajano Espinosa.

Anexo D.

Tarjetas WAGO-I/O-SYSTEM es una solución flexible independiente del bus de campo diseñada para llevar a cabo tareas de automatización descentralizada. Los módulos de relé, los módulos funcionales y los módulos de interfaz, así como la protección contra sobretensiones, permiten a WAGO adaptar su interfaz a cualquier aplicación.

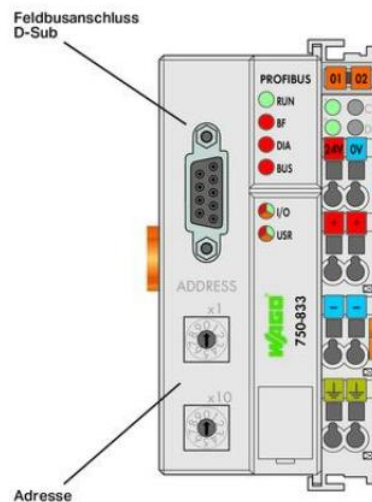


Fig. 93 Tarjeta Wago 750-833

Elaborado por: Catalogo online Wago.

El controlador PROFIBUS DP / V1 combina la funcionalidad de control, la interfaz de E / S y el bus de campo en un dispositivo.

La programación de la aplicación cumple con la norma IEC 61131-3. El programador puede acceder a todos los datos del bus de campo y de E S.

Características y aplicaciones: Control descentralizado para optimizar el soporte para un PLC o PC. Divide aplicaciones complejas en unidades individualmente comprobables. Respuesta de falla programable en caso de falla del bus de campo. Preprocesamiento de señal para reducir las transmisiones de bus de campo. Control

directamente el equipo periférico para obtener tiempos de respuesta del sistema más rápidos.

Controlador independiente y compacto

Al igual que habíamos realizado para el variador de velocidad debemos instalar el archivo gsd para WAGO.

GSD files for PROFIBUS / 750, 752, 755,
758 and 767 Series
6.1, Jul 25, 2017

English

ZIP ZIP
4.2 MB

Luego de esto buscaremos en el catálogo de dispositivos los componentes wago.

En nuestro caso buscaremos el módulo WAGO 750-833

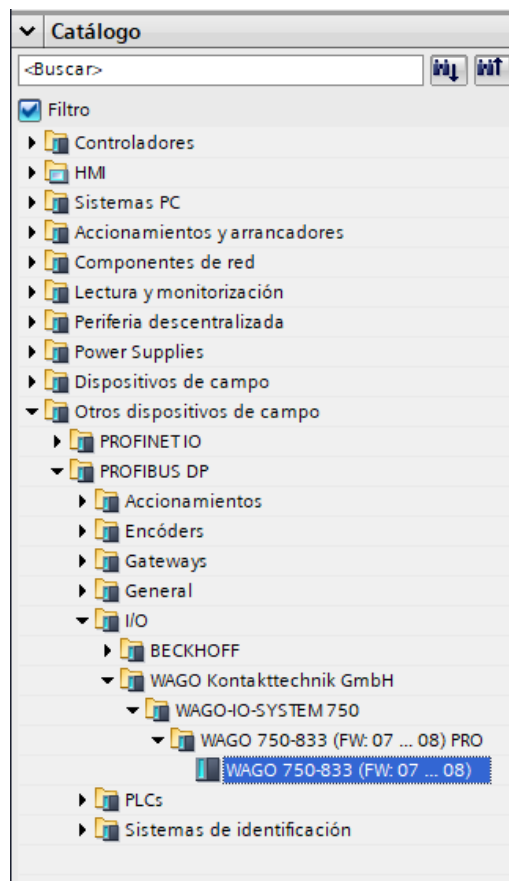


Fig. 94 Árbol de dispositivos en software TIA Portal luego de cargar archivo GSD wago.

Elaborado por: Trajano Espinosa.

Una vez que agreguemos nuestro esclavo Wago a los dispositivos y redes del Tia Portal debemos configurar la red de comunicación y la dirección del esclavo.

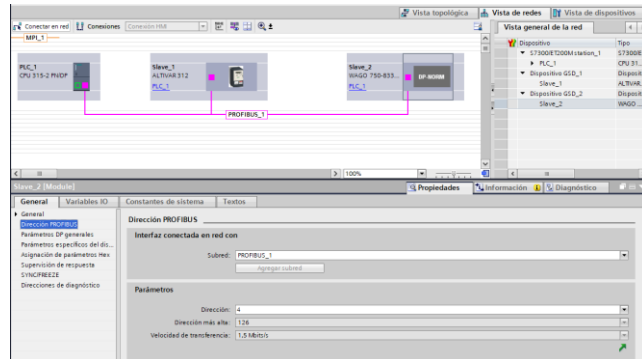


Fig. 95 Carga de dispositivos Wago en la configuración de la CPU

Elaborado por: Trajano Espinosa.

El siguiente paso es agregar las tarjetas que va llevar nuestro RIO, es decir que vaa estar unidas al controlador wago 750-833.

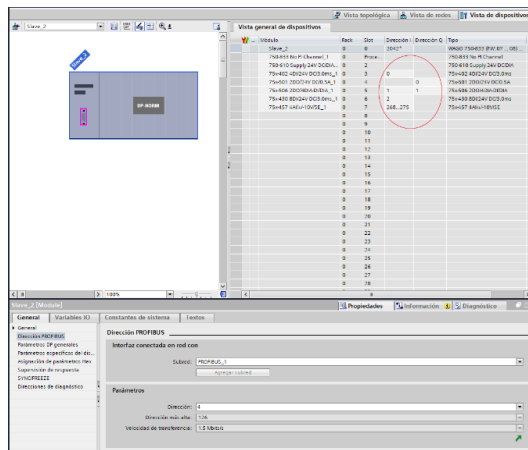


Fig. 96 Configuración de direcciones en tarjetas Wago

Elaborado por: Trajano Espinosa.

Las normas empleadas en este trabajo serán básicamente el estándar IEC 61131-3 (IEC65) para la programación de PLC y para HMI será las normal IEC 60445 y la ISA101.

Anexo E.

En este anexo se indican todas las pantallas desarrolladas en la implementación de la automatización de la planta.

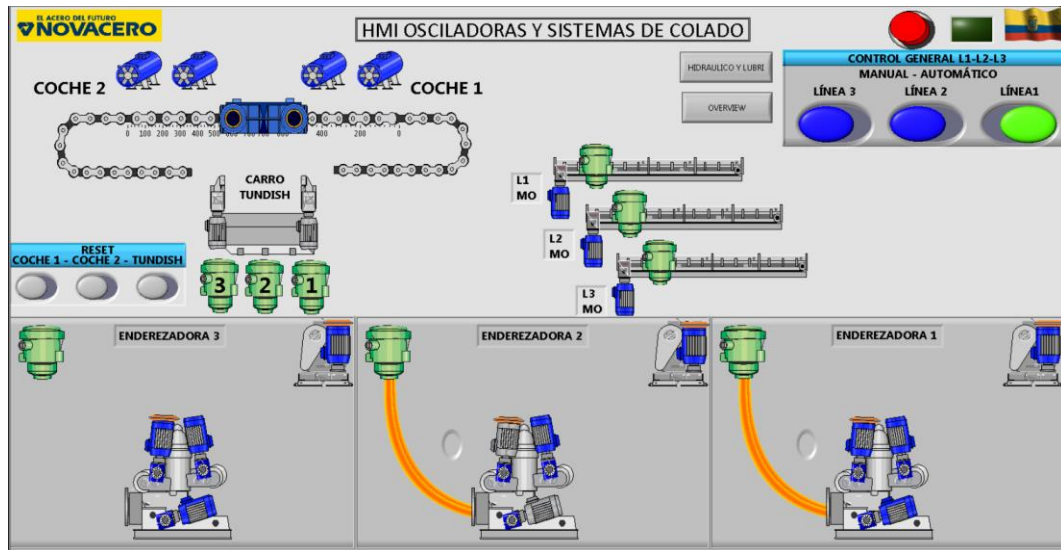


Fig. 97 HMI principal MCC Osciladoras
Elaborado por: Trajano Espinosa.

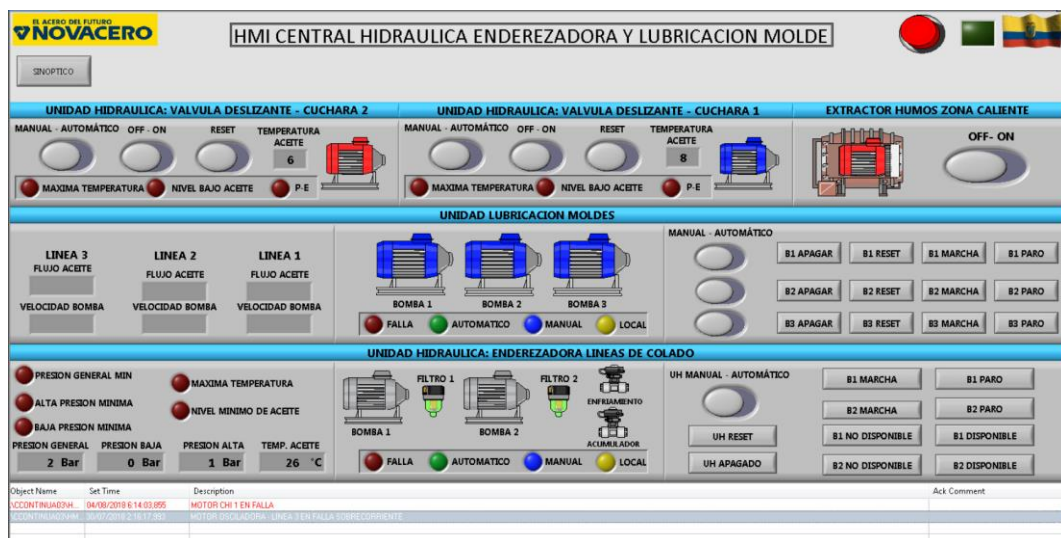


Fig. 98 HMI de sistemas auxiliares
Elaborado por: Trajano Espinosa.

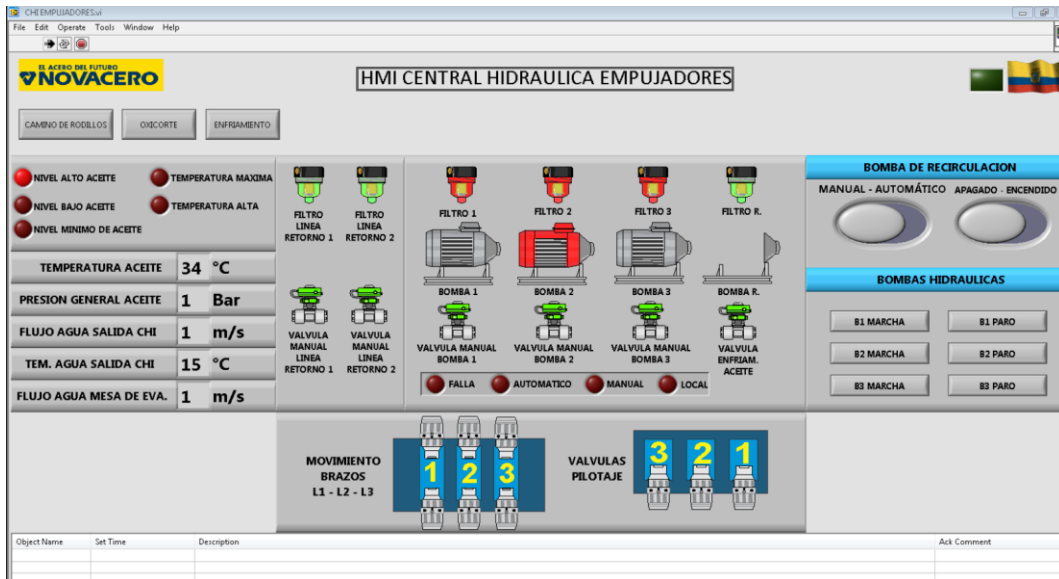


Fig. 99 HMI auxiliares mesa de evacuación
Elaborado por: Trajano Espinosa.

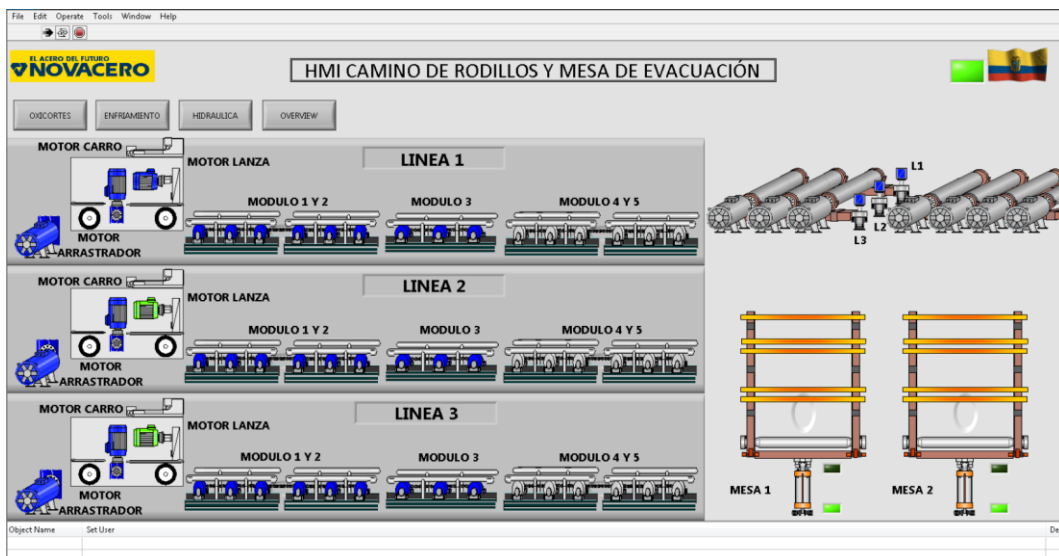


Fig. 100 HMI Camino de rodillos.
Elaborado por: Trajano Espinosa.

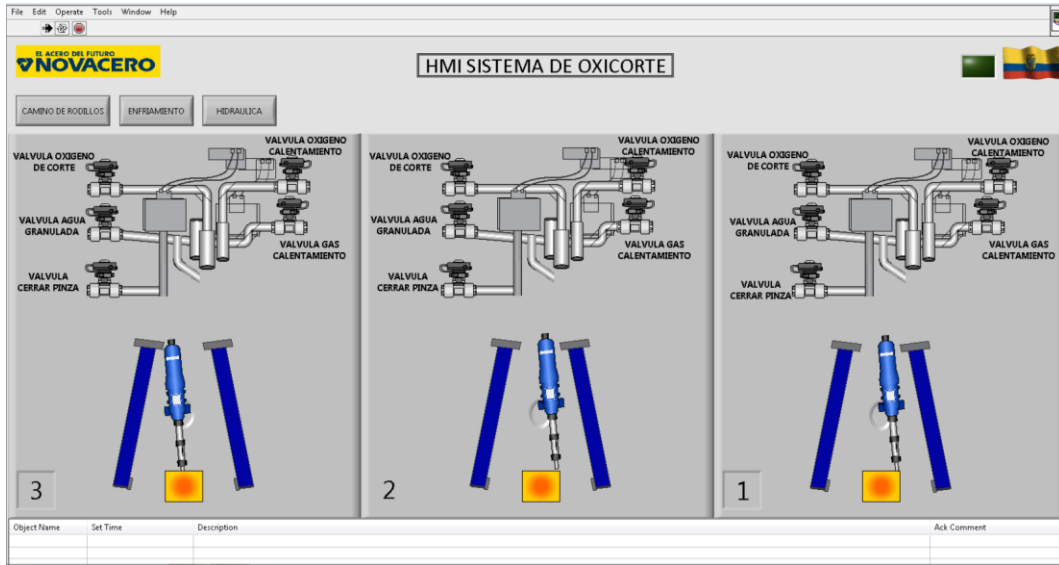


Fig. 101 HMI oxicortes
Elaborado por: Trajano Espinosa.



Fig. 102 HMI mantenimiento de VDF's
Elaborado por: Trajano Espinosa.

HMI ENFRIAMIENTO.

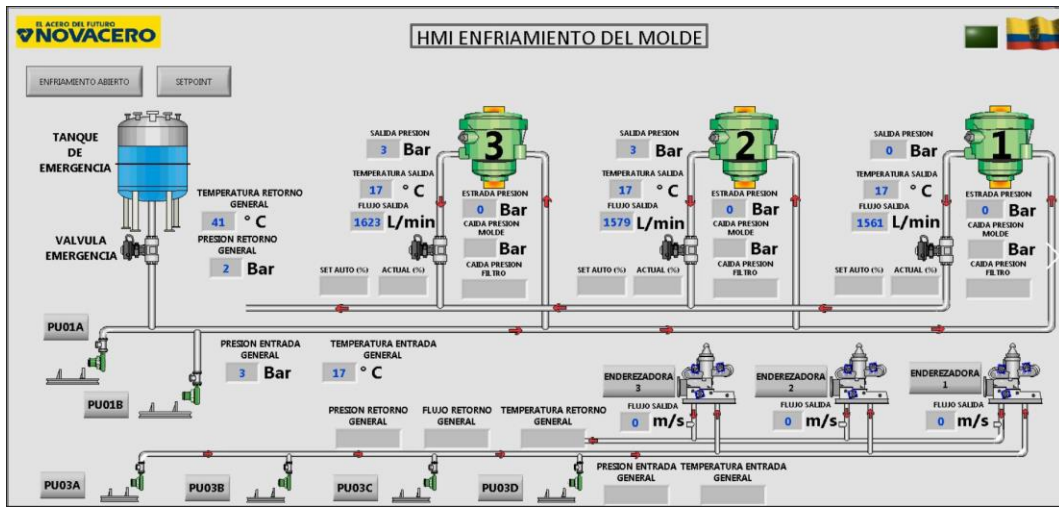


Fig.103 HMI enfriamiento molde
Elaborado por: Trajano Espinosa.

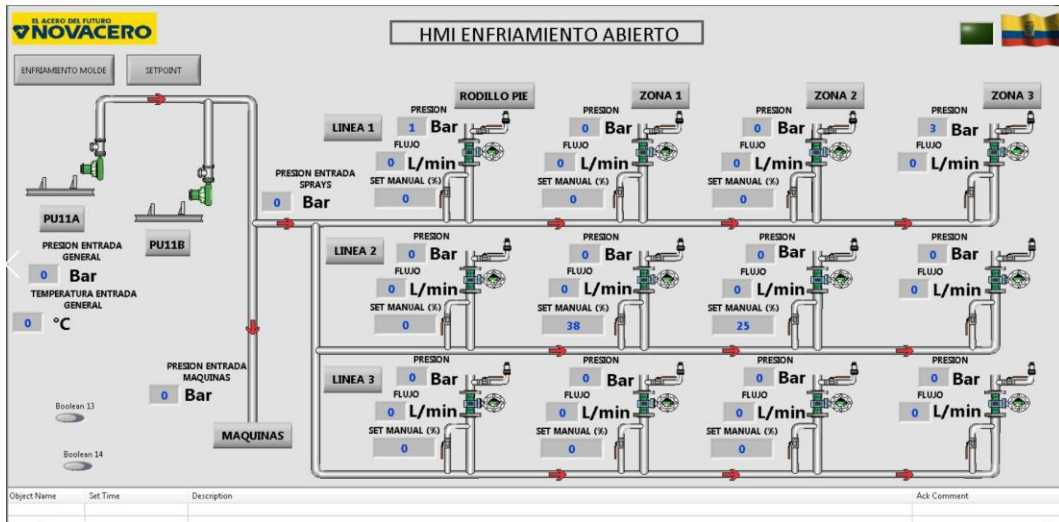


Fig. 104 HMI del sistema de enfriamiento abierto.
Elaborado por: Trajano Espinosa.

Anexo F.

Tabla 11. En este anexo encontraremos todas las variables del programa del PLC.

NOMBRE DE LA VARIABLE	TIPO DE DATO	DIRECCION
PARO DE EMERGENCIA DE PILPITOS COLADORES	Bool	%I12.0
INSERCIÓN PARA EMPAQUETADO	Bool	%I12.1
EXTRACCIÓN PARA COLADO	Bool	%I12.2
PARO DE EMERGENCIA DE LA MESA	Bool	%I13.0
SELECTOR EN LOCAL DE LA MESA	Bool	%I13.1
SELECTOR EN REMOTO DE LA MESA	Bool	%I13.2
PRESIÓN DE AGUA DE LÍNEA	Bool	%I3.0
PRESIÓN DE AIRE DE LÍNEA	Bool	%I3.1
FINAL DE CARRERA PARA CONTROL DE BRAZO DE ESTACIONAMIENTO DE FALSA BARRA DETECTOR DE POSICIÓN 2	Bool	%I5.0
FINAL DE CARRERA QUE ACTIVA EL RODILLO ENDEREZADOR	Bool	%I5.1
FINAL DE CARRERA QUE DETECTA LA PRESENCIA DE FALSA BARRA EN POSICIÓN DE TRABAJO DETECTOR DE POSICIÓN 1	Bool	%I5.2
FINAL ACTIVA CUANDO NO ESTA LA FALSA BARRA	Bool	%I5.3
SENSOR BRAZO DE APARCAMIENTO ABAJO	Bool	%I5.4
SENSOR BRAZO DE APARCAMIENTO ARRIBA	Bool	%I5.5
SENSOR DE NIVEL DE LINGOTERA	Int	%IW256
VELOCIDAD POTENCIOMETRO	Int	%IW314
VELOCIDAD EN AUTOMATICO ERGOLINES	Int	%IW316
REFERENCIA DE VELOCIDAD DE COLADO FALSA BARRA	Real	%MD1716
ESCALADO DEL POTENCIOMETRO	Real	%MD320
SET POINT ERGOLINES	Real	%MD324
REFERENCIA DE VELOCIDAD PARA OSCILADORA	Real	%MD800
REFERENCIA DE VELOCIDAD PARA EL RESTO DE EQUIPOS DE LA LÍNEA	Real	%MD812
REFERENCIA DE VELOCIDAD DE COLADO ENDEREZADORA, EXTARCTOR UNO Y DOS	Real	%MD966

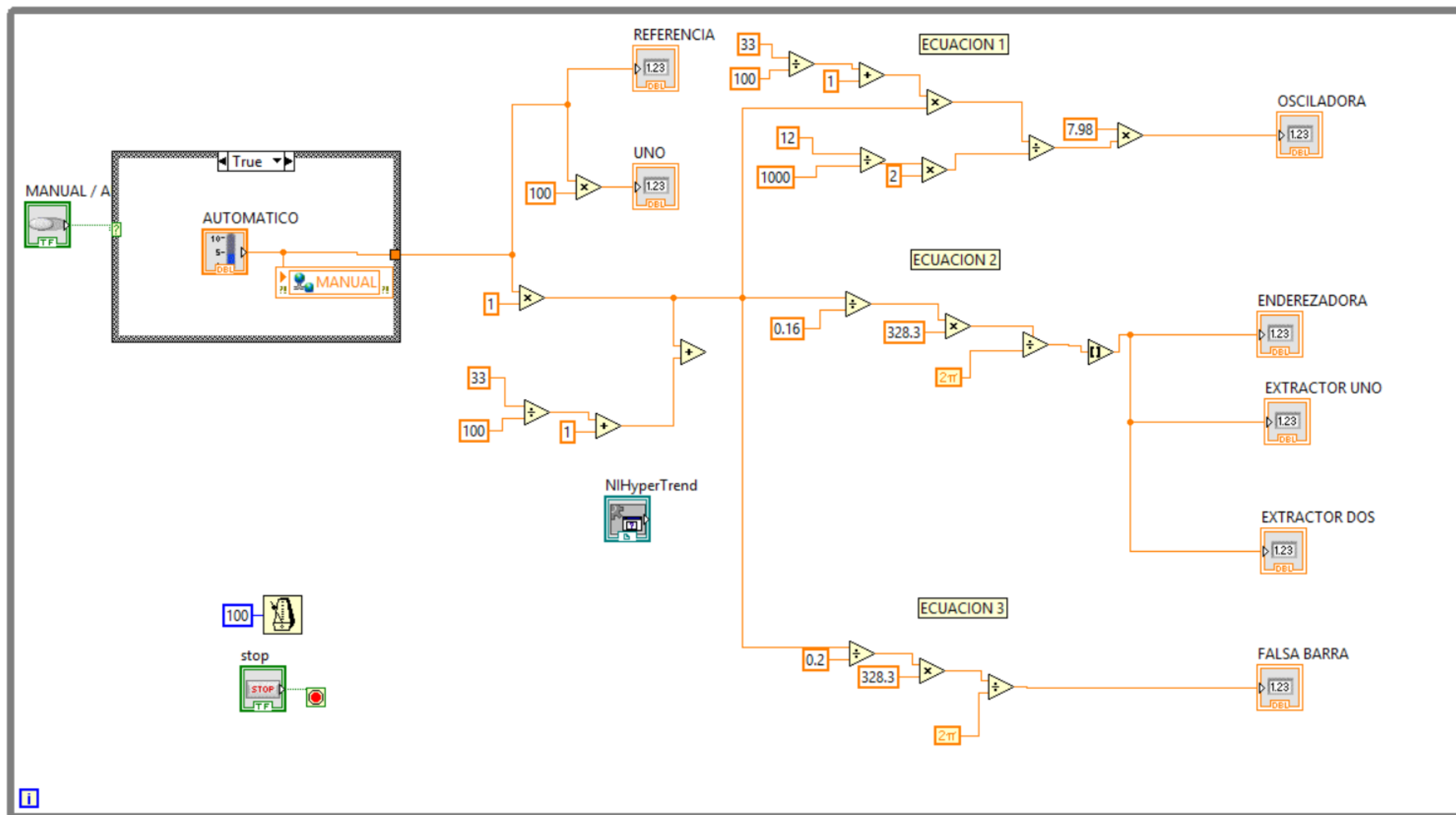


Fig. 105 Diagrama de modelación del cálculo de sincronización de velocidades.

Elaborado por: Trajano Espinosa.