

**Automatización e integración de una cortadora al vuelo con tecnología de corte en frío para
la línea de molino de tubo TUB01**

Victor Manuel Aragón Torrado

Asesor

Juan Alejandro Chica García

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería - ECBTI

Ingeniería Electrónica

2026

Dedicatoria

Dedico este proyecto de grado a mi familia, a mi esposa Soraya Cárdenas, a mis hijos Victor Andrés Aragón Cárdenas y Victor Adrián Aragón Cárdenas, gracias por su apoyo incondicional durante todo el proceso académico; a mis profesores, por compartir su conocimiento y experiencia; al tutor Juan Chica encargado del seguimiento para este proyecto y a la institución que hizo posible mi formación profesional.

Resumen

El presente proyecto de grado tiene como objetivo principal analizar y proponer un diseño para la implementación de la automatización e integración de la cortadora al vuelo con una tecnología de corte en frío con sierra a una línea de Molino de Tubo, esta recibirá el nombre de TUB01. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo pues esta máquina utiliza tecnología de cizallamiento, esta tecnología se basa en cortar el tubo con un fuerte impacto lo que genera una problemática relacionada con el corte. Se ha utilizado una metodología de tipo descriptiva aplicada a cada etapa del proyecto con el fin de obtener información relevante y confiable. Con el propósito de ejecutar el proyecto se ha suministrado a la máquina varios equipos electrónicos y mecánicos, como son un controlador, servomotores controlados por drives o variadores de velocidad marca yaskawa, además consta de una periferia de sensores, válvulas, mordazas Neumáticas. el alcance para este proyecto es realizar la automatización completa de esta máquina, realizando el diseño de la programación y la elaboración de pantallas HMI para la integración con el personal de producción, todas las señales estarán integradas a un tablero de control donde estará aplicado todo el control y la fuerza de la máquina cortadora. Para la sincronización del este sistema de corte a la línea de Molino de Tubo01, se requiere detener la máquina de producción para eliminar los problemas con el sistema de corte.

Palabras clave: automatización industrial, cortadora al vuelo, corte en frío, control de movimiento, integración de sistemas.

Abstract

The main objective of this undergraduate project is to analyze and propose a design for the automation and integration of an on-the-fly cutting machine with cold saw cutting technology into a tube mill line, which will be named TUB01. The research was developed using a qualitative approach because this machine uses shearing technology, which is based on cutting the tube with a strong impact, generating a problem related to the cutting process. A descriptive methodology was applied to each stage of the project in order to obtain relevant and reliable information. To execute the project, the machine was equipped with various electronic and mechanical components, such as a controller, servomotors controlled by Yaskawa drives or variable frequency drives, and a peripheral set of sensors, valves, and pneumatic clamps. The scope of this project is to fully automate this machine, including designing the programming and developing HMI screens for integration with production personnel. All signals will be integrated into a control panel where we will manage all the control and power of the cutting machine. To synchronize this cutting system with the Tube Mill TUB01 line, it is necessary to stop the production machine to troubleshoot any issues with the cutting system.

Keywords: industrial automation, on-the-fly cutting, cold cutting, motion control, systems integration.

Tabla de Contenido

Introducción	12
Planteamiento del Problema o Fundamentación.....	13
Definición del Problema.....	13
Justificación	15
Objetivos.....	17
Objetivo General	17
Objetivos Específicos.....	17
Marco Teórico.....	18
Marco Conceptual.....	22
Metodología.....	30
Resultados.....	34
Especificaciones Técnicas.....	34
Diseño de Planos Eléctricos	41
Diseño de Programación y Algoritmos de Control	48
Implementación de Controles de Seguridad en el Sistema	97
Integración de la Seguridad en la Operación del Sistema.....	102
Plan de Mantenimiento.....	105
Conclusiones.....	110
Referencias Bibliográficas	112
Apéndices.....	115

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Plan de Mejora</i>	104
Tabla 2 <i>Actividades de Mantenimiento</i>	107

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Sistema de Corte Actual en Molino de TUB01</i>	14
Figura 2 <i>Diagrama de Bloques de un Sistema de Control en Lazo Cerrado</i>	21
Figura 3 <i>Controlador de Movimiento</i>	24
Figura 4 <i>Servomotor</i>	25
Figura 5 <i>Encoder Incremental</i>	27
Figura 6 <i>Lenguajes de Programación PLC IEC-61131</i>	29
Figura 7 <i>Molino de Tubería Proceso de Fabricación</i>	30
Figura 8 <i>Sistema de Corte al Vuelo Sobre el Proceso de Molino de Tubería</i>	31
Figura 9 <i>Sistema de Corte al Vuelo Sobre el Proceso de Molino de Tubería Vista Superior</i>	31
Figura 10 <i>Diagrama de Flujo de Metodología a Emplear</i>	33
Figura 11 <i>Ejemplo de Aplicación Física</i>	34
Figura 12 <i>Croquis de la Aplicación</i>	35
Figura 13 <i>Croquis de la Aplicación del Sistema De Corte</i>	36
Figura 14 <i>Gráfico Perfil de Leva Electrónico</i>	37
Figura 15 <i>Perfil de Leva Electrónico con Parámetros</i>	39
Figura 16 <i>Perfil CAM Cambia por la Velocidad</i>	40
Figura 17 <i>Portada Planos Eléctricos</i>	42
Figura 18 <i>Topología</i>	42
Figura 19 <i>Diagrama de Alimentación Drive Bancada</i>	43
Figura 20 <i>Diagrama de Alimentación Drive Cuchilla</i>	44

Figura 21 <i>Diagrama de Alimentacion Módulos Controlador</i>	44
Figura 22 <i>Entradas Digitales</i>	45
Figura 23 <i>Salidas Digitales</i>	45
Figura 24 <i>Módulo Análogo</i>	46
Figura 25 <i>Módulo Drive y Encoder Bancada y Cuchilla</i>	46
Figura 26 <i>Drive Sierra de Corte</i>	47
Figura 27 <i>Encoder del Material</i>	48
Figura 28 <i>Rutina INT</i>	49
Figura 29 <i>Algoritmo de INT</i>	49
Figura 30 <i>Diagrama de Flujo del Algoritmo INT para el Sistema de Corte al Vuelo</i>	53
Figura 31 <i>Rutina IO</i>	54
Figura 32 <i>Algoritmo IO</i>	54
Figura 33 <i>Bloque MAIN</i>	56
Figura 34 <i>Algoritmo de MAIN</i>	57
Figura 35 <i>Diagrama de Flujo del Algoritmo MAIN del Sistema de Corte al Vuelo</i>	60
Figura 36 <i>Rutina Monitor</i>	61
Figura 37 <i>Bloque PE</i>	62
Figura 38 <i>Rutina Portacuchilla</i>	63
Figura 39 <i>Etapa Inicial del Algoritmo Portacuchilla</i>	64
Figura 40 <i>Rutina Calculo_Tiempos</i>	67
Figura 41 <i>Fórmula Utilizada</i>	69

Figura 42 <i>Cálculo de la Velocidad Máxima de la Línea</i>	69
Figura 43 <i>Rutina Home_Bancada</i>	70
Figura 44 <i>Rutina Home_Cuchilla</i>	73
Figura 45 <i>Algoritmo Home Cuchilla</i>	76
Figura 46 <i>Rutina Calculo de Leva</i>	77
Figura 47 <i>Ecuación para la Distancia Total Necesaria para el Retorno del Carro de Corte</i>	78
Figura 48 <i>Cálculo del Porcentaje de Avance del Material para el Retorno</i>	79
Figura 49 <i>Rutina Manual Bancada y Manual Cuchilla</i>	80
Figura 50 <i>Cuchilla Manual</i>	81
Figura 51 <i>Fórmula Calcula las RPM de la Sierra</i>	82
Figura 52 <i>HMI Pantalla de Inicio</i>	83
Figura 53 <i>HMI Manual y Home</i>	84
Figura 54 <i>HMI Parámetros Manual y Home</i>	84
Figura 55 <i>HMI Automático</i>	85
Figura 56 <i>HMI Parámetros Tubos</i>	85
Figura 57 <i>HMI Recetas Tubos</i>	86
Figura 58 <i>HMI Entradas Sistema de Corte</i>	86
Figura 59 <i>HMI Monitor Eje</i>	87
Figura 60 <i>HMI Alarmas</i>	87
Figura 61 <i>HMI Parametro Simulado</i>	88
Figura 62 <i>Pantalla HMI</i>	88

Figura 63 <i>Sistema de Corte a Instalar</i>	94
Figura 64 <i>Tablero de Control Sistema de Corte</i>	95
Figura 65 <i>Tablero se Drivers Sistema de Corte</i>	96
Figura 66 <i>Sistema de corte Instalado</i>	97
Figura 67 <i>Guarda de Seguridad</i>	99
Figura 68 <i>Consola de Operaciones con Parada de Emergencia</i>	99
Figura 69 <i>Algoritmo de Rutina para Paradas del Sistema</i>	100
Figura 70 <i>Algoritmo de Rutina para Paradas del Sistema Parte 2</i>	101
Figura 71 <i>Programa Desarrollado en Motion Control 5.</i>	101
Figura 72 <i>Tubería con Nuevo Sistema de Corte</i>	103

Lista de Apéndices

Apéndice A <i>Especificaciones Técnicas MC403</i>	115
Apéndice B <i>Especificaciones Técnica CAN-16-in Digital</i>	116
Apéndice C <i>Servopack and Rotary Servomotor (400V Power)</i>	117

Introducción

La industria del acero está presente en la vida cotidiana y contribuye al desarrollo sostenible, a través de sus características únicas de resistencia y durabilidad, el acero es una aleación de hierro y carbono que está presente todo el tiempo en la vida cotidiana. En edificios y puentes, en los automóviles, en las latas de alimentos y en instrumental de la más alta tecnología, es resistente liviano, maleable y completamente reciclable, el acero según como se lo procese cumple infinidad de funciones, por lo tanto, contribuye al desarrollo de las más variadas industrias.

En este proyecto se considera que la tubería comercial y estructural tiene un papel determinante en la cadena metalmeccánica, y por ello, la propuesta es diseñar e implementar la automatización e integración de la cortadora al vuelo con la línea de Molino TUB01, pues la excelencia en la fabricación de cada tubo de acero depende un buen corte en la tubería.

Esta tubería es utilizada en la industria de la construcción civil, especialmente en estructuras metálicas y es llamada tubería estructural, existe la tubería comercial aplicada en encerramientos perimetrales, pasamanos, carpintería metálica corrales y uso ornamentales su recubrimiento es galvanizado gracias a la ayuda del zinc ayuda a extender el tiempo de vida del producto, Su importancia en el mercado anima aportar un grano de arena con este proyecto.

Planteamiento del Problema o Fundamentación

Definición del Problema

El problema detectado en la línea de molino de tubo estructural, denominada TUB01, se origina en la etapa de corte del producto. El sistema actual, que se muestra en la Figura 1 basado en una prensa neumática con tecnología de cizallamiento, opera mediante un impacto de alta energía para realizar el corte de la tubería.

Este método de impacto severo genera el denominado "efecto corazón", un defecto geométrico en los bordes del tubo que compromete la integridad dimensional del producto. Actualmente, esta deficiencia obliga a realizar trabajos adicionales de rectificación y corte de extremos para minimizar el daño; sin embargo, dichas medidas no eliminan el defecto de raíz, afectando la calidad final y derivando en reclamos por parte de los clientes. En consecuencia, la imagen de calidad de la empresa y los índices de productos no conformes en la línea TUB01 se ven seriamente perjudicados.

El proyecto va aplicado en mejorar la calidad en las terminaciones de las superficies de sus productos (tubería) de la TUB01, este proyecto se enfoca en la automatización, donde se procuran la reducción de costos de fabricación, mejorar los procesos de calidad en los medios de producción y liberar al personal de producción de las tareas tediosas, peligrosas e insalubres.

La automatización e integración de la máquina cortadora al vuelo en frío con sierra enlazada con la línea de TUB01 eliminara el problema del efecto corazón del tubo además un corte sincronizado en el proceso de producción, lo que genera más calidad y más seguridad.

Figura 1

Sistema de Corte Actual en Molino de TUB01



Nota. Diseño propio.

Justificación

Con este proyecto se busca mejorar la calidad del tubo producido en la línea de Molino de Tubo 1, se denominada TUB01. La selección del sistema de corte de tubería constituye un aspecto fundamental dentro de una línea de producción industrial, ya que influye directamente en la calidad del producto final, la eficiencia del proceso y los costos operativos. En este contexto, surge la necesidad de evaluar y comparar la cortadora por cizallamiento por impacto y la cortadora al vuelo por corte en frío con sierra, con el fin de determinar la alternativa más adecuada según los requerimientos técnicos y productivos.

La cortadora por cizallamiento por impacto, que se encuentra actualmente en la línea de proceso TUB01, se caracteriza por su simplicidad mecánica y bajo costo de implementación, siendo una opción viable para procesos de producción de baja complejidad, especialmente en tuberías de pared delgada y donde la precisión dimensional no es un factor crítico. No obstante, este sistema genera deformaciones en el material, rebabas y variaciones en la longitud de corte, lo que impacta negativamente la línea de producción en empresas que exigen altos estándares de calidad y repetitividad. Este defecto, conocido como “defecto corazón”, genera reclamos constantes en la industria de tubería comercial debido a las exigencias de su aplicación en el mercado. El proyecto está orientado a eliminar los sobrecostos actuales generados por la remoción manual de dicho defecto y a aumentar la confiabilidad de la máquina.

La cortadora al vuelo por corte en frío con sierra permite realizar el corte sin detener la línea de producción, garantizando una mayor precisión, mejor acabado superficial y mínima deformación del material. Además, al no emplear procesos térmicos, se preservan las

propiedades mecánicas de la tubería, lo cual resulta indispensable en aplicaciones estructurales e industriales. Aunque este sistema implica una mayor inversión inicial y un mayor nivel de automatización, sus beneficios en términos de productividad, calidad y reducción de reprocesos justifican su implementación en procesos de producción continua y de mayor exigencia técnica.

En términos de seguridad para los operadores y el entorno de trabajo, se evidencia que la cortadora por cizallamiento por impacto genera un golpe brusco durante el proceso de corte, lo que produce altos niveles de ruido y vibraciones. Esta condición incrementa el riesgo de fatiga auditiva, lesiones musculoesqueléticas y fallas estructurales en la máquina. Adicionalmente, el mecanismo de impacto puede provocar la proyección de fragmentos, deformaciones del material y una menor estabilidad del tubo durante el corte, aumentando la probabilidad de accidentes si no se implementan protecciones adicionales.

Por su parte, el sistema de corte al vuelo por corte en frío con sierra se caracteriza por un proceso de corte progresivo y controlado, lo que reduce significativamente las vibraciones y permite mantener niveles de ruido más estables y bajos en comparación con el sistema por impacto. Asimismo, este tipo de cortadora incorpora sistemas de sujeción, carenados de seguridad, sensores y controles automatizados, lo que minimiza la intervención directa del operario y reduce el riesgo de atrapamientos, golpes o cortes accidentales.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar un sistema de corte al vuelo automatizado e integrado con la línea de procesos de Molino de Tubo (TUB01).

Objetivos Específicos

Aplicar los fundamentos físicos y teóricos para el análisis y diseño de un sistema de sincronización de velocidades entre la tubería en movimiento y el mecanismo de corte, para la optimización el proceso de corte al vuelo mediante el estudio del comportamiento dinámico y el mecanismo de separación del material.

Desarrollar la programación y algoritmos de la secuencia de control del sistema en el software del PLC, integrando variadores y sensores, de acuerdo con los parámetros operativos de la línea Molino de Tubo TUB01, analizando la estabilidad dinámica del sistema ante cambios de velocidad y dimensiones de la tubería.

Determinar los requerimientos físicos, eléctricos, electrónicos y mecánicos necesarios para la implementación de un sistema de corte al vuelo por sierra en la línea de tubería.

Implementar controles de seguridad físicos y lógicos para garantizar una operación segura para el operario y el equipo.

Marco Teórico

La globalización ha forzado a las empresas a ser más competitivas y para ello se han sometido a una continua búsqueda y diseño de mejores estrategias para fortalecer su competitividad. Actualmente, la alta calidad en los productos y servicios es uno de los criterios más importantes de desempeño dentro de la administración de operaciones, en las empresas.

En tiempos actuales, los modelos como seis sigma y manufactura esbelta se han enfocado en la eliminación total de los defectos en la elaboración, tanto de productos como de servicios, incluyendo de la eliminación siete tipos de “desperdicios” que se forman durante las operaciones de las empresas, especialmente lo referente a sobre producciones, tiempos perdidos, transportes, procesos, inventario, movimientos y defectos.

Por lo tanto, para eliminar los desperdicios causados por los flujos irregulares durante los procesos de producción se apuesta por la sistematización de operaciones, lo cual se debe realizar con base en el producto, de tal forma que facilite el movimiento entre las diferentes estaciones de trabajo, así como el balance de trabajo para cada una de sus operaciones.

Diversos estudios han demostrado que la automatización favorece la calidad, es decir, que algunos modelos actuales, como seis sigma y manufactura esbelta, se han incorporado a la automatización de procesos como uno de sus principios básicos. Entre los beneficios se encuentran que la incorporación de maquinaria automatizada permite al proceso ser robusto y productivo, en este sentido puede apoyar al aseguramiento de entregas en tiempo, y una producción de tipo “pull”, la cual se enfoca a la reducción de confusiones e inventarios. Así mismo, la automatización de la producción reduce los tiempos de preparación, de seguridad

laboral, y como consecuencia obtener mayor rendimiento, de hecho, se afirma el principio en el que el aumento de flujo de efectivo depende del aumento de la flexibilidad y confiabilidad de estos, los cuales son favorecidos con a través de la automatización. (García, García, & Vidales, 2019)

Para el desarrollo ágil del proceso de automatización se utilizan cuatro tecnologías desarrolladas en el grupo que logran acortar los tiempos de ejecución garantizando la calidad del resultado y que representan resultados de innovación.

Las mismas son:

Tecnología de software basada en autómatas programables para la automatización de procesos industriales: comprende la programación de los Controladores Lógicos Programables (PLCs) y el diseño de las interfaces de operación, orientada al cumplimiento de las regulaciones.

Tecnología para el diseño eficiente de los sistemas eléctricos y neumáticos: basada en una herramienta de diseño asistido por computadora altamente automatizada para el diseño de diagramas eléctricos y neumáticos con generación de listados de materiales de manera automática según catálogos.

Tecnología de software para la administración de los reportes por lotes que garantiza la trazabilidad del proceso y satisface las regulaciones.

Tecnología para la generación del sistema documental que soporta todo el producto de automatización desarrollado y el cumplimiento de las normas técnicas. (Concepción, y otros, 2022)

La automatización facilita la expansión industrial y favorece la creación de empleos especializados. Sin embargo, en los países cuya población tiene niveles de educación bajos, el riesgo es mayor en tanto no hay posibilidades de tomar puestos especializados para los empleados que serían reemplazados.

El riesgo es abrir aún más la brecha de la desigualdad a causa de la automatización que reducirá las plazas en el mercado laboral. La automatización afecta a funciones rutinarias en producción y a los empleos de servicio. Sin embargo, las personas prefieren que los robots hagan el trabajo “peligroso, sucio o aburrido”, como los empleos que requieren memorización, habilidades de percepción precisa y trabajos de servicio. (Inzunza Acedo, Wright, Ghys, & Cools, 2020)

Automatización y control del movimiento. El control automático del sistema de corte al vuelo se fundamenta en teorías de control clásico y moderno. El uso de sensores, encoders y controladores permite sincronizar la velocidad del carro de corte con la tubería, manteniendo la precisión durante el proceso. Un sistema de control bien diseñado mejora la repetibilidad del corte, reduce errores dimensionales y aumenta la eficiencia general de la línea de producción. (Ogata, 2010)

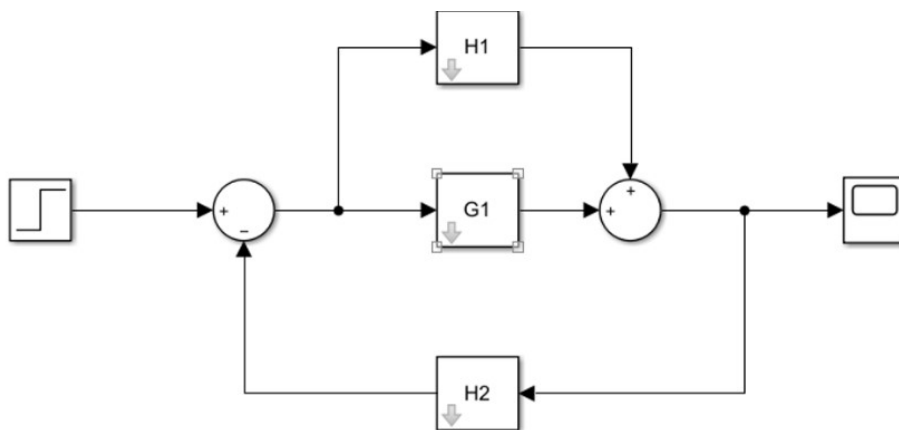
Sistemas de control de lazo cerrado o realimentados como se observa en la **Figura 2** es un sistema de control de lazo cerrado es aquel donde la información de salida del proceso retorna hacia algún punto de lazo de control, generalmente hasta la entrada del sistema, donde se compara con un valor deseado de operación llamado set point o punto de consigna. Si el valor de la variable de salida del sistema se puede comparar con el valor deseado, se puede conocer la

diferencia o error existente entre lo deseado y lo real, permitiendo tomar acciones de corrección para mejorar la precisión y eficiencia del sistema.

Una señal es la alteración de una magnitud física utilizada para la transferencia de información. Existe una amplia clasificación para las señales, La primera es en continua y discretas. Las señales continuas cuentan con una magnitud bien definida en el tiempo, Por su parte una señal discreta corresponde a una señal con un dominio en el tiempo, que solo se encuentra bien definido para ciertos instantes, pudiéndose representar como una secuencia. (Moreano Sánchez, Tafur Sotelo, & Sánchez Oñate, 2024)

Figura 2

Diagrama de Bloques de un Sistema de Control en Lazo Cerrado



Nota. Tomado de <https://controlautomaticoeducacion.com/control-realimentado/diagrama-de-bloques/>

Marco Conceptual

La manufactura automatizada de productos industriales surge de la estrecha relación entre la economía y la innovación basada en la ingeniería. Este tipo de desarrollo del siglo XVIII llegó a sobrepasar los desarrollos de épocas precedentes, siendo los aportes más significativos como la división del trabajo, la transferencia de energía, la mecanización de las fábricas, el desarrollo de máquinas de transferencia de potencia y movimiento, los sistemas de alimentación, la sustitución de energía humana por energías basadas en combustibles fósiles y energías renovables. (Chaves, 2023)

Se entiende a la automatización como el uso de un dispositivo mecánico, eléctrico, electrónico, etcétera, para minimizar o sustituir en un proceso a un operador humano, Derivado de lo anterior, puede afirmarse que existieron múltiples dispositivos no computacionales que fueron usados a lo largo de mucho tiempo para crear, mejorar y extender servicios; aumentar la calidad y el alcance de estos; reducir tiempos, esfuerzos y costos en los procesos, etcétera. (Márquez, 2019)

La transformación efectuada por la revolución 4.0 también está cambiando las relaciones entre las máquinas y los humanos. Si bien, un experto en sistemas puede desarrollar un software para que la computadora obedezca cualquier comando, las máquinas han comenzado a mejorar por sí mismas. Debido a la inteligencia artificial que utilizan, pueden encontrar fallas en su sistema para facilitar las labores de ingenieros, incluso, aprender de ellas y poder controlar de manera autónoma/predictiva su comportamiento. (Deacero, 2021)

Los sistemas de automatización industrial son rentables en cuanto a retorno de inversión, operan únicamente con gastos de mantenimientos que pueden ser planificados y realizan actividades que, en otras circunstancias, requeriría de mucho personal humano.

(Kuzu, 2022) afirma que bien implementados los sistemas de automatización, optimizan el uso de materiales, por lo que se evita el desperdicio de materia prima, siendo en casi todos los escenarios más eficientes que el hombre, en trabajos mecánicos.

La nueva visión de las industrias viene orientada a través de la implementación de sistemas globalizados autónomos e inteligentes, sistemas que puedan automatizar y tomar decisiones por su cuenta de forma colaborativa.

Para alcanzar eso, se requiere un mínimo de eficiencia productiva que permita escalar la industria actual a la creciente era 4.0, por lo que la automatización de los procesos industriales es más una necesidad que una alternativa. (edsrobotics, 2020)

Los fabricantes de maquinaria que necesitan optimizar el rendimiento del ciclo de movimiento de una máquina suelen recurrir a un controlador de movimiento específico. (Alexander, 2025) afirma que un controlador de movimiento permite un control rápido y preciso de los servomotores, que a menudo implica la coordinación de tres o más ejes, algo que se requiere en aplicaciones que abarcan desde el envasado hasta la fabricación de productos electrónicos.

Los controladores de movimiento dedicados como se observa en la Figura 3, se incorpora un motor de movimiento en tiempo real que ejecuta comandos de movimiento y coordina servomotores mediante un protocolo de comunicación determinista de alta velocidad.

Esto también permite que los controladores de movimiento resuelvan interrupciones a alta velocidad, un enfoque conocido como "activación por contacto". Cuando se produce un evento en la máquina que requiere atención, la reacción a la señal ocurre en microsegundos.

(Alexander, 2025)

Figura 3

Controlador de Movimiento



Nota. Tomado de <https://www.directindustry.es/prod/trio-motion-technology/product-54838-1081681.html>

Independientemente de la escala, el controlador de movimiento es el hardware central de una máquina que depende de la velocidad, la precisión y la coordinación. (Novak, 2025) afirma que un punto de partida en la especificación es considerar el número de servoejes que el controlador puede coordinar, junto con sus capacidades de rendimiento de movimiento.

Los motores de movimiento flexibles como lo muestra la Figura 4, permiten a los ingenieros utilizar diversos lenguajes y herramientas IEC 61131-3, incluyendo bloques de

función PLCopen. Sin embargo, los lenguajes dedicados a la programación de movimiento suelen permitir un desarrollo más rápido y preciso. (Kennelly, 2025) confirma que estos lenguajes suelen utilizar comandos nativos del inglés que facilitan la creación y revisión de programas de movimiento, en comparación con lenguajes como el diagrama de escalera, que siguen un formato en cascada.

Figura 4

Servomotor



Nota. Tomado de https://www.yaskawa.es/productos/servo-motors/rotary-servomotors/seriesdetail/serie/sgm7j_1783

Uno de los equipos que tiene mayor influencia en el proyecto es el codificador incremental, estos dispositivos rotativos como lo muestra la Figura 5, se utilizan ampliamente en muchas aplicaciones, como el mecanizado esférico, los manipuladores multieje, generalmente

como retroalimentación de accionamientos o para el posicionamiento de telescopios astronómicos, etc. No solo estas aplicaciones requieren una medición de ángulos de alta precisión con suficiente resolución. (Šindelář, 2018)

El fabricante del Encoder incremental rotatorio garantiza una desviación absoluta en condiciones de funcionamiento exactamente determinadas, especialmente en cuanto a tolerancias de montaje, efectos ambientales y un procesamiento electrónico adecuado (interpolador, frecuencia de un contador). El valor dado del error absoluto del sensor representa el peor caso posible y afecta a todos los puntos de medición por igual.

Los factores que influyen en la precisión total se pueden dividir en dos grupos:

El primer grupo está representado por errores inherentes y se origina en el proceso de fabricación. Estos errores inherentes provienen principalmente del disco de escala del codificador debido a la graduación no uniforme, la precisión limitada del proceso de escaneo, la excentricidad del patrón óptico y el centro geométrico del disco de escala, la redondez de la escala o la desviación radial del rodamiento integral. Estas y otras influencias similares se incluyen en las especificaciones del sensor. (Šindelář, 2018)

Figura 5*Encoder Incremental*

Nota. Tomado de <https://www.rockwellautomation.com/en-us/products/details.847H-DN2A-RG00500.html>

Uno de los equipos que contiene encoder son los servomotores, se podría decir que un servomotor es un motor, la principal propiedad es que cuenta con un sistema de realimentación (encoder), el cual le indica al servo drive (controlador del servomotor) la posición en la que se encuentra el eje del servomotor y le corrija la posición, en caso que no fuese la correcta. De este modo, puede enmendar (en tiempo real) los errores de posición, y obtener una muy alta precisión.

Para tener una referencia del nivel de precisión que se puede conseguir, los servomotores de Micro pueden alcanzar una resolución de un millón doscientos ochenta mil (1.280.000) pulsos por vuelta. (Revista, 2017)

Otros de los conceptos que se aplica para el proyecto es el perfil CAM (Manufactura Asistida por Computadora) se encarga de la parte fabricación del producto en sí, por lo que cuando estas herramientas son utilizadas de manera efectiva, se mejora la precisión, eficiencia y la calidad en la ingeniería que son en realidad los objetivos que se buscan. (Muñoz Escudero & Calzadilla Urriola, 2025)

El perfil CAM es una tecnología vital para la era de la Industria 4.0 y la fabricación inteligente, ya que permite ayudar a superar los desafíos y aprovechar las oportunidades que relacionadas con la automatización industrial. (Muñoz Escudero & Calzadilla Urriola, 2025) Mediante el uso de software CAD/CAM, ayuda los principios de diseño como la fabricación, integración, gestión de datos, automatización, optimización, conectividad y colaboración e innovación y personalización, lo cual puede mejorar nuestras capacidades y resultados de diseño y fabricación.

Uno de los aspectos fundamentales del proyecto corresponde al lenguaje de programación utilizado, el texto estructurado (ST) es un lenguaje de programación reconocido por el estándar IEC y se utiliza cada vez con más frecuencia en automatización. El lenguaje ST es una versión simplificada del lenguaje de programación C o C++, su sintaxis es muy similar, por lo que, si está familiarizado con alguno de los lenguajes C, el lenguaje ST le resultará muy cómodo.

El lenguaje ST utiliza una serie de sentencias para controlar variables y salidas. Si desea comparar una expresión booleana, puede usar una sentencia IF. Algunas sentencias permiten al

programador recorrer un array de datos y realizar funciones, mientras que otras ejecutan una tarea hasta que una expresión booleana sea verdadera o falsa. (Dietrich, 2022)

Algunas reglas básicas de la sintaxis:

En primer lugar, todas las declaraciones en texto estructurado finalizarán con punto y coma. Una rutina se cerrará con una declaración End_If.

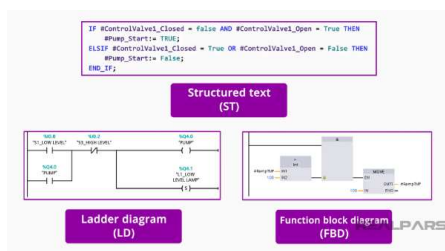
Los espacios y las tabulaciones no son necesarios, pero un buen programador los utilizará igualmente para facilitar la lectura.

Además, el texto estructurado no distingue entre mayúsculas y minúsculas, pero si está asignando una variable, conocida como etiqueta o un símbolo como válvula de control 1, entonces usar camelCase ControlValve1 es una buena práctica.

Otra sintaxis muy común y útil del texto estructurado es el uso de comentarios. Como programador principiante, el uso de comentarios es esencial para crear código legible posteriormente. (Duranso, 2021)

Figura 6

Lenguajes de Programación PLC IEC-61131



Nota. Tomado de <https://www.realpars.com/blog/structured-text>

Metodología

La metodología aplicada en este trabajo consta de varios pasos principales descritos a continuación. El primer paso consta de una verificación e investigación de los tipos de sistema de corte al vuelo para molinos de tubo en el mercado industrial, Se realiza un estudio a nivel de ingeniería para ver la aplicación que requiere el molino de tubería TUB01 como se observa en la Figura 7

Figura 7

Molino de Tubería Proceso de Fabricación



Nota. Tomado de <https://aoganglatinoamerica.com/molinos-de-tuberia/>

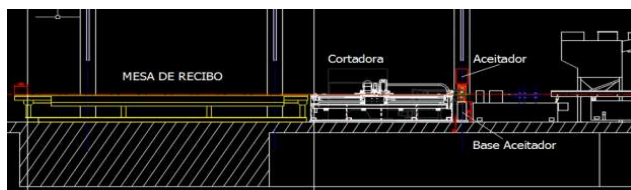
La primera variable tomada en este estudio fue la velocidad, por ser una máquina que su velocidad no es muy alta, se aplica un sistema de corte lineal, de lo contrario se debería haber implementado un sistema de corte al vuelo rotativo, teniendo en cuenta que existen varios tipos de sistemas lineales de corte al vuelo, se procede a agrupar los más acordes según la manera cómo sale el material de procesos de TUB01, para este proyecto el molino de TUB01, emplea productos que salen de fabricación en voladizo, como lo es la tubería cuadrada o redonda ya se

estructural o comercial, para estos cortes normalmente se necesita un cierto tiempo para realizar el proceso corte.

Segundo paso, se describe la aplicación de corte, según el proceso de molino de tubería TUB01. En este tipo de corte al vuelo lineal el producto está en voladizo y el tiempo de corte es considerable. El carro que mueve el sistema de corte se desplaza sobre el mismo eje del material a cortar y sirve de punto de apoyo y sujeción durante el proceso, lo podemos visualizar en el plano que muestran la Figura 8 y la Figura 9

Figura 8

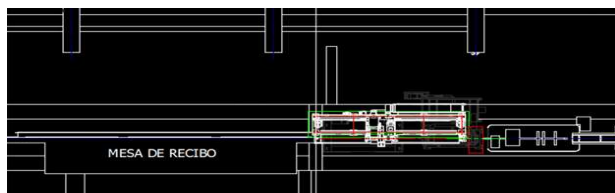
Sistema de Corte al Vuelo Sobre el Proceso de Molino de Tubería



Nota. Diseño propio. Vista lateral

Figura 9

Sistema de Corte al Vuelo Sobre el Proceso de Molino de Tubería Vista Superior



Nota. Diseño propio.

Tercer paso, se describe el know-How de una aplicación para el corte al vuelo lineal, basado en nuestra línea de tubería TUB01, se desarrolla la física a la aplicación de corte al vuelo, se observa como sincronizar un equipo estático con uno en movimiento, en este paso se evidencia la forma ideal de dar solución a la problemática planteada en base a la aplicación de corte al vuelo y se diseña un perfil CAM para realizar el sincronismo en el sistema de corte al vuelo en frío con sierra.

Cuarto paso, se debe garantizar que el sistema de corte al vuelo elimine el defecto tipo corazón de la tubería fabricada por el molino de tubo y aumentar la calidad y producción del Molino de Tubo TUB01, por ende, por medio de un análisis comparativo de ventaja y desventaja, se aprueba la mejor oferta comercial recibida por parte de las licitaciones que participaran en el proyecto. En este paso se tiene presente las exigencias descritas como son operatividad, confiabilidad, seguridad, presupuesto.

El siguiente paso se basa en diseñar, desarrollar, probar, implementar y proteger el sistema de corte al vuelo con la programación del equipo principal de automatización, como el MC403 que es un coordinador de movimiento de alta especificación que utiliza un procesador ARM11 de alto rendimiento, con tres puertos de eje flexibles y dos salidas de voltaje, con el software “MotionPerfect” se utiliza para el control del sistema de corte al vuelo este debe cumplir con los requisitos necesarios con que se debe establecer el funcionamiento del sistema de corte molino de tubo TUB01.

Según lo anterior mencionado, se plantea la forma ideal de solucionar la aplicación para corte al vuelo de la línea de tubería TUB01, y diseño el perfil CAM para realizar el sincronismo

en el proceso, por lo tanto, todo esto se aplica en un algoritmo, mediante el lenguaje de texto estructurado, además, mediante un diagrama de flujo el cual detalla el paso a paso de cada función programada, se realizan pruebas de funcionamiento y ejecución del programa MotionPerfect.

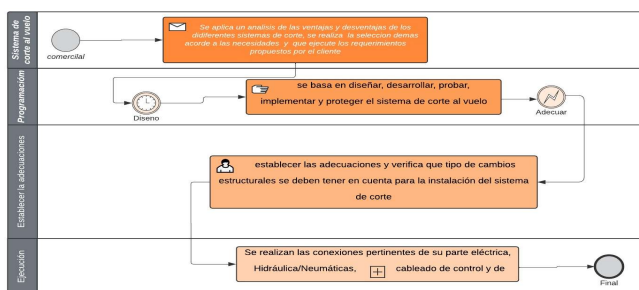
El siguiente paso consiste en establecer las adecuaciones y verificar qué tipo de cambios estructurales se deben tener en cuenta para la instalación, esto requiere personal de tipo civil.

Se necesita asignar la una nueva ubicación de máquinas y elementos que sean necesarios, el sistema de corte posee una unidad hidráulica, tablero de control y potencia, consola de mando principal.

El último paso final es la ejecución del sistema de corte al vuelo y pruebas de funcionamiento de este. Se realizan las conexiones pertinentes de su parte eléctrica, Hidráulica/Neumáticas, cableado de control y de potencia en el tablero de control del sistema de corte al vuelo, así como instalación de guardas y barandas para la seguridad de los operadores.

Figura 10

Diagrama de Flujo de Metodología a Emplear



Nota. Diseño propio.

Resultados

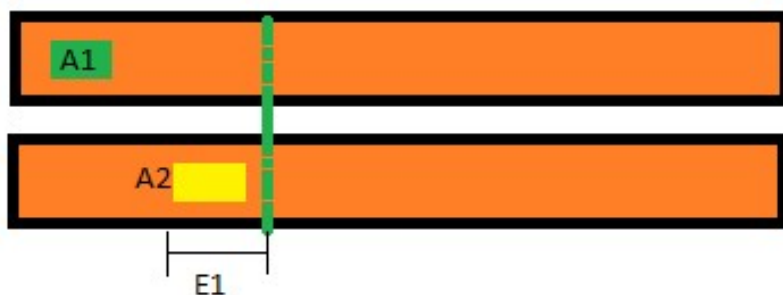
Especificaciones Técnicas

Para el presente proyecto se utiliza la aplicación para los sistemas de corte al vuelo en frío por sierra. Asimismo, se evidencia los algoritmos y se describirán los componentes eléctricos y electrónicos involucrados, detallando sus características y funciones dentro del sistema basado en la seguridad.

Con base en la aplicación como principio fundamental, se aplican los conceptos físicos relacionados con el proceso de corte al vuelo. En este tipo de aplicación, es necesario sincronizar la posición de un móvil o carro que se encuentra detenido con un material que se desplaza a una determinada velocidad. Para lograr esta sincronización, debe aplicarse el método adecuado que permita igualar la velocidad del carro con la del material en movimiento, evitando fallas por sobrevelocidad o por no alcanzar la velocidad requerida en el tiempo correcto.

Figura 11

Ejemplo de Aplicación Física



Nota. Diseño propio.

Como se observa en la Figura 11, el punto **A1**, corresponde al material, el punto **A2**, corresponde el carro detenido, El carro que mueve el sistema de corte se desplaza sobre el mismo eje del material.

El sistema inicia el movimiento del carro desde una posición previa con el fin de sincronizar su desplazamiento con el material **E1** m. (esta es la distancia antes de la línea), de forma que al pasar **A1** y **A2** por la misma línea ambos estarán sincronizados en posición y por lo tanto también sincronizados en velocidades.

Para ello, se presentará el croquis de la aplicación del sistema de corte al vuelo. A la salida de la formadora de tubos se desplaza el material, que en este caso corresponde a tubería redonda o cuadrada. Sobre este material se encuentra instalada una rueda medidora equipada con un encoder, el cual proporciona la información correspondiente al avance o desplazamiento del material.

Figura 12

Croquis de la Aplicación



Nota. Diseño propio.

La Figura 12 visualiza el encoder maestro, este dirá cuántos milímetros está avanzando el material y esta señal de pulsos retroalimentará el controlador del sistema de corte, a su vez la tubería entrará a nuestra aplicación del sistema de corte de al vuelo

Figura 13

Croquis de la Aplicación del Sistema De Corte



Nota. Diseño propio.

El sistema de corte está conformado por una bancada, sierra y carro, como se observa en la Figura 13, la sierra se mueve mediante un motor eléctrico, sube y baja mediante un tornillo sin fin, el cual mueve el sistema por un servo motor.

La bancada está conformada por el servomotor quien se encarga de mover el carro por medio de un husillo en el interior de la bancada muevo todo el sistema de corte.

Para este caso, se puede establecer que se trata de una sierra volante cíclica, ya que el material de entrada a la sierra es continuo y el proceso de corte se realiza de forma permanente.

Para una mayor claridad en la explicación, la aplicación, se implementa mediante un ejemplo real. Con el fin de lograr la máxima precisión y repetibilidad, incluso cuando la velocidad del material varíe, la solución se implementa mediante un perfil CAM.

Se aplica los siguientes parámetros:

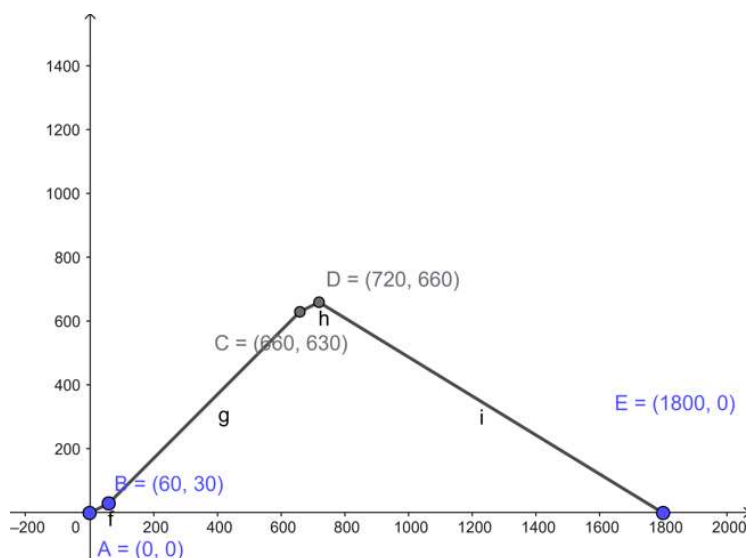
LogCorte: 1800mm longitud entre corte.

EspAcel: 60mm Espacio necesario para acelerar el carro hasta alcanzar el punto de sincronismo.

ZonaSincr: 600mm Recorrido en el cual el material y el carro están en sincronismo se puede realizar el corte.

Figura 14

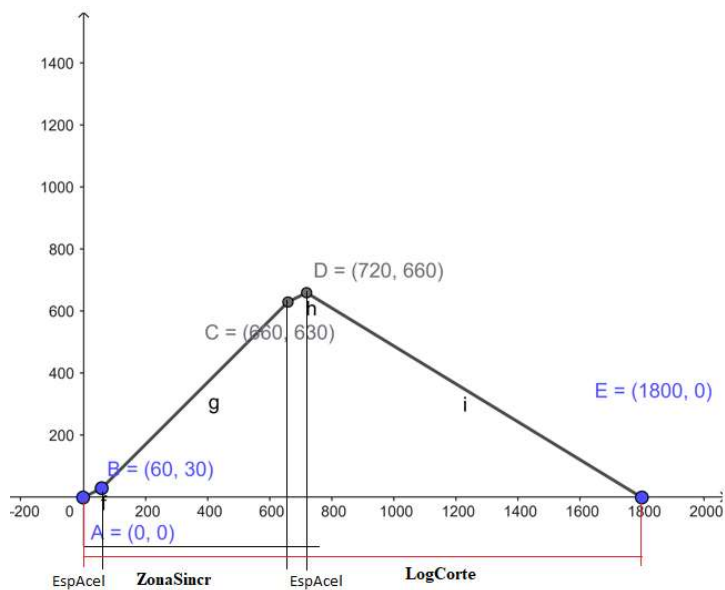
Gráfico Perfil de Leva Electrónico



Nota. Diseño propio.

Se evidencia en la Figura 14, el gráfico X, Y donde se encuentra el perfil de leva electrónico, se observa la posición 0 que es la posición de inicio de corte, porque ya han pasado 1800mm de material y se debe empezar el nuevo ciclo de corte, en este ciclo se observa como corre el espacio de aceleración 60mm, el espacio de material esta X junto con el espacio

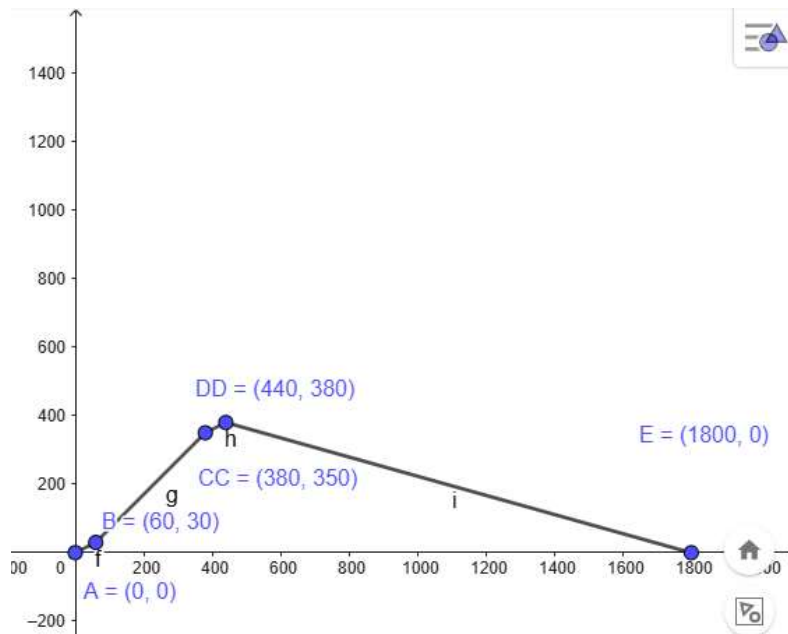
recorrido por el carro, como el material va a una velocidad constante y el carro está detenido, en este caso uno recorre el doble de velocidad que el otro, el material recorre 60mm en el eje de X implica la mitad 30mm en el eje Y, se puede concluir que el primer punto B son 60mm de material, el carro que se sincroniza habrá avanzado 30mm, (60, 30), en el segundo punto C, se entiende que el sistema debe ir en sincronismo uno a uno, lo mismo que avanza el material será lo mismo que avanza el carro que lleva la sierra, por ende si se tiene 600mm como valor de sincronismo el valor de punto B se debe sumar 600 lo que arroja como resultado (660, 630) para el punto C, con este procedimiento se logra un gran avance en el sincronismo del sistema, para el punto D, lo que se aplica, es lo mismo que en el primer punto cuando se acelera, pero en este caso lo que se aplica es desacelerar, se realiza simétricamente igual al punto B (60, 30) , en este punto se suma igual al punto C y queda (720, 660) para el punto D, se ha llegado al final del corte, por último se debe retroceder para volver a iniciar el ciclo, retroceder quiere decir volver a cero, a la distancia del encoder que sería 1800mm sería (1800, 0) el punto E, con este perfil se tendría un perfil cíclico que realizaría el trabajo con una excelente precisión, la precisión viene dada por la lectura del paso del material, para este proyecto una rueda medidora como puede definirse en la Figura 15.

Figura 15*Perfil de Leva Electrónico con Parámetros**Nota.* Diseño propio.

Este perfil resuelve perfectamente la aplicación, pero no es la solución para conseguir la velocidad máxima de corte por minuto.

Si la velocidad de la línea es baja no se necesita estar en sincronismo durante todo el tramo, A 30 m/min se podría optimizar el perfil para retornar antes al punto de inicio y así poder ganar cadencia.

Esto se consigue con un cambio instantáneo del perfil CAM, pero la velocidad de retorno al punto de inicio segura estando en función de la velocidad del material, 30m/min en este caso cuando podría ser 60.

Figura 16*Perfil CAM Cambia por la Velocidad**Nota.* Diseño propio.

Esta estrategia representa una mejora en cuanto a la velocidad para conseguir más ciclos por minuto.

Sin embargo, hay muchas mejoras para ir más rápido, la Figura 16 es un ejemplo, pero lo más importante es visualizar lo que aporta el perfil CAM, al proyecto el cual es el perfecto sincronismo entre el material y la sierra de corte.

En base a lo ante mencionado se elaboran los planos eléctricos y un texto estructurado donde se controlen todos los movimientos del sistema de corte en el controlador MC403.

Diseño de Planos Eléctricos

Eplan electric P8 es un sistema de ingeniería consistente, integrada y rápida para que se planifique y diseñe la ingeniería eléctrica de máquinas y sistemas de plantas. El software incluye una amplia variedad de métodos de ingeniería, desde la creación manual hasta enfoques estandarizados y basados en plantillas. Los datos del proyecto, una vez introducidos en el esquemático, se convierten en la base para la finalización automatizada de la documentación de las máquinas y sistemas de plantas. En resumen, EPLAN Electric P8 le ofrece mucho más que sólo esquemáticos de dibujo y diagramas de circuitos.


Los planos eléctricos permiten representar de manera clara todos los componentes del sistema, como motores, sensores, variadores de velocidad, contactores y PLC.

Con herramientas como Eplan Electric P8 se pueden organizar estos elementos de forma estructurada, facilitando la comprensión del funcionamiento del sistema de corte.

Los planos eléctricos sirven como documentación técnica del sistema, esto permite que diferentes ingenieros o técnicos puedan entender el sistema, realizar modificaciones o ampliaciones en el futuro sin perder la organización del diseño.

Figura 17

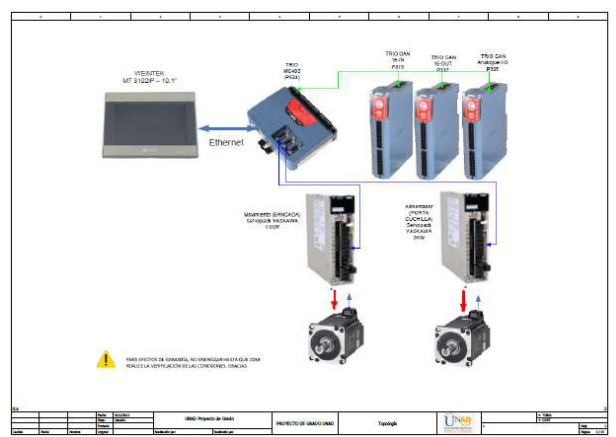
Portada Planos Eléctricos

PROYECTO DE GRADO UNAD	
	
Empresa/cliente	UNAD Proyecto de Grado
Descripción de proyecto	UNAD Proyecto de Grado
Número de diseño	1
Fabricante (empresa)	PROYECTO DE GRADO UNAD
Código	
Nombre de proyecto	Controlador Motor de Tubo TUBOS
Producto	PLANOS
Tipo	ELECTRICO - AUTOMATIZACION
Lugar de instalación	TUBOS
Responsable del proyecto	VECTOR ARADON
Creado	8/11/2023
Modificado	12/11/2023
	Número de páginas: 15

Nota. Diseño propio.

Figura 18

Topología

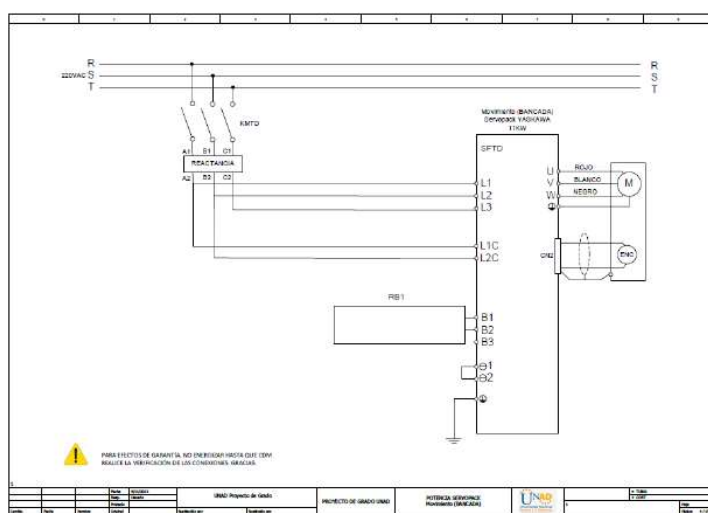


Nota. Diseño propio.

En el diagrama de la Figura 18, muestra la topología del sistema de corte del molino de tubo TUB01, muestra la HMI, junto con el controlador, sus módulos de entradas y salidas digitales y analógicas, Los drives y servomotores, además de la red de comunicación que se maneja.

Figura 19

Diagrama de Alimentación Drive Bancada



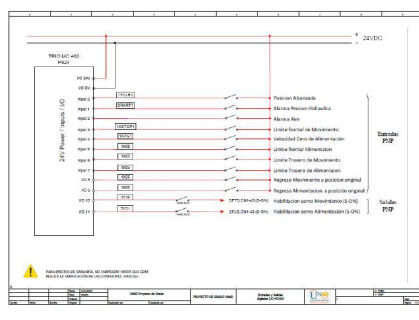
Nota. Diseño propio.

La Figura 19 abarca la distribución eléctrica del drive que controla el movimiento de la bancada, su entrada y salida para el servomotor, su unidad de frenado y alimentación del encoder absoluto.

El diagrama de la Figura 21, representa la distribución y alimentación de 24VDC de los módulos I/O digital y Análogo, además la alimentación de la Pantalla HMI y su sistema de red.

Figura 22

Entradas Digitales

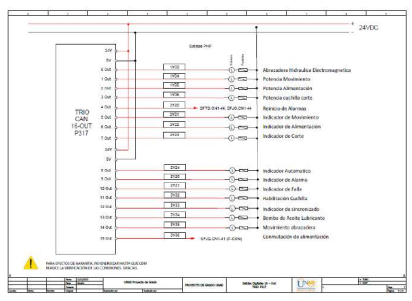


Nota. Diseño propio.

El plano eléctrico de la Figura 22 detalla las entradas al sistema incluye mandos de maniobra, paradas de emergencias, sensores límites, monitoreo de alimentación.

Figura 23

Salidas Digitales

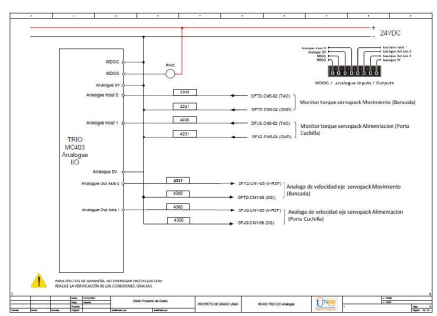


Nota. Diseño propio.

El plano eléctrico de la **Figura 23** se detalla las salidas al sistema incluye pilotos led indicadores de corte, salida a válvulas y encendido a interfases y relés.

Figura 24

Módulo Análogo

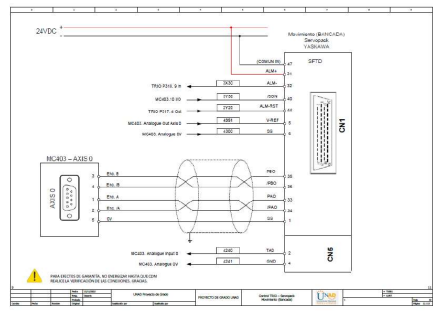


Nota. Diseño propio.

En la Figura 24 muestra el módulo analógico, su función es enviar la referencia de velocidad de los diferentes movimientos de bancada y cuchilla.

Figura 25

Módulo Drive y Encoder Bancada y Cuchilla

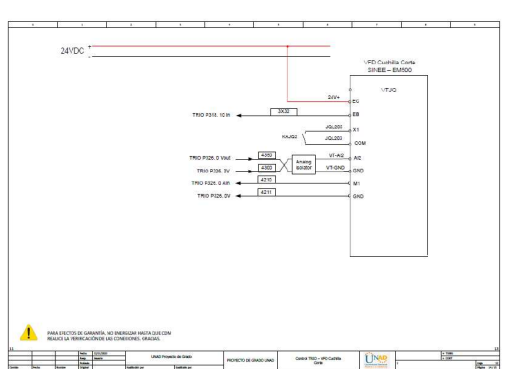


Nota. Diseño propio.

El diagrama de la Figura 25 muestra la alimentación del drive y su conexión al motor, está integrada la lectura del encoder de Servomotor de la Bancada y cuchilla, este permite tomar la lectura del encoder absoluto del motor, encoder para Servomotor, es una solución ideal para el trabajo de producción en masa que necesitan control de movimiento y velocidad.

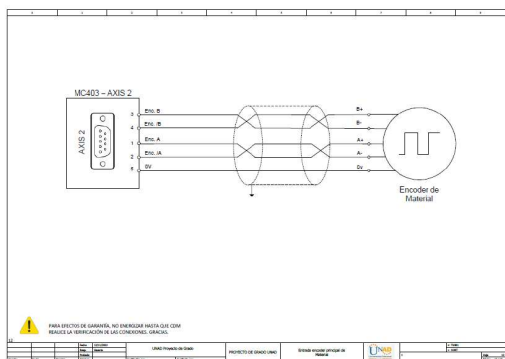
Figura 26

Drive Sierra de Corte



Nota. Diseño propio.

Se observa en la Figura 26 la salida y entradas del driver que controla la sierra que genera el corte en el tubo, este no contiene encoder, solamente se asigna una velocidad nominal.

Figura 27*Encoder del Material*

Nota. Diseño propio.

El módulo de encoder recibe la señal del Encoder que permite nuestra integración del sistema de corte con la línea de molino de tubo TUB01. Se monitorea por medio de pulsos la velocidad del tubo y permite la sincronización del sistema como lo muestra la Figura 27.

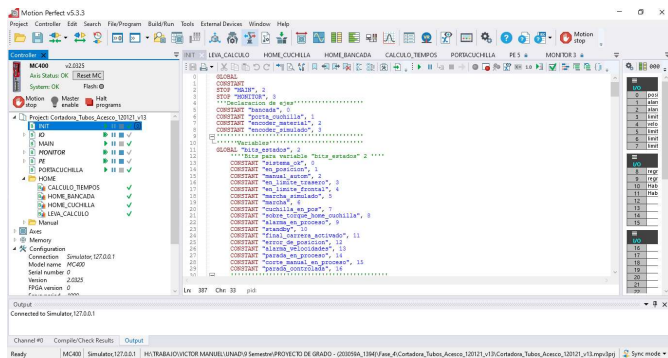
Diseño de Programación y Algoritmos de Control

El diseño de la programación está elaborado en Motion Perfect 5, este software proporciona una interfaz fácil de entender para un rápido desarrollo de aplicaciones, incluida la configuración y configuración de variadores, controladores y HMI.

Maneja variedad de comandos con todas las funciones para el desarrollo y la depuración de programas en todos los lenguajes Motion-X, desarrollo de pantallas HMI de varias páginas y herramientas de diagnóstico para la puesta en marcha de la máquina. Motion Perfect permite la configuración completa de la máquina desde un único paquete de software. Se muestra cada rutina programada por partes y cada una es llamada según el proceso a ejecutar.

Figura 28

Rutina INT



Nota. Diseño propio.

Figura 29

Algoritmo de INT

```

INIT
0 GLOBAL
1 CONSTANT
2 STOP "MAIN", 2
3 STOP "MONITOR", 3
4 ***Declaracion de ejes***
5 CONSTANT "bancada", 0
6 CONSTANT "porta_cuchilla", 1
7 CONSTANT "encoder_materiales", 2
8 CONSTANT "encoder_simulado", 3
9 *****
10 *****Variables*****
11 GLOBAL "bits_estados", 2
12 ***Bits para variable "bits_estados" 2 ****
13 CONSTANT "sistema_ok", 0
14 CONSTANT "en_posicion", 1
15 CONSTANT "manual_autom", 2
16 CONSTANT "en_limite_trasero", 3
17 CONSTANT "en_limite_frontal", 4
18 CONSTANT "marcha_simulado", 5
19 CONSTANT "marcha", 6
20 CONSTANT "cuchilla_en_pos", 7
21 CONSTANT "sobre_torque_home_cuchilla", 8
22 CONSTANT "alarma_en_proceso", 9
23 CONSTANT "standby", 10
24 CONSTANT "final_carrera_activated", 11
25 CONSTANT "error_de_posicion", 12
26 CONSTANT "alarma_velocidades", 13
27 CONSTANT "parada_en_proceso", 14
28 CONSTANT "corte_manual_en_proceso", 15
29 CONSTANT "parada_controlada", 16
30 *****
31 *****RECETAS LARGO MATERIALES*****
32 GLOBAL "largo_material", 4
33 *****
34 GLOBAL "largo_bancada", 6
35 GLOBAL "velocidad_virtual", 8
36 GLOBAL "posicion_material", 10
37 GLOBAL "desplaz_bancada", 12
38 GLOBAL "velocidad1_home_bancada", 14
39 GLOBAL "aceleracion_home_bancada", 16
40 GLOBAL "desaceleracion_home_bancada", 18
41 GLOBAL "offset_home_bancada", 20
42 GLOBAL "posicion_bancada", 22
43 GLOBAL "home", 24
44 ***Bits variable "home" 24*****
45 CONSTANT "do_home", 0
46 CONSTANT "go_home", 1
47 CONSTANT "home_done", 2
48 CONSTANT "home_en_proceso", 3
49 *****
50 *****
51 GLOBAL "velocidad_jog_bancada", 26
52 GLOBAL "manual", 28
53 *****
54 ***Bits para variable "manual" = 28*****

```

Nota. Diseño propio.

La Figura 28 se observa la rutina de inicialización del sistema se ejecuta al encender el controlador y tiene como objetivo preparar todas las variables, parámetros y estados necesarios para la operación del sistema de corte al vuelo. En esta etapa se definen los ejes del sistema, se inicializan los parámetros mecánicos y de proceso, se cargan las recetas de producción y se habilitan las tareas de supervisión y manejo de entradas y salidas del controlador.

Esta rutina prepara todo el sistema antes de que el programa MAIN comience a operar la cortadora. La instrucción INT Figura 29 indica que este bloque se ejecuta automáticamente cuando el controlador inicia.

Su función es declarar variables, definir ejes, definir estados del sistema, inicializar parámetros, ejecutar otros procesos del sistema, es básicamente la configuración inicial de toda la máquina.

Para resaltar, en esta rutina se declara los ejes a utilizar como la Bancada, portacuchilla, el encoder del material, y el encoder simulado, a su vez, se definen los datos de producción las recetas de producción.

GLOBAL "largo_material_receta".

GLOBAL "cantidad_tubos_receta".

El sistema tiene 4 referencias principales:

Bancada su función es, carro que acompaña el material.

Porta cuchilla su función es eje que posiciona la cuchilla.

Encoder_material su función es mide el avance del material.

Encoder_simulado su función es usado para pruebas.

Aquí se declara el estado del sistema y se definen las variables importantes de corte, se crea una variable de bits llamada “bits_estados,” luego se asignan los bits:

```
CONSTANT "sistema_ok", 0.
```

```
CONSTANT "en_posicion", 1.
```

```
CONSTANT "manual_autom", 2.
```

```
CONSTANT "marcha", 6.
```

```
CONSTANT "standby", 10.
```

```
CONSTANT "alarma_velocidades", 13.
```

Cada bit indica un estado de la máquina ejemplo:

Sistema_ok: sistema listo.

En_posicion: ejes posicionados.

Manual_autom: modo manual o automático.

Marcha: máquina en producción.

Standby: máquina en espera

Alarma_velocidades: error de sincronización

Esto funciona como el panel interno de estados del algoritmo.

Variables importantes para el corte:

```
GLOBAL "largo_material".
```

```
GLOBAL "largo_bancada".
```

```
GLOBAL "velocidad_virtual".
```

```
GLOBAL "posicion_material".
```

Estas variables representan:

Largo_material significa longitud del tubo a cortar.

Largo_bancada significa recorrido máximo del carro.

Posicion_material significa avance del material.

Velocidad_virtual significa velocidad simulada.

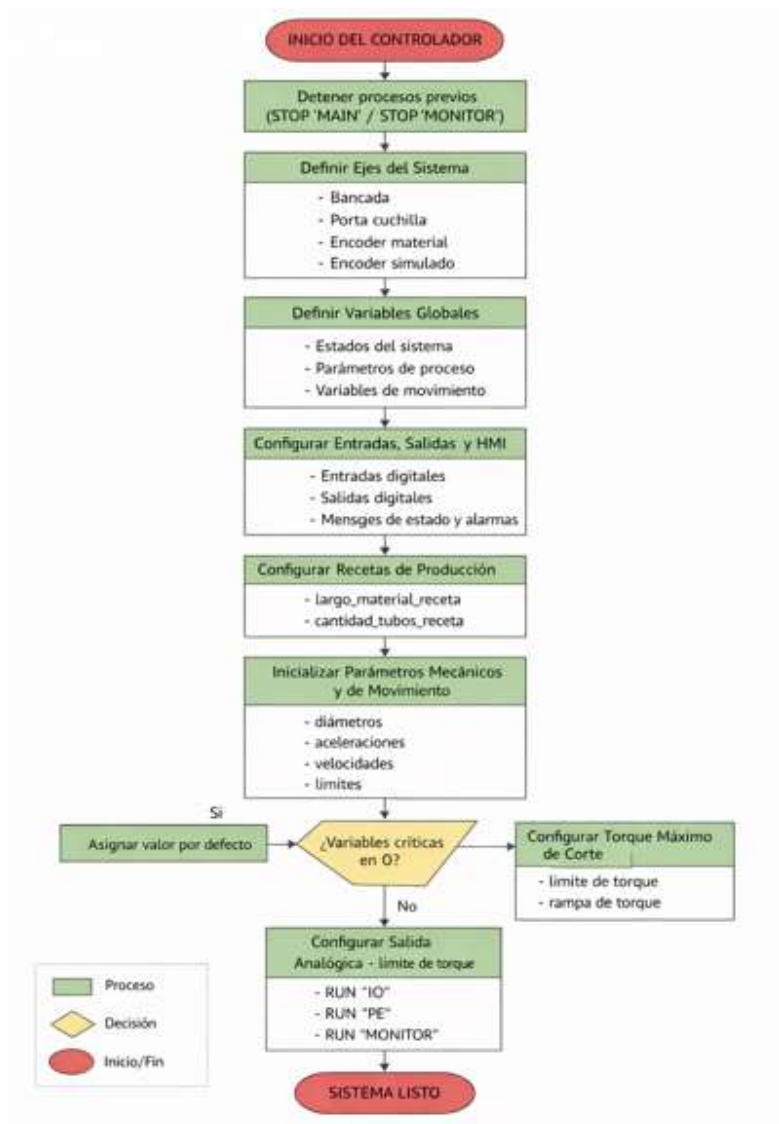
Estas variables son usadas después por el algoritmo de corte al vuelo.

En esta rutina se invoca los mensajes de estado, mensajes de alarma, se define las señales que llegan desde la pantalla, aquí aparecen variables muy importantes para el algoritmo como las distancias que definen las fases del corte al vuelo, como son la espera de material, aceleración de bancada, acople con material, corte, desacople y retorno, estas variables controla el movimiento sincronizado del carro con material.

Además, se configuran límites de seguridad, con los parámetros de torque y monitoreo, el sistema monitorea la velocidad de ejes, torque de motores y velocidad del material, si algo se sale del rango genera alarma. El programa revisa si alguna variable está en cero, esto evita errores cuando el PLC se reinicia, se pierden parámetros, también inicializa aceleración, velocidades, offset de Home, límites de torque, además, se ajusta el límite de torque del portacuchilla para proteger el sistema durante el corte. Al final se ejecutan otras tareas del controlador.

Figura 30

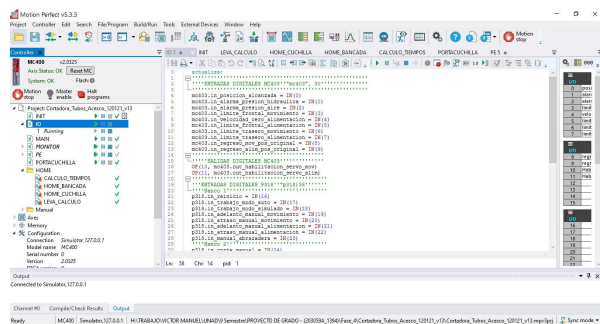
Diagrama de Flujo del Algoritmo INT para el Sistema de Corte al Vuelo



Nota. Diseño propio.

Figura 31

Rutina IO



Nota. Diseño propio.

Figura 32

Algoritmo IO

```

IO
0  actualiza:
1  .....
2  ***ENTRADAS DIGITALES mc403***mc403, 30*****
3  .....
4  mc403.in_posicion_alcanzada = IN(0)
5  mc403.in_alarma_presion_hidraulica = IN(1)
6  mc403.in_alarma_presion_aire = IN(2)
7  mc403.in_limite_fronal_movimiento = IN(3)
8  mc403.in_velocidad_servo_alimentacion = IN(4)
9  mc403.in_limite_fronal_alimentacion = IN(5)
10 mc403.in_limite_trasero_movimiento = IN(6)
11 mc403.in_limite_trasero_alimentacion = IN(7)
12 mc403.in_regreso_mov_pos_original = IN(8)
13 mc403.in_regreso_alm_pos_original = IN(9)
14 *****
15 *****
16 OP(10, mc403.out_habilitacion_servo_mov)
17 OP(11, mc403.out_habilitacion_servo_alm)
18 *****
19 *****
20 *****
21 p318.in_reinicio = IN(16)
22 p318.in_trabajo_modo_auto = IN(17)
23 p318.in_trabajo_modo_simulado = IN(18)
24 p318.in_adelanto_manual_movimiento = IN(19)
25 p318.in_atraso_manual_movimiento = IN(20)
26 p318.in_adelanto_manual_alimentacion = IN(21)
27 p318.in_atraso_manual_alimentacion = IN(22)
28 p318.in_manual_abrazadera = IN(23)
29 *****
30 p318.in_corte_manual = IN(24)
31 p318.in_falla_servo_movimiento = IN(25)
32 p318.in_falla_servo_alimentacion = IN(26)
33 p318.in_falla_vfd_cuchilla = IN(27)
34 p318.in_parc_emergencia = IN(28)
35 p318.in_potencia_movimiento = IN(29)
36 p318.in_potencia_alimentacion = IN(30)
37 p318.in_potencia_cuchilla_corte = IN(31)
38 *****
39 *****
40 *****
41 *OP(16, p317.out_abrazadera_hidea_electrom)
42 OP(17, p317.out_potencia_movimiento)
43 OP(18, p317.out_potencia_alimentacion)
44 OP(19, p317.out_potencia_cuchilla_corte)
45 OP(20, p317.out_reinicio_alarma)
46 OP(21, p317.out_indicador_movimiento)
47 OP(22, p317.out_indicador_alimentacion)
48 OP(23, p317.out_indicador_de_corte)
49 *****
50 OP(24, p317.out_indicador_automatico)
51 OP(25, p317.out_indicador_de_alarma)
52 OP(26, p317.out_indicador_de_falla)
53 OP(27, p317.out_habilitacion_cuchilla)
54 OP(28, p317.out_indicador_sincronizado)
    
```

Nota. Diseño propio.

El bloque IO corresponde al algoritmo encargado de la gestión de las entradas y salidas digitales del sistema de corte al vuelo Figura 31. Este módulo permite la lectura continua de sensores, botones de operación y señales de seguridad, así como el control de actuadores e indicadores de estado de la máquina. Su ejecución es cíclica y permanente, permitiendo actualizar en tiempo real las variables utilizadas por el programa principal del controlador, garantizando la correcta interacción entre el sistema de control y los elementos físicos de la máquina.

Este bloque funciona como un mapeo de señales físicas del sistema hacia variables del programa, este proceso se ejecuta de forma cíclica y permanente mediante la instrucción “GOTO actualiza”, esto significa que el algoritmo nunca termina, sino que está actualizando el estado del sistema constantemente Figura 32.

El bloque IO controla o gestiona tres grupos principales:

Sensores y señales de seguridad, como son posición alcanzada, presión hidráulica, presión de aire, límites de movimiento, velocidad cero del material y sensores de retorno. Estas señales permiten saber si los ejes están en posición, si existe presión suficiente, si el movimiento llegó a su límite.

Otro grupo es el de entradas del módulo de expansión, de este módulo TRIO CAN I/O P318, se leen señales del operador y del sistema como son reinicio del sistema, modo automático, modo simulación, avance manual, retroceso manual, corte manual, control manual de abrazadera y en seguridad y fallas se tienen falla servo movimiento, falla servo alimentación, falla variador de cuchilla, paro de emergencia, estado de potencia de motores.

Figura 34*Algoritmo de MAIN*

```

MAIN
0  ****PARAMETRIZACION BANCADA*****
1  BASE(bancada)
2  ATYPE = 44
3  ENCODER_RATIO(-1,1)
4  IF bits_estados.parada_en_proceso = 0 THEN
5    DEFFPOS(0)
6  ENDF
7  UNITS = (2048*4*5/399.987)
8  mc403.out_habilitacion_servo_mov = 1
9  'WA(500)
10 WDOG=ON
11 SERVO = ON
12 AXIS_ENABLE=ON
13 ****PARAMETRIZACION PORTACUCHILLA*****
14 BASE(porta_cuchilla)
15 ATYPE = 44
16 ENCODER_RATIO(-1,1)
17 IF bits_estados.parada_en_proceso = 0 THEN
18   DEFFPOS(0)
19 ENDF
20 UNITS = (2048*4/10)
21 WDOG = ON
22 mc403.out_habilitacion_servo_alim = 1
23 'WA(500)
24 SERVO = ON
25 AXIS_ENABLE = ON
26 .....
27 ****PARAMETRIZACION ENCODER MATERIAL****
28 BASE(encoder_material)
29 ATYPE = 76
30 ENCODER_RATIO(-1,1)
31 IF bits_estados.parada_en_proceso = 0 THEN
32   DEFFPOS(0)
33 ENDF
34 'WDOG = ON
35 'UNITS = 8.192 'establezco para simulacion 1 pulso/mm
36 UNITS = (pulsos_de_encoder*4/((diametro_polea_enc/100)*PI))
37 REP_DIST = 10000 'establezco 1000mm de largo de material
38 REP_OPTION = 1 'configuro el maestro en ciclico
39 .....

```

Nota. Diseño propio.

El bloque MAIN como se observa en la Figura 33 es el programa principal del controlador. Es el primer bloque que se ejecuta cuando el equipo arranca o cuando se pone el controlador en RUN.

En las primeras líneas configuran los ejes del sistema de corte, se asigna la configuración del sistema de bancada, se define el eje que mueve el carro de corte que acompaña el material posteriormente se puede definir en la Figura 34.

Sus funciones principales:

Selección del eje: BASE (bancada).

Tipo de servo: ATYPE = 44.

Relación del encoder.

Cálculo de unidades de posición.

Activación del servo.

Su objetivo principal es la configurar el eje que sincroniza la bancada con el material, otra configuración es del portacuchilla, este configura el eje que posiciona la cuchilla de corte.

Se asigna los parámetros principales de:

Tipo de servo.

Relación de encoder.

Conversión de pulsos a unidades.

Activación de servo.

Su objetivo es controlar la posición exacta donde la cuchilla realizará el corte, en esta rutina configura el encoder del material, este encoder mide cuanto material ha avanzado y se calcula los pulsos por milímetros, distancia repetitiva, maestro cíclico, el objetivo del encoder funciona como maestro del sistema de corte al vuelo.

En el programa de MAIN se inicia las variables del sistema, luego limpia estados y variables esto se hace para que el sistema quede en estado seguro de arrancar.

El bits_estados. en_posicion = 0.

manual_autom = 0.

permiso_baja_cuchilla = 0.

En el menú principal del sistema comienza el bucle principal del algoritmo, este verifica el estado del sistema, ejecuta las funciones manuales, verifica el HOME, permite el posicionamiento y el modo automático, si algo no está listo el sistema vuelve al menú.

En este bloque se controla el manual del sistema, el operador puede mover los ejes manualmente por ejemplo cuchillas y bancada se aplican las variables:

jog_atrascuchi.

jog_frontalcuchi.

Jogder.

Jogizq.

Permitir ajustes manuales y mantenimiento.

Antes de iniciar la operación el sistema debe conocer la posición de referencia, si no está en home, el sistema no permite operación automática.

Rutina_home_bancada.

Rutina_home_portacuchilla.

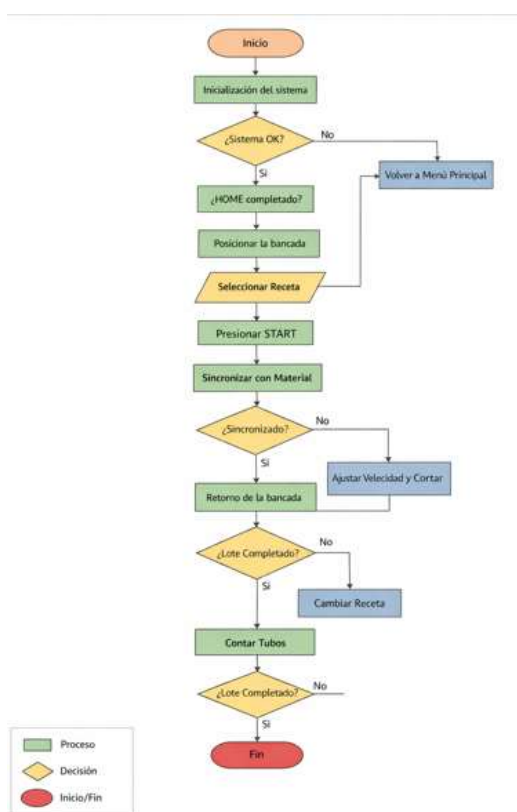
Otras de las rutinas que se ejecuta es el posicionamiento del sistema de corte, aquí se calcula dónde debe ubicarse la bancada antes del corte, el algoritmo calcula el largo del material, posición inicial, distancia de retorno, esta idea es clave del algoritmo pues si el material es largo la bancada inicia en mitad del recorrido, si es corto la bancada inicia en HOME, esto permite acompañar el material, cortar en movimiento y regresar antes del siguiente corte, usuario u operador puede manejar hasta 10 recetas de corte, cada receta contiene el largo del tubo y la cantidad a producir.

En el bloque MAIN se inicia el modo automático cuando el operador presiona el START se inicia el sistema de corte (engrana), también existe un modo simulado (engrana_simulado) que usa un encoder virtual para pruebas.

El run cortadora es el núcleo del algoritmo, mientras la máquina esté en marcha el sistema ejecuta el ciclo de corte, además, posee contadores de producción, sistema de lubricación automático, cambio de recetas y paradas automáticas.

Figura 35

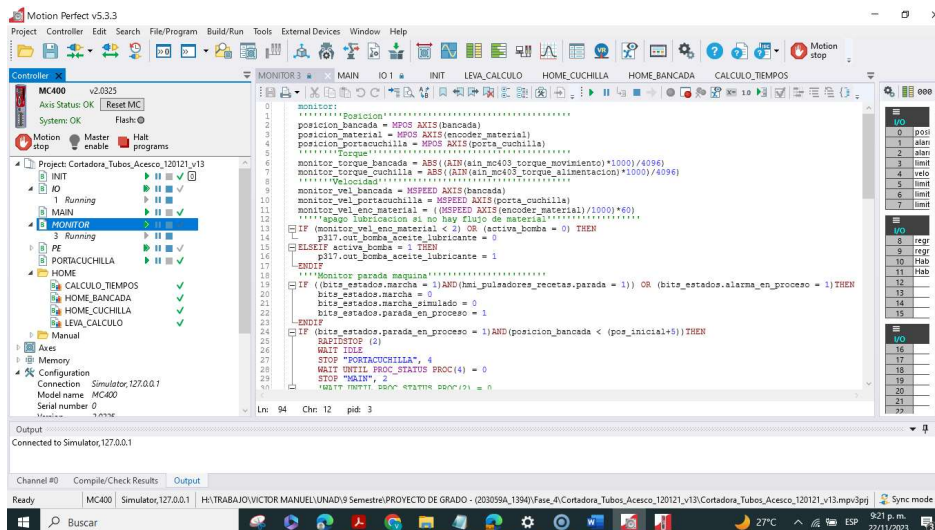
Diagrama de Flujo del Algoritmo MAIN del Sistema de Corte al Vuelo



Nota. Diseño propio.

Figura 36

Rutina Monitor



Nota. Diseño propio.

El algoritmo monitor corresponde a una rutina de supervisión ejecutada de manera cíclica dentro del sistema de control de la máquina de corte al vuelo. Su función principal es leer variables del sistema, supervisar el estado de los ejes, controlar subsistemas auxiliares y gestionar eventos de parada y conteo de producción.

Este módulo actúa como un observador del estado del proceso, lo que permite garantizar la sincronización del corte, la seguridad operativa y el registro de producción.

En la primera sección del algoritmo se obtienen las posiciones de los ejes principales mediante la función “MPOS AXIS” las variables monitoreadas son posición de la bancada, posición del material y posición del portacuchilla.

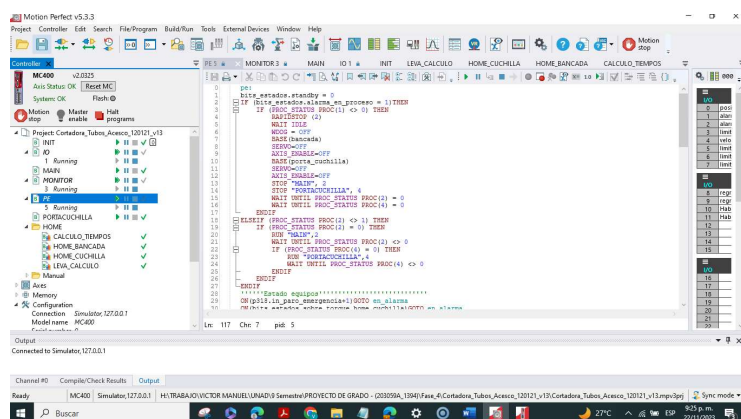
El algoritmo también registra el torque de los ejes mediante la función “ABS (AIN ())” se monitorean torque del eje de bancada y torque del eje de cuchilla.

Posteriormente se calcula la velocidad de cada eje utilizando la función MSPEED AXIS.

Las velocidades se convierten a metros por minuto, unidad común en líneas de producción continua, control del sistema de lubricación mediante una condición lógica basada en la velocidad del material, supervisión de parada de máquina y procedimiento de parada segura,

Figura 37

Bloque PE



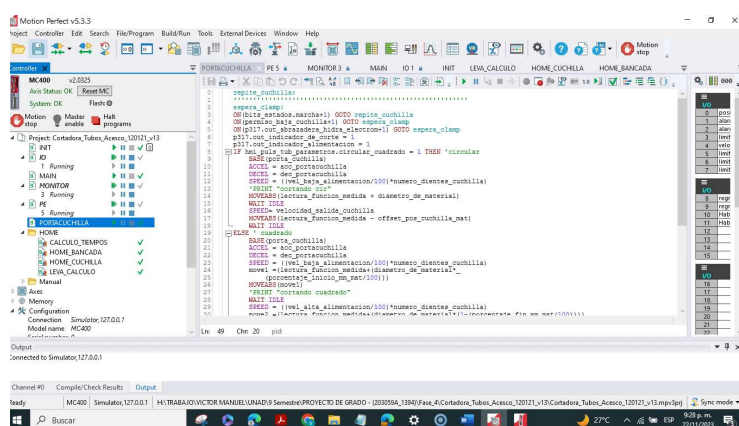
Nota. Diseño propio.

El bloque PE significa Program Error (Error de Programa) como se observa en la Figura 37, es un bloque especial del sistema que se ejecuta automáticamente cuando ocurre un error de programa durante la ejecución. En este bloque desarrolla todo lo relacionado con apagar salidas de seguridad del sistema de corte, detener ejes, colocar la máquina en estado seguro, activar alarmas o indicadores anormales de los drivers y guardar códigos de error entre otros. Cabe

mencionar que este bloque no lo llama el usuario, lo llama el sistema y sirve para manejar errores de software, no de hardware

Figura 38

Rutina Portacuchilla



Nota. Diseño propio.

La rutina portacuchilla controla el movimiento del eje de la sierra en el sistema de corte al vuelo, su función principal es coordinar la penetración, el corte y la retirada de la cuchilla, garantizando que el proceso se realice de forma segura y sincronizada con el avance del material. Además, la rutina adapta la estrategia de corte dependiendo de si el material es circular o cuadrado, modificando las velocidades y posiciones de la sierra para optimizar la calidad del corte y proteger la herramienta.

En la Figura 38 se observa la primera etapa del algoritmo corresponde a la verificación de condiciones de seguridad y operación antes de permitir el descenso de la sierra.

Entre las variables evaluadas se encuentran:

Estado de marcha del sistema.

Permiso de descenso de la cuchilla.

Activación de la abrazadera hidráulica.

La abrazadera hidráulica cumple la función de sujetar firmemente el material durante el corte, evitando vibraciones o desplazamientos que puedan afectar la calidad del corte o provocar daños en la herramienta.

Esta etapa es fundamental porque evita que el sistema ejecute el movimiento de corte si las condiciones de seguridad no están garantizadas Figura 39.

Figura 39

Etapa Inicial del Algoritmo Portacuchilla

```
espera_clamp:  
ON(bits_estados.marcha+1) GOTO repite_cuchilla  
ON(permiso_baja_cuchilla+1) GOTO espera_clamp  
ON(p317.out_abrazadera_hidra_electrom+1) GOTO espera_clamp
```

Nota. Diseño propio.

Una vez que las condiciones de operación son correctas, el algoritmo activa señales de indicación de proceso.

Estas señales generalmente se utilizan para:

Visualización en la interfaz HMI.

Indicadores luminosos en el panel de control.

Diagnóstico del estado del sistema.

Los indicadores informan que el sistema ha iniciado el proceso de corte y alimentación, permitiendo a los operadores supervisar el estado del equipo.

```
p317.out_indicador_de_corte = 1
```

```
p317.out_indicador_alimentacion = 1
```

El algoritmo incluye una condición lógica que permite seleccionar la estrategia de corte dependiendo de la geometría del material.

Se contemplan dos tipos principales:

Material circular (tubos o barras).

Material cuadrado o rectangular (perfiles estructurales).

Esta diferenciación es importante porque la resistencia al corte varía dependiendo de la forma del material. Por esta razón, el sistema modifica las velocidades y posiciones de penetración de la sierra para optimizar el proceso.

```
“IF hmi_puls_tub_parametros.circular_cuadrado = 1 THEN”
```

Antes de ejecutar el movimiento de corte, el sistema configura los parámetros dinámicos del eje del portacuchilla.

Entre los parámetros configurados se encuentran:

Aceleración del eje.

Desaceleración del eje.

Velocidad de movimiento.

Estos parámetros determinan la forma en que el eje se desplaza y permiten evitar movimientos bruscos que puedan generar vibraciones o desgaste prematuro de la herramienta.

“BASE(porta_cuchilla)”.

“ACCEL = acc_portacuchilla”.

“DECEL = dec_portacuchilla”.

Cuando el sistema detecta que el material es circular, el algoritmo ejecuta una estrategia de corte directa.

El proceso consiste en:

Configurar la velocidad de penetración.

Desplazar la sierra hasta atravesar completamente el material.

Esperar a que el movimiento finalice.

Retirar la sierra a una posición segura.

Este método es adecuado para materiales circulares debido a que la sección transversal del material ofrece una resistencia uniforme durante todo el proceso de corte.

Cuando el material es cuadrado o rectangular, el algoritmo utiliza una estrategia más compleja dividida en tres etapas.

Penetración inicial: La sierra entra al material a velocidad baja para evitar impactos bruscos en los dientes de la herramienta.

Corte central: En esta etapa se aumenta la velocidad de avance, ya que la herramienta se encuentra dentro del material y la resistencia al corte es más estable.

Antes de finalizar el corte, la velocidad vuelve a reducirse para evitar daños en los dientes de la sierra al momento de salir del material.

Este método mejora la vida útil de la herramienta y la calidad del corte.

Una vez finalizado el corte, el algoritmo ordena el movimiento de retirada de la sierra.

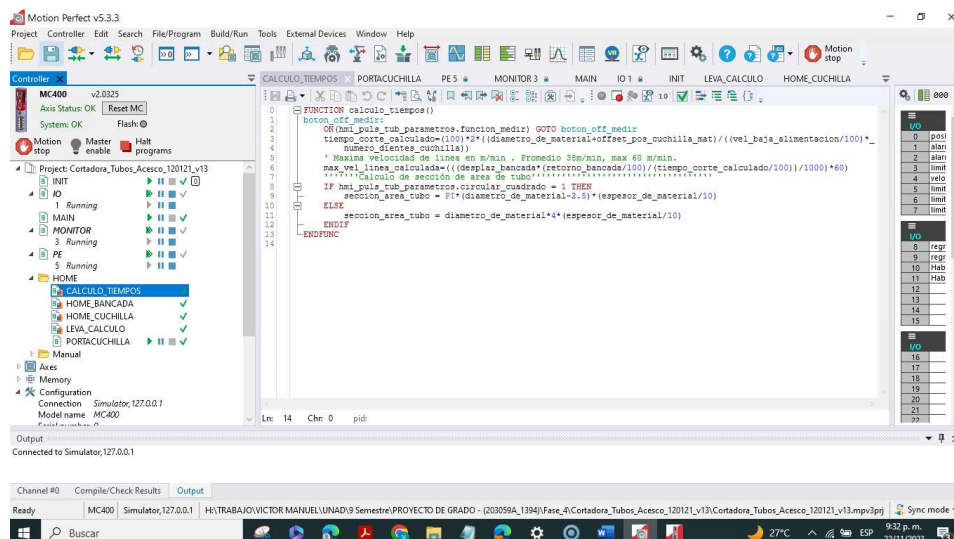
Este movimiento lleva la cuchilla a una posición segura de espera, definida mediante un valor de desplazamiento denominado offset. Esta distancia garantiza que la herramienta no interfiera con el material que continúa avanzando por la línea.

Finalmente, el sistema: Desactiva los indicadores de corte, reinicia la rutina, vuelve al estado de espera para el siguiente corte.

Este comportamiento permite que el sistema funcione de manera automática y continua, adaptándose al flujo de producción de la línea.

Figura 40

Rutina Calculo_Tiempos



Nota. Diseño propio.

El algoritmo calculo_tiempos tiene como objetivo calcular parámetros importantes del proceso de corte, entre ellos:

Tiempo estimado de corte.

Velocidad máxima permitida de la línea de producción.

Área transversal del material.

Estos cálculos permiten ajustar automáticamente el sistema de corte para mantener la sincronización entre el avance del material y el movimiento de la sierra, de igual forma se puede definir en la Figura 40.

El algoritmo comienza con la definición de una función:

```
FUNCTION calculo_tiempos
```

Esto significa que se trata de una rutina de cálculo que puede ser llamada desde otras partes del programa del sistema de control.

El algoritmo primero verifica el estado de un botón en la interfaz HMI, el sistema permanece en espera mientras la función de medición esté activada, esto se hace para evitar que los cálculos se ejecuten mientras el operador está realizando ajustes o mediciones del material

El algoritmo calcula el tiempo estimado que tarda la sierra en realizar el corte completo se observa en la Figura 41.

Figura 41*Fórmula Utilizada*

$$tiempo_corte = 100 \times 2 \times \frac{(diametro_material + offset_cuchilla)}{\left(\frac{velocidad_alimentacion}{100} \times numero_dientes_sierra\right)}$$

Nota. Diseño propio.

Significado de cada variable:

Diametro_de_material = Tamaño del material que se va a cortar.

Offset_pos_cuchilla_mat = Distancia de seguridad entre la sierra y el material.

Vel_baja_alimentacion = Velocidad de alimentación durante el corte.

Numero_dientes_cuchilla = Número de dientes de la sierra.

Luego el sistema calcula la velocidad máxima Figura 42 que puede tener la línea de producción sin afectar el corte.

Figura 42*Cálculo de la Velocidad Máxima de la Línea*

$$velocidad_max_linea = \left(\frac{desplazamiento_bancada \times (retorno_bancada/100)}{tiempo_corte} \right)$$

Nota. Diseño propio.

Posteriormente se convierte la unidad a metros por minuto.

El algoritmo rutina_home_bancada tiene como objetivo establecer la posición de referencia (home) del eje de la bancada o carro de corte.

En los sistemas de corte al vuelo, la bancada es el mecanismo que transporta la sierra y se desplaza junto con el material durante el proceso de corte, para que el sistema funcione correctamente, el controlador debe conocer la posición inicial exacta del eje, la cual se define mediante el proceso de HOME.

El proceso de HOME, se observa en la Figura 43 es fundamental porque define la posición de referencia del sistema, por consiguiente, el controlador conoce la posición exacta del carro de corte, garantiza la sincronización correcta con el material y evita errores de posicionamiento en los ciclos de corte.

Sin un proceso de home correcto, el sistema no podría calcular las posiciones del corte ni sincronizarse con la línea de producción.

Al iniciar la función:

Rutina_home_bancada.

Home_done = 0.

Esto indica que el sistema marca que el proceso de home aún no ha sido completado, luego se selecciona el eje que se va a controlar BASE (bancada), esto indica que todos los comandos de movimiento siguientes se aplicarán al eje de la bancada.

El sistema configura los parámetros dinámicos del eje:

ACCEL = aceleración durante el homing.

DECEL = desaceleración durante el homing.

SPEED = velocidad de búsqueda del sensor home.

Estos parámetros permiten que el movimiento se realice de manera controlada y segura.

El sistema verifica si el operador ha activado el comando de home desde la interfaz de control.

ON (home.do_home) GOTO boton_off.

Esto significa que el algoritmo permanece en espera hasta que se active la señal de homing, también se verifica el estado del sensor de límite trasero del eje.

Si el sensor ya está activado al iniciar el proceso, el sistema primero debe salir de él, forward esto mueve el eje hacia adelante, el algoritmo continúa avanzando hasta que el sensor deje de detectarse.

ON (mc403.in_limite_trasero_movimiento) GOTO abandona el sensor.

Una vez que el sensor se libera, el movimiento se detiene y el eje queda listo para iniciar la búsqueda del sensor, luego el sistema invierte la dirección del movimiento,

ahora el eje comienza a desplazarse hacia atrás buscando el sensor de referencia reverse, durante esta fase el sistema muestra un mensaje de estado "Home bancada en proceso", cuando el sensor se activa nuevamente, significa que el eje ha llegado a la posición física de referencia.

Después de detectar el sensor, el eje se mueve una pequeña distancia definida por un offset de calibración, Este desplazamiento es necesario porque el sensor no siempre está exactamente en la posición cero y se requiere una posición mecánica más precisa.

move (offset_home_bancada).

que desplaza la sierra para realizar el corte del material, en un sistema de corte al vuelo, es fundamental que el controlador conozca la posición exacta de la cuchilla, ya que de ello depende:

La profundidad del corte, la posición inicial de la sierra, la sincronización con el material, por esta razón, esta rutina realiza una calibración automática del eje utilizando sensores de límite y monitoreo de torque del servo.

Al iniciar la función, se desactiva la conmutación de alimentación y se indica que el proceso de home aún no ha sido completado, esto se realiza con variables como:

homec.home_done_cuchilla.

homec.home_en_proceso.

Posteriormente se selecciona el eje correspondiente al portacuchilla, BASE (porta_cuchilla), luego se configuran los parámetros dinámicos del movimiento que son aceleración, desaceleración y velocidad de búsqueda.

Esto asegura que el proceso de homing se realice de forma controlada y segura.

El algoritmo establece un límite de torque del motor utilizando una salida analógica, AOUT (aout_torque_limite_alimentacion).

Este valor limita la fuerza máxima que puede ejercer el servo durante el proceso de búsqueda del material. Esto evita daños mecánicos si la cuchilla encuentra una resistencia inesperada, Se aplica el abandono del límite trasero y la Búsqueda del límite trasero, durante este proceso el sistema muestra el mensaje, "Home Portacuchilla en proceso", cuando el sensor se detecta nuevamente, el eje se detiene y ajuste del offset de referencia.

Después de establecer el HOME inicial, el sistema realiza una preparación adicional.

Activa la conmutación de alimentación, activa la abrazadera hidráulica que sujeta el material, ajusta nuevamente el límite de torque y reduce la velocidad del eje para un movimiento más preciso, esto prepara el sistema para detectar el punto de contacto entre la cuchilla y el material.

Cabe resaltar que la búsqueda del punto de contacto es mediante torque, durante este movimiento el sistema monitorea continuamente el valor de torque del servo "monitor_torque_cuchilla", cuando el torque supera un valor límite, "torque_home_cuchilla" esto significa que la cuchilla ha entrado en contacto con el material.

Este método permite detectar la posición del material sin depender únicamente de sensores físicos, para evitar lecturas falsas del torque, el algoritmo repite varias veces la verificación del valor del torque, esto garantiza que la detección del material sea confiable, cuando se confirma el aumento de torque, el sistema detiene el movimiento del eje.

Después de detectar el contacto con el material, el sistema registra la posición actual del eje, "lectura_funcion_medida" = "posicion_portacuchilla", esta variable representa la posición real del material respecto a la cuchilla, luego el eje se mueve una distancia de seguridad definida por "offset_pos_cuchilla_mat" esto separa la sierra del material para evitar contacto continuo.

Posteriormente el sistema calcula mediante la variable "medida_mat_procesar", este valor corresponde a la distancia disponible para que el portacuchilla realice el movimiento de corte.

Este parámetro es fundamental para determinar la penetración de la sierra y la profundidad máxima de corte.

Cuando el proceso termina correctamente:

home_done_cuchilla = 1.

cuchilla_en_pos = 1.

Esto indica que el sistema ya conoce la posición exacta del portacuchilla y puede comenzar el proceso de corte.

Finalmente se:

desactiva la abrazadera hidráulica.

desactiva la conmutación de alimentación.

finaliza el proceso de homing.

Si ocurre algún problema durante el proceso se cancela el movimiento del eje, se detiene el proceso de home, se desactivan las señales de control, esto evita que el sistema trabaje con una referencia incorrecta.

Figura 45

Algoritmo Home Cuchilla

```

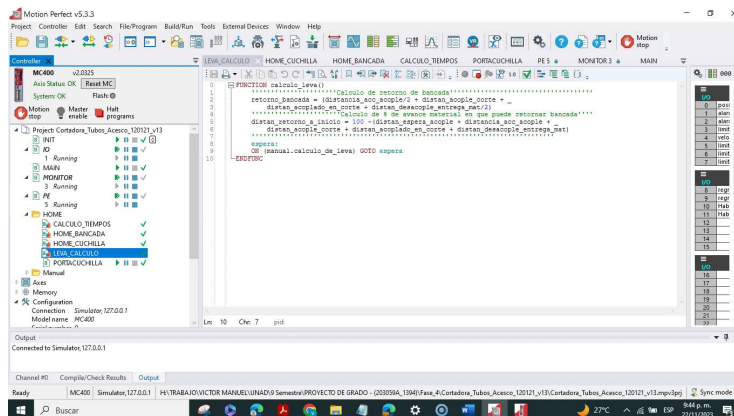
HOME_CUCHILLA
0 .....
1 .....
2 .....
3 *****RUTINA PARA ESTABLECER HOME PORTACUCHILLA*****
4 .....
5 .....
6 FUNCTION rutina_home_portacuchilla()
7     p17_out_commutacion_alimentacion = 0
8     homec_home_en_proceso = 0
9     homec_home_done_cuchilla = 0
10    BARR(puerta_cuchilla)
11    ACCEL = aceleracion_home_portacuchilla
12    DECEL = desaceleracion_home_portacuch
13    SPEED = velocidad_home_portacuchilla
14    botonhc_off =
15    ON(homec_done_cuchilla)GOTO botonhc_off
16    *PRINT "BOTON OFF"
17    AOUT(aout_torque_limite_alimentacion) = ((torque_lim_cuchilla_auto*4096)/1000)
18    ON(homec_en_limite_trasero_alimentacion) GOTO continua_home
19    *****
20    ***Abandono limite trasero si estoy encima de este***
21    *****
22    FORWARD
23    abandona_limite:
24    mensaje_estado = 20 "Abandono Limite trasero = 20"
25    ON(homec_done_cuchilla)GOTO abort_home_cuchilla "detengo home cuchilla"
26    *PRINT "ABANDONANDO LIMITE ATRAS"
27    ON(homec_en_limite_trasero_alimentacion) GOTO abandona_limite
28    CANCEL AXES(puerta_cuchilla)
29    WAIT IDLE
30    *****
31    ***Busco limite trasero***
32    *****
33    continua_home:
34    *RETURN
35    *espera_limite:
36    mensaje_estado = 7 "Home Portacuchilla en proceso - esperando limite superior = 7"
37    ON(homec_done_cuchilla)GOTO abort_home_cuchilla "detengo home cuchilla"
38    *PRINT "ESPERANDO LIMITE ATRAS"
39    ON(homec_en_limite_trasero_alimentacion) GOTO espera_limite
40    *****
41    CANCEL AXES(puerta_cuchilla)
42    *PRINT "OTRO"
43    MOVE(efect_pos_home_cuchilla)distancia al limite trasero para home
44    WAIT IDLE
45

```

Nota. Diseño propio.

Figura 46

Rutina Calculo de Leva



Nota. Diseño propio.

Esta rutina que se observa en la Figura 46 es donde se aplica el perfil CAM, la función calculo leva permite calcular las distancias críticas del ciclo de corte al vuelo, especialmente las relacionadas con el retorno de la bancada. A partir de estos cálculos el sistema determina el momento adecuado para desacoplar el carro del material y regresar a la posición inicial sin interferir con el proceso productivo. Este cálculo es esencial para mantener la sincronización entre el movimiento del carro de corte y el avance del material, permitiendo realizar cortes continuos sin detener la línea de producción.

El primer cálculo realizado por el algoritmo es la visualizada en la Figura 47.

Figura 47

Ecuación para la Distancia Total Necesaria para el Retorno del Carro de Corte

```

retorno_bancada =
(distancia_acc_acople/2 +
distan_acople_corte +
distan_acoplado_en_corte +
distan_desacople_entrega_mat/2)

```

Nota. Diseño propio.

El cálculo considera varias fases del movimiento del sistema:

Distancia_acc_acople: distancia que recorre la bancada durante la aceleración para sincronizarse con el material.

Distan_acople_corte: distancia donde el carro ya está sincronizado con el material y se prepara para el corte.

Distan_acoplado_en_corte: distancia en la que el carro permanece acoplado al material durante el corte.

Distan_desacople_entrega_mat: distancia en la que el sistema se desacopla del material después del corte.

¿Por qué se divide entre 2 en algunos términos? porque solo se utiliza la mitad del recorrido, ya que la otra mitad pertenece al proceso de aceleración o desaceleración del sistema, esto se hace para calcular con mayor precisión el momento en el que el carro puede iniciar el retorno.

El segundo cálculo determina en qué porcentaje del avance del material la bancada puede comenzar su retorno hacia la posición inicial se observa en la Figura 48.

En otras palabras, calcula el punto del ciclo donde el corte ya se completó, la sierra se separó del material, el carro puede regresar sin interferir con el proceso.

El valor 100 representa el ciclo completo del proceso, a ese valor se le restan todas las fases de movimiento que ocurren antes del retorno.

El resultado indica el porcentaje restante disponible para el regreso del carro.

Figura 48

Cálculo del Porcentaje de Avance del Material para el Retorno

```
distan_retorno_a_inicio =  
100 - (distan_espera_acople +  
distancia_acc_acople +  
distan_acople_corte +  
distan_acoplado_en_corte +  
distan_desacople_entrega_mat)
```

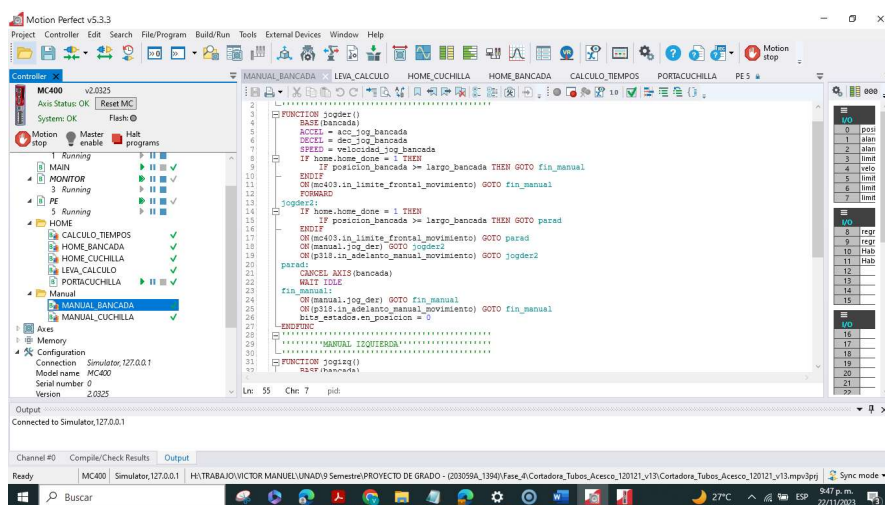
Nota. Diseño propio.

La última parte del algoritmo incluye una sección de espera, esto significa que el sistema permanece en espera mientras la variable "manual_calculo_de_leva" esté activa.

Esta condición normalmente se utiliza cuando el operador está realizando cálculos manuales, se están ajustando parámetros del sistema, se requiere recalcular la leva desde la interfaz HMI, esto evita que el sistema ejecute movimiento mientras se modifican los parámetros.

Figura 49

Rutina Manual Bancada y Manual Cuchilla



Nota. Diseño propio.

Rutina de control manual de un sistema de corte en frío por sierra, permite el posicionamiento manual de la bancada y del portacuchilla, además de ejecutar una secuencia de corte controlada que incluye sujeción del material, cálculo de velocidad de corte, avance controlado de la herramienta y liberación del material esto se observa en la Figura 49.

Manual Bancada.

Se selecciona el eje a controlar BASE (bancada), con esto el controlador sabe que trabajará con el motor de la bancada, se configuran parámetros de movimiento.

ACCEL = acc_jog_bancada = aceleración.

DECEL = dec_jog_bancada = desaceleración.

SPEED = velocidad_jog_bancada = velocidad manual.

Verifica si la máquina ya hizo home.

IF home.home_done = 1 THEN

IF posicion_bancada >= largo_bancada THEN GOTO fin_manual

Si la referencia está hecha y ya está en el final del recorrido, no permite seguir.

Verifica el sensor de límite, si el final de carrera frontal se activa y se detiene el movimiento, el movimiento lo ordena, mientras el botón siga presionado, cuando se suelta el botón se cancela el movimiento del motor.

Manual_Cuchilla.

Movimiento_manual del portacuchilla Figura 50, Selecciona el eje base (porta_cuchilla), Configura velocidad y aceleración, verifica posición mínima, si ya está atrás no deja seguir, además, revisa sensor de límite ON(mc403.in_limite_trasero_alimentacion) y ordena movimiento.

Figura 50

Cuchilla Manual

```

MANUAL_CUCHILLA
-----
76 FUNCTION corte_manual()
77 IF (bits_estado.marcha = 0) THEN
78     ***"Llevo mordaza y enciendo cuchilla"*****
79     bits_estado.corte_manual_en_proceso = 1
80     p37.out.abrazadera_hidra_electrom = 1
81     OFI4. ON " activar abrazadera
82     velocidad_vfd=(vel_lineal_cuchilla/(diametro_cuchilla*PI)/1000)
83     GOTO(velocidad_vfd_cuchilla*(velocidad_vfd*1200)/1000)
84     ***"espero encendido de cuchilla"*****
85     espera_habilitacion:
86     ON(manual_run_manual_cuchilla+1)GOTO termina_manual_cuchilla
87     ON(bits_estado.marcha)GOTO termina_manual_cuchilla
88     p37.out.habilitacion_cuchilla = 1
89     IF READ_OV(I7)HOFF THEN GOTO espera_habilitacion
90     *****
91     boton_corte_off:
92     ON(manual_run_manual_cuchilla+1)GOTO termina_manual_cuchilla
93     ON(bits_estado.marcha)GOTO termina_manual_cuchilla
94     ON(p37.in.corte_manual+1) GOTO boton_corte_off
95     WA(500)
96     ON(p37.in.corte_manual+1) GOTO boton_corte_off
97     boton_on_corte:
98     ON(p37.in.corte_manual) GOTO boton_on_corte
99     WA(1000)
100     BASH(porta_cuchilla)
101     SPOSE = avc.portacuchilla
102     DECEL = des.portacuchilla
103     SFRSD = ((vel_base_alimentacion/100)*numero_dientes_cuchilla)
104     MOVEABS(lectura_funcion_medida + diametro_de_material)
105     WAIT TIME
106     SFRSD= velocidad_valida_cuchilla
107     MOVEABS(lectura_funcion_medida - offset_pos_cuchilla_mat)
108     WAIT TIME
109

```

Nota. Diseño propio.

La parte más importante del algoritmo es la rutina de corte manual, verificar que la máquina no esté en automático, solo permite corte manual si la máquina está parada, activa la abrazadera hidráulica para sujetar el material.

calcular velocidad de la sierra.

velocidad_vfd=(vel_lineal_cuchilla/((diametro_cuchilla*PI)/1000)).

Figura 51

Fórmula Calcula las RPM de la Sierra

$$RPM = \frac{\text{Velocidad lineal}}{\text{Circunferencia}}$$

Nota. Diseño propio.

Circunferencia = $\pi \times$ diámetro.

Luego se envía al variador de frecuencia (VFD) AOUT(aout_velocidad_vfd_cuchilla).

Se aplica la secuencia:

Sujetar material = p317.out_abrazadera_hidra_electrom = 1.

Arrancar sierra = p317.out_habilitacion_cuchilla = 1.

Esperar que el operador presione el botón de corte = ON (p318.in_corte_manual).

Avanzar cuchilla = MOVEABS(lectura_funcion_medida + diametro_de_material).

Cortar:

Retirar cuchilla = MOVEABS(lectura_funcion_medida - offset_pos_cuchilla_mat).

Liberar material = p317.out_abrazadera_hidra_electrom = 0.

Software Easybuilder Pro, en esta plataforma de software versátil, está diseñada exclusivamente para Weintek HMI. con Easybuilder Pro, ayuda a realizar rápidamente el proyecto en la pantalla HMI.

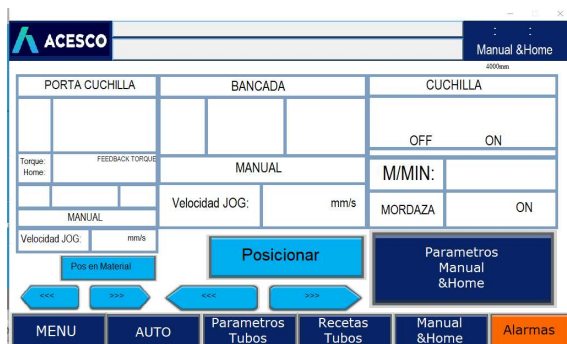
Figura 52

HMI Pantalla de Inicio



Nota. Diseño propio.

Se implementa una interfaz HMI (Human Machine Interface) para facilitar el monitoreo, diagnóstico y configuración de parámetros en tiempo real, en la Figura 52 se observa todo el menú de la pantalla, el operador puede acceder dando pulso en cada casilla para ingresar a los diferentes puntos del sistema.

Figura 53*HMI Manual y Home*

Nota. Diseño propio.

El operador realiza el procedimiento de home de los sistemas, y permite los movimientos en manual de los motores, en la Figura 53 se observa las variables que se pueden ejecutar.

Figura 54*HMI Parámetros Manual y Home*

ACESCO		Manual & Home	
Torque Home Cuchilla:	%	Offset Cuchilla Material:	mm
ACC Home Cuchilla:	mm/s ²	Offset Home Bancada:	mm
DEC Home Cuchilla:	mm/s ²	ACC JOG Cuchilla:	mm/s ²
Vel Home Cuchilla:	mm/s	DEC JOG Cuchilla:	mm/s ²
ACC Home Bancada:	mm/s ²	Vel. JOG Cuchilla:	mm/s
DEC Home Bancada:	mm/s ²	ACC JOG Bancada:	mm/s ²
Vel. Home Bancada:	mm/s	DEC JOG Bancada:	mm/s ²
Offset Home Cuchilla:	mm	Vel. JOG Bancada:	mm/s

Nota. Diseño propio.

En la Figura 54 Se visualiza las variables de inicio asignadas aceleración y desaceleración, también la velocidad de cada variable, se pueden modificar según sea la necesidad o lo que se requiera hacer por parte de mantenimiento o producción.

Figura 55

HMI Automático

Item	SN	Medida Tubo	Cantidad	Num	SN	Medida Tubo	Cantidad
1				6			
2				7			
3				8			
4				9			
5				10			

Total m2 Velocidad Vel. Vel. Recorta en Control Total Tubos Posición Posición
 Resaca Resaca SN2 Proceso Panel Material mm Ajustar mm

MENU Parametros Simulado Parametros Tubos Recetas Tubos Manual & Home Alarmas

Nota. Diseño propio.

Esta pantalla de la Figura 55 permite visualizar la medida del tubo y la cantidad que se desea cortar, además, permite asignar hasta 10 recetas en esta sola pantalla.

Figura 56

HMI Parámetros Tubos

Diametro/Ancho Tubo: mm
 Espesor Material: mm mm
 Inicio Corte Mat.: %
 Fin Corte Mat.: % Sección Área Tubo: mm2
 Vel. Baja PortaCuchilla: mm/diente Vel. Alta PortaCuchilla: mm/diente
 Vel. Lineal Cuchilla: m/min Tiempo Corte Calculado: s
 Numero Dientes Cuchilla: Max. Vel. Linea Calculada: m/min
 Diametro Cuchilla: mm

MENU AUTO Parametros Tubos Recetas Tubos Manual & Home Alarmas

Nota. Diseño propio.

En la Figura 56 muestra los parámetros que permite al usuario asignar o modificar con respecto a la tubería a procesar.

Figura 57

HMI Recetas Tubos

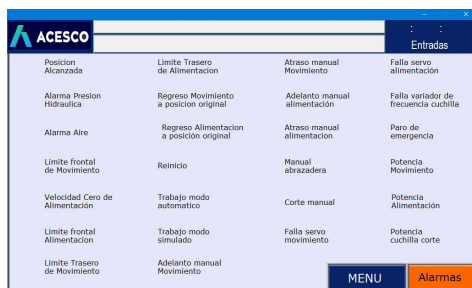


Nota. Diseño propio.

La receta de tubos que se observa en la Figura 57 es para carga al sistema la referencia de tubería a procesar, con este dato el sistema calcula la velocidad máxima con que puede ir el sistema de corte. Además, el tipo de cuchilla que se debe utilizar, dientes.

Figura 58

HMI Entradas Sistema de Corte



Nota. Diseño propio.

La pantalla que se visualiza en la Figura 58 Se observa todas las entradas del sistema de corte, esto es útil a mantenimiento al momento de detectar el funcionamiento correcto de las variables.

Figura 59

HMI Monitor Eje



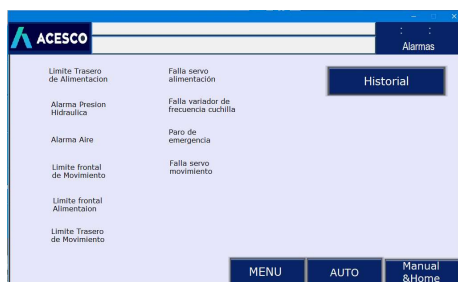
Eje:	Torque: %	Velocidad:	Posición:
Bancada			
Porta-Cuchilla			
Encoder Material			

Nota. Diseño propio.

En la Figura 59 se permite visualizar los torques de trabajo de los drives, además de su velocidad y en qué posición se encuentra.

Figura 60

HMI Alarmas



Límite Trasero de Alimentación	Falla servo alimentación	Historial
Alarma Presion Hidráulica	Falla variador de frecuencia cuchilla	
Alarma Alta	Para de emergencia	
Límite frontal de Movimiento	Falla servo movimiento	
Límite frontal Alimentación		
Límite Trasero de Movimiento		

Nota. Diseño propio.

En la pantalla que muestra la Figura 60 se visualiza los fallos y alarma que arroje el sistema.

Figura 61

HMI Parametro Simulado



Nota. Diseño propio.

La función de la pantalla que se observa en la Figura 61 permite probar el sistema en modo simulador, generando los parámetros establecidos.

Figura 62

Pantalla HMI



Nota. Diseño propio.

La Figura 62 es la pantalla general de la HMI, donde se encuentran las mayorías de variables.

En el análisis y determinación de los requerimientos para la implementación del sistema de corte al vuelo por sierra, se basa en el propósito de mejorar la calidad del corte de la tubería producida en la línea de molino de tubo TUB01, se realiza un análisis técnico orientado a determinar los requerimientos físicos, eléctricos, electrónicos y mecánicos necesarios para la adecuación e instalación de un sistema de corte al vuelo por sierra.

Este proceso permitió establecer las condiciones necesarias para la correcta integración de los diferentes componentes del sistema, tales como el tablero de control y potencia, drivers, encoder, servomotores y el sistema de cableado asociado.

Inicialmente, se llevó a cabo un diagnóstico del sistema de corte existente en la línea de producción. En este análisis se identificó que el sistema actual de corte por cizallamiento por impacto genera deformaciones en el material, rebabas y variaciones en la longitud del tubo, lo cual afecta la calidad del producto final y genera reprocesos dentro de la operación. A partir de esta evaluación, se determinó la necesidad de implementar un sistema de corte al vuelo por sierra que permita realizar cortes más precisos sin detener la línea de producción.

Posteriormente, se establecieron los requerimientos mecánicos necesarios para la instalación del nuevo sistema. Estos incluyen la adecuación de la estructura de soporte para la cortadora, el sistema de desplazamiento del carro de corte y el acoplamiento mecánico del servomotor encargado de sincronizar el movimiento del sistema de corte con la velocidad de avance del tubo, asimismo, se consideraron los espacios disponibles dentro de la línea de

producción y las condiciones estructurales requeridas para garantizar la estabilidad y correcto funcionamiento del sistema.

En cuanto a los requerimientos eléctricos, se definieron las condiciones de alimentación necesarias para el funcionamiento de los servomotores, drivers y demás componentes del sistema de automatización. De igual manera, se diseñó el tablero eléctrico encargado de alojar los dispositivos de protección, control y distribución de energía, garantizando una operación segura y confiable del sistema.

Respecto a los requerimientos electrónicos y de control, se determinó la implementación de un sistema de control especializado en control de movimiento MC403 y módulos como el Trio CAN16, basado en el uso de drivers para servomotores y en la lectura del encoder encargado de medir la velocidad y posición del tubo durante el proceso de corte, esta información permite sincronizar el movimiento de la sierra con el desplazamiento del material, asegurando que el corte se realice con alta precisión y repetitividad.

Adicionalmente, se definió el sistema de cableado necesario para la interconexión de los diferentes dispositivos eléctricos y electrónicos, para ello se establecieron los tipos de conductores, canalizaciones y protecciones requeridas para garantizar una correcta transmisión de señales y potencia entre los componentes del sistema.

Finalmente, se establecieron los procesos de instalación del sistema de corte al vuelo por sierra, los cuales incluyen el montaje de la estructura mecánica, la instalación del tablero eléctrico, la conexión de los servomotores, drivers y encoder, así como la implementación del cableado de control de sensores, mandos de maniobra y la configuración del sistema de control.

Una vez completadas estas etapas, se realizan pruebas de funcionamiento con el fin de verificar la correcta operación del sistema y su capacidad para mejorar la precisión del corte y reducir los defectos presentes en la producción de tubería.

Descripción y características de equipos:

El MC403 (P824): es un coordinador de movimiento de alta especificación que utiliza un procesador ARM11 de alto rendimiento, con tres puertos de eje flexibles y dos salidas de voltaje, Servo avanzado de circuito cerrado de 2 ejes / Dirección de pulso de 3 eje, Interpolación lineal, circular, helicoidal y esférica, Formas CAM flexibles, movimiento vinculado, Interfaz Ethernet-IP / Modbus TCP / Ethernet incorporada, Programación IEC 61131-3, Programación básica multitarea, manejo de archivos de texto, transformaciones robóticas, ranura para tarjeta de memoria, micro SD, expansión de E/S CAN open, RoHS, listado UL, aprobado CE.

El puerto ethernet incorporado permite la programación y conexión de protocolos HMI y PLC comunes directamente al MC403. Los programas de usuario se pueden escribir en el lenguaje multitarea triobasic establecido de trio utilizando el potente software de desarrollo de aplicaciones Motion perfect, que facilita los movimientos complejos.

Los puertos de eje flexibles se pueden configurar en software como dispositivos de retroalimentación o salidas de dirección de pulso, como salidas, se pueden utilizar como pulso y dirección con controladores paso a paso o servo o pueden funcionar como una salida de codificador simulada. Este controlador maneja unos módulos de entradas y salidas digitales.

TRIO CAN 16-IN P318: El módulo de entrada trio CAN16 ofrece una capacidad de expansión de salida compacta montada en riel din para todos los coordinadores de movimiento

trio. Se pueden conectar hasta 16 módulos P318 a la red CAN que puede tener hasta 100 m de largo, esto proporciona 256 canales de entrada distribuidos a nivel de 24 V CC. Todos los puntos de entrada son de alto nivel (entrada de 24 V = ENCENDIDO) y están completamente aislados del CAN bus.

Los módulos P318 se pueden combinar en el mismo bus con otros tipos de la gama Trio CAN I/O. La expansión trio CAN bus I/O puede reducir considerablemente el cableado de la máquina.

Especificaciones:

Entradas: enlace CAN para hasta 16 módulos a más de 100 m a 500 kHz.

Configuración: 16 canales de entrada.

Protección: Las salidas tienen clasificación de sobrecorriente y sobre temperatura.

Indicadores: LED de estado individuales.

Configuración de dirección: mediante interruptores DIP.

Fuente de alimentación: 24 V/1,5 W.

Montaje: montaje en carril DIN.

Tamaño: 26 mm de ancho x 85 mm de profundidad x 130 mm de alto.

Peso: 168 gramos.

CAN: 500 kHz, hasta 256 canales de salida de expansión.

EMC: EN61000-6-2 (2005) Inmunidad al ruido industrial/EN61000-6-4 (2007).

Emisiones de ruido industrial.

Protocolo CAN : Trio CANI/O o CANopen DS401.

RoHs : Cumple.

La bancada del sistema de corte utiliza Servomotores yaskawa de la serie SGD7S-590A00A002 esta serie sigma 7, capacidad máxima del motor aplicable, 11kW, Voltaje trifásico AC200V, voltaje analógico, secuencia de pulsos.

El conector de comando del controlador superior solo necesita un generador de pulsos para convertidor D/A o instrucción de posición sin comando de velocidad/par. Se realiza un control de movimiento de alta precisión, además, del control de par, posición y velocidad, también logra un control de fase de sincronización de alta precisión, debido a que el modo de control se puede cambiar en línea, la complicada acción mecánica se puede realizar de manera más efectiva y fluida.

El carro de la sierra maneja un servo motor yaskawa de la serie SGD7S-200A00A002 ServoPack, entrada 15A, 3PH 200-240VCA 50/60 Hz, salida CA 0-240 V 3 kW 19,6 A, frecuencia de bucle de velocidad: 0-500 Hz.

Tensión nominal de la fuente de alimentación 380V - 20% 415V + 20%

Tensión nominal y frecuencia de suministro de energía. 50 - 60Hz \pm 5%

Tasa de desequilibrio de voltaje: <3%, modo de conducción:

Control V/F (VVF); control vectorial sin sensores de velocidad (SVC).

Modo de entrada: entrada de frecuencia (velocidad), entrada de par.

Rango de control de frecuencia; 0,00~600,00 Hz/0,0~3000,0 Hz.

Rango de control de velocidad: 1:50 (VVF), 1:200 (SVC).

Precisión del control de velocidad: velocidad síncrona nominal \pm 0,2%.

Para la interface operador - máquina, se contempla una referencia MT8102iP1 HMI con 10.1" TFT LCD pantalla, resolución 1024 x 600, brillo (cd/m2) 350, contraste 500:1, una retroiluminación tipo led.

color 16.7M, LCD vista angular (T/B/L/R) 70/70/80/8, paso de pixel (mm) 0.2175 (H) x

Figura 63

Sistema de Corte a Instalar



Nota. Diseño propio.

Cabe resaltar que el sistema de corte de la Figura 63 utiliza la tecnología de corte en frío por sierra, estas son sus características:

País de origen: China.

Fabricante: AOGANG.

Serial: AG20170522-1.

Velocidad máxima: 100 m/min.

Longitud de tubería: 3 - 12 m.

Diámetro de tubería: 20 – 50mm.

Espesor de tubería: 1.2 – 2.0mm.

Diámetro de sierra: 400mm.

Mordazas neumáticas.

Peso total: 3.5 Ton.

Posee una periferia de sensores inductivos los cuales sirven como limites en el recorrido de la bancada y del carro del sistema de corte, posee unas válvulas neumáticas y unas mordazas neumáticas para sujetar la tubería al momento de hacer el corte y evitar cualquier movimiento de la tubería.

Figura 64

Tablero de Control Sistema de Corte



Nota. Diseño propio.

Figura 65*Tablero se Drivers Sistema de Corte*

Nota. Diseño propio.

Los tableros eléctricos mostrados corresponden al sistema de control y potencia de la máquina de corte al vuelo, en ellos se integran los dispositivos encargados de la protección, maniobra, control y sincronización del proceso de corte con el movimiento continuo de la tubería.

En el primer tablero Figura 64 se observan elementos de control y distribución eléctrica, como contactores, relés, fuentes de alimentación, borneras y protecciones eléctricas, también se aprecia el sistema de cableado organizado para la conexión de sensores, actuadores y motores involucrados en el mecanismo de corte, este tablero cumple la función de coordinar las señales de control y garantizar el funcionamiento seguro y sincronizado de la máquina.

El segundo tablero Figura 65 corresponde principalmente al sistema de potencia y acondicionamiento eléctrico. Contiene transformadores, variadores y equipos de control de

velocidad, además de dispositivos de protección y regulación eléctrica. estos componentes permiten adaptar y suministrar la energía necesaria para el accionamiento del sistema de corte y el control de velocidad del mecanismo móvil.

En conjunto, ambos tableros permiten la sincronización entre la velocidad de desplazamiento de la tubería y el mecanismo de corte, garantizando precisión, estabilidad operativa y seguridad durante el proceso de corte al vuelo Figura 66.

Figura 66

Sistema de corte Instalado



Nota. Diseño propio.

Implementación de Controles de Seguridad en el Sistema

Con el fin de garantizar una operación segura tanto para el operario como para los equipos involucrados en el proceso de corte al vuelo, se implementaron diferentes controles de seguridad físicos y lógicos dentro del sistema de automatización. Estas medidas permiten

minimizar riesgos operacionales, prevenir accidentes laborales y proteger los componentes del sistema frente a condiciones de operación anormales.

Controles de seguridad físicos

Los controles de seguridad físicos corresponden a los dispositivos instalados directamente en la máquina para proteger al operario de posibles riesgos derivados de las partes móviles y del proceso de corte. Entre las principales medidas implementadas se encuentran:

Los botones de parada de emergencia (E-STOP), son instalados en puntos estratégicos de la máquina y en la consola de operación del sistema para permitir la detención inmediata de la máquina en caso de presentarse una situación de peligro.

Protecciones mecánicas o guardas de seguridad, están ubicadas en las zonas de riesgo, especialmente en el área de la sierra de corte y elementos de transmisión, evitando el contacto directo del operario con partes móviles.

Sensores de posición, son utilizados para monitorear la posición de los elementos mecánicos y evitar desplazamientos fuera de los rangos permitidos, la bancada y el carro portacuchilla cuentan con dos sensores límites para la calibración y seguridad del sistema.

Dispositivos de señalización visual, la consola de operación del sistema contiene pulsadores y leds luminosas que indican un evento o que permiten informar al operario sobre el estado de operación del sistema, indicando condiciones de funcionamiento normal, advertencia o falla.

Como se observa en la Figura 67 estas son las medidas físicas constituyen la primera barrera de protección dentro del sistema de seguridad de la máquina.

Figura 67

Guarda de Seguridad



Nota. Diseño propio.

Figura 68

Consola de Operaciones con Parada de Emergencia



Nota. Diseño propio.

Controles de seguridad lógicos

Adicionalmente, se implementan controles de seguridad a nivel lógico dentro del sistema de control como se observa en la Figura 69, los cuales permiten supervisar constantemente las condiciones de operación y actuar de forma automática ante situaciones anormales.

Estos controles fueron programados en el controlador de movimiento trio motion MC403 mediante el entorno de programación motion perfect 5.

Figura 69

Algoritmo de Rutina para Paradas del Sistema

```

FE
0  pe:
1  bits_estados.standby = 0
2  IF (bits_estados.alarma_en_proceso = 1) THEN
3  IF (PROC_STATUS PROC(1) <> 0) THEN
4  RAPIDSTOP (2)
5  WAIT IDLE
6  WDOG = OFF
7  BASE(bancada)
8  SERVO=OFF
9  AXIS_ENABLE=OFF
10 BASE(porta_cuchilla)
11 SERVO=OFF
12 AXIS_ENABLE=OFF
13 STOP "MAIN", 2
14 STOP "PORTACUCHILLA", 4
15 WAIT UNTIL PROC_STATUS PROC(2) = 0
16 WAIT UNTIL PROC_STATUS PROC(4) = 0
17 ENDF
18 ELSEIF (PROC_STATUS PROC(2) <> 1) THEN
19 IF (PROC_STATUS PROC(2) = 0) THEN
20 RUN "MAIN",2
21 WAIT UNTIL PROC_STATUS PROC(2) <> 0
22 IF (PROC_STATUS PROC(4) = 0) THEN
23 RUN "PORTACUCHILLA",4
24 WAIT UNTIL PROC_STATUS PROC(4) <> 0
25 ENDF
26 ENDF
27 ENDF
28 *****Estado equipos*****
29 ON(p318.in_paro_emergencia+1)GOTO en_alarma
30 ON(bits_estados.sobre_torque_horno_cuchilla)GOTO en_alarma
31 ON(bits_estados.final_carrera_activado) GOTO en_alarma
32 ON(mc403.in_alarma_presion_hidraulica) GOTO en_alarma
33 ON(mc403.in_alarma_presion_aire) GOTO en_alarma
34 ON(p318.in_falla_servo_movimiento+1)GOTO en_alarma
35 ON(p318.in_falla_servo_alimentacion+1) GOTO en_alarma
36 ON(p318.in_falla_vfd_cuchilla+1) GOTO en_alarma
37 ON(bits_estados.alarma_velocidades) GOTO en_alarma
38 *****Monitor error de posicion*****
39 IF MOTION_ERROR <> 0 THEN GOTO en_alarma
40 *****Reset alarma*****
41 IF(manual.rst = 1) THEN
42 bits_estados.alarma_en_proceso = 0
43 p317.out_indicador_de_alarma = 0
44 p317.out_indicador_de_falla = 0
45 bits_estados.error_de_posicion = 0
46 DATUM(0)'limpia los errores en los ejes
47 soltar_reset:
48 ON(manual.rst)GOTO soltar_reset
49 ENDF
50 IF bits_estados.alarma_en_proceso = 0 THEN
51 *****Potencia Movimiento Bancada*****
52 IF p318.in_potencia_movimiento = 0 THEN
53 p317.out_potencia_movimiento = 1
54 ELSE

```

Nota. Diseño propio.

Figura 70

Algoritmo de Rutina para Paradas del Sistema Parte 2

```

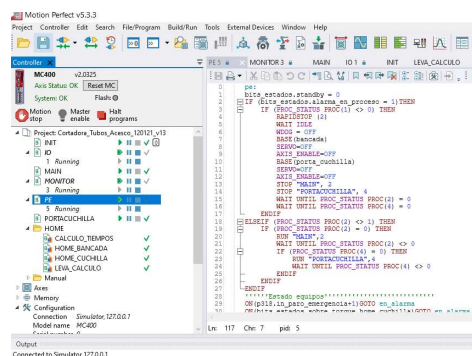
PE
75     ENDIF
76     ENDDIF
77     *****
78     GOTO ps
79     *****
80     *****Reset alarmas*****
81     **Apago banderas y Servo OFF *****
82     en_alarma:
83     bits_estados.marcha = 0
84     bits_estados.marcha_simulado = 0
85     bits_estados.alarma_en_proceso = 1
86     p317.out_indicador_de_alarma = 1
87     p317.out_indicador_de_falla = 1
88     hmi_pulsadores_recetas.start = 0
89     homec.home_done = 0
90     homec.home_done_cuchilla = 0
91     homec.home_en_proceso = 0
92     mc403.out_habilitacion_servo_mov = 0
93     mc403.out_habilitacion_servo_alm = 0
94     p317.out_habilitacion_cuchilla = 0
95     p317.out_abrazadera_hidra_electrom = 0
96     OR(16, OFF) ** apago abrazadera
97     p317.out_potencia_movimiento = 0
98     p317.out_potencia_alimentacion = 0
99     p317.out_potencia_cuchilla_corte = 0
100    p317.out_commutacion_alimentacion = 0
101    p317.out_bomba_acetate_lubricante = 0
102    permiso_baja_cuchilla=0
103    *****
104    IF MOTION_ERROR <> 0 THEN
105        bits_estados.error_de_posicion = 1
106    ENDDIF
107    ON(p318.in_paro_emergencia+1)GOTO ps
108    IF (manual_rst = 1)THEN
109        p317.out_reinicio_alarmas = 1
110        WA(1000)
111        p317.out_reinicio_alarmas = 0
112        bits_estados.final_carrera_activado = 0
113        bits_estados.alarma_velocidades = 0
114        homec.home_en_proceso = 0
115        DATUM(0)**limpia los errores en los ejes
116    ENDDIF
117    GOTO ps

```

Nota. Diseño propio.

Figura 71

Programa Desarrollado en Motion Control 5.



Nota. Diseño propio.

Entre las principales estrategias implementadas se destacan:

Interbloqueos de seguridad (calibración): que impiden la ejecución del proceso de corte si no se cumplen previamente todas las condiciones de seguridad establecidas.

Supervisión de señales de sensores: el sistema verifica constantemente el estado de sensores de posición, presencia de material y condiciones de operación antes de habilitar el movimiento de los actuadores.

Control de límites de velocidad y posición: configuraciones que restringen el movimiento de los servomotores dentro de rangos seguros de operación.

Parada automática ante fallas: el sistema detiene el proceso en caso de detectar errores de sincronización, fallas de sensores o condiciones anormales en el funcionamiento.

Generación de alarmas y notificación de eventos: que permiten informar al operario sobre cualquier irregularidad detectada durante el proceso.

Integración de la Seguridad en la Operación del Sistema

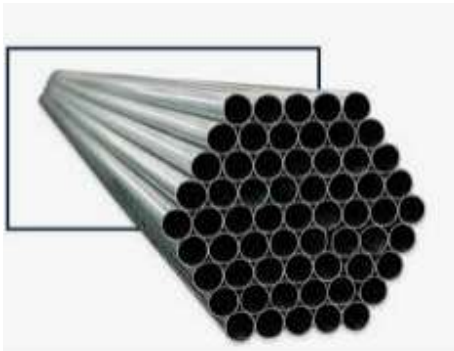
La combinación de controles físicos y lógicos permite establecer un sistema integral de seguridad que protege tanto al personal operativo como a los componentes del equipo. De esta manera, el sistema de corte al vuelo opera bajo condiciones controladas, garantizando que cada etapa del proceso se ejecute únicamente cuando se cumplen todos los criterios de seguridad previamente definidos.

Se logra cumplir con los objetivos específicos, sobre todo enlazar el nuevo sistema de corte con el proceso de la línea de tubería TUB01, la ejecución de las pruebas fue satisfactoria, se logra integración e implementar la parte de programación en el controlador MC403, y cumplir

con el trabajo de sierra de corte en frío el cual hace un corte perfecto del tubo dejando un acabado liso y sin rebaba eliminando el defecto corazón tanto en línea y fuera de línea. Al ser el sistema de corte un equipo muy importante en el molino de tubos se logra un control automático y manual, manteniendo una alta velocidad y precisión de corte.

Figura 72

Tubería con Nuevo Sistema de Corte



Nota. Tomado de <https://www.acesco.com.co/producto/tuberia-de-cerramiento/>

Tabla 1*Plan de Mejora*

N	Acciones de mejora <i>para</i> llevar a cabo	Dificultad	Plazo	Impacto	Priorización
1	Instalar sistemas de lubricación a la sierra de corte	Alta	Corto	Alto	Alta
2	Instalar sistema de lubricación a los rieles de movimiento de la bancada	Alta	Corto	Alto	Alta
3	Visualizar y grabar las variables del sistema de corte en el sistema IBA para la adquisición y análisis de datos de procesos	Media	Mediano	Alto	Mediana

Nota. Esta table contiene las mejoras pendientes por instalar para nuevos proyectos

Plan de Mantenimiento

Recomendación de mantenimiento por horas de operación y tiempo de instalación:

Lubricación periódica: engrasar cojinetes, guías lineales y ejes según las horas de trabajo recomendadas por el fabricante, utilizar lubricantes adecuados a la temperatura y velocidad de operación.

Revisión de alineación y paralelismo: verificar que el cabezal de corte y la cuchilla estén correctamente alineados con el material, corregir desviaciones para evitar cortes imprecisos o desgaste irregular.

Verificación de sensores: limpiar y comprobar sensores de posición, velocidad y detección del material, revisar que no presenten falsos disparos o interferencias.

Revisión de cuchillas: inspeccionar filos antes y después del turno, afilarlas o reemplazarlas según desgaste (evita rebabas y cortes irregulares), asegurar el torque correcto en los tornillos de sujeción.

Monitorear vibraciones: colocar sensores o realizar mediciones periódicas para detectar desbalance o desgaste en ejes.

Control de temperatura de motores y rodamientos: revisar que no excedan los límites normales de operación.

Análisis de corriente en servomotores: detecta sobrecarga o problemas de sincronización en el corte.

Mantenimiento Correctivo: sustituir componentes eléctricos dañados (relés, contactores, sensores, drivers) por repuestos originales.

Recalibrar el sistema después de cada intervención.

Mantenimiento Eléctrico y de Control:

Revisar conexiones de bornes y tierras.

Limpiar tableros eléctricos, eliminar polvo y humedad.

Comprobar integridad del cableado del encoder y del servomotor.

Actualizar el software o firmware del PLC o variador si el fabricante lo recomienda.

Inspección Básica Cada 4 meses.

Mantenimiento Reductor Cada 10,000 h o 3 años.

Mantenimiento Eléctrico menor Cada 6 meses

Mantenimiento Eléctrico Mayor Cada 3 años.

Backus de información Cada mantenimiento.

Tabla 2*Actividades de Mantenimiento*

Contenido	Inspección Básica	Inspección Motor y reductor	Mantenimiento Eléctrico menor	Mantenimiento Eléctrico Mayor
Verificar grado de suciedad	X			
Inspección ruido de funcionamiento	X			
Control de estado de Mangueras e Instalaciones eléctricas	X			
Limpieza y engrase puntos móviles	X			
Inspección visual ejes de transmisión y tornillo sin fin	X			
Inspección visual de fugas en cajas reductoras	X			
Inspección visual del sellado del gabinete eléctrico	X			

Contenido	Inspección Básica	Inspección Motor y reductor	Mantenimiento Eléctrico menor	Mantenimiento Eléctrico Mayor
Fijación de las etiquetas de mantenimiento	X			
Intercambio		X		
Aceite cajas reductoras				
Inspección		X		
Motor y las transmisiones de los ejes				
Inspección visual del Gabinete			X	
Limpieza ventilador Externo			X	
Cambio del sellado del Armario				X
Mantenimiento Drivers				X
Ajuste de conexiones			X	
Verificar estado del cableado de control y potencia			X	

Contenido	Inspección Básica	Inspección Motor y reductor	Mantenimiento Eléctrico menor	Mantenimiento Eléctrico Mayor
Intercambio de ventiladores				X
Limpieza gabinete			X	

Nota. Esta tabla contiene la descripción detallada de mantenimiento según especialidad técnica

Conclusiones

El sistema de corte al vuelo es una solución eficiente y moderna, este sistema se ha implementado en la líneas de producción de tubería estructural y galvanizada continua, y se utiliza especialmente en la industria del aceros, Se integró el nuevo sistema de corte al vuelo, en mi área la parte electrónica se implementa la integración de la programación y enlaces en la parte de automatización, El desarrollo del sistema de corte al vuelo, permite demostrar la viabilidad técnica y funcional de automatizar el proceso de TUB01 eliminando el efecto corazón en la tubería, realizando un corte perfecto del tubo dejando un acabado liso y sin rebaba.

Gracias a la sincronización precisa entre el mecanismo de corte y la velocidad de avance del material, se logra una alta exactitud en la longitud de corte y una operación segura y automatizada. En conclusión, la implementación de un sistema de corte al vuelo representa una mejora significativa en la eficiencia, precisión y continuidad del proceso industrial, aportando valor tanto en calidad del producto final como en la optimización de recursos energéticos y humanos.

Los resultados obtenidos evidencian que el sistema responde adecuadamente a las variaciones de velocidad y mantiene una longitud de corte constante dentro de los márgenes de tolerancia establecidos. Además, la automatización del proceso contribuye a reducir el desperdicio de material, el desgaste mecánico y los tiempos muertos, generando un impacto positivo en la rentabilidad y la competitividad industrial.

Este proyecto logra cumplir con los objetivos propuestos y demuestra que la implementación de un sistema de corte al vuelo constituye una alternativa tecnológica eficiente,

confiable y adaptable a este tipo de maquinaria industrial, favoreciendo la modernización de los procesos productivos.

Referencias Bibliográficas

- Moreano Sánchez, G. V., Tafur Sotelo, J., & Sánchez Oñate, Á. (2024). *Teoría clásica de control automático* (Primera Edición, 2024 ed.). Lima, Peru: MARCOMBO, S. L.
- Obtenido de https://books.google.com.co/books?id=2JMCEQAAQBAJ&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Alexander, T. (12 de 12 de 2025). *TRIO MOTION TECHNOLOGY*. Obtenido de <https://blog.triomotion.com/combining-motion-performance-with-plc-functionality/>
- Chaves, J. S. (2023). *Introducción a la automatización CIM para Ingeniería Mecatrónica*. Bogota: Editorial Universidad ECCI.
- Concepción, F. S., Aguilar, R. P., Moreno, A. S., Cordoví, A. A., Castro, J. C., & Santiago, O. L. (17 de Febrero de 2022). Metodología para la automatización de procesos tecnológicos en la industria farmacéutica cubana. *SciELO Analytics*, 1-14. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59362022000100082&lang=es
- Deacero. (17 de Marzo de 2021). *DE ACERO INTELIGENCIA INDUSTRIAL*. Obtenido de ¿Cómo impacta la industria 4.0 en la manufactura del acero?: <https://blog.deacero.com/como-impacta-la-industria-4.0-en-la-manufactura-del-acero>
- Dietrich, S. (14 de 08 de 2022). Comparación de lenguajes de programación: texto estructurado vs. lógica de escalera. <https://control.com/>, 1.

Duranso, G. (4 de 10 de 2021). *programación de texto estructurado (ST) | Ejemplos y aplicaciones*. Recuperado el 16 de 01 de 2025, de Analicemos los conceptos básicos de la programación de PLC utilizando texto estructurado.:

<https://www.realpars.com/blog/structured-text>

edsrobotics. (27 de Julio de 2020). *EDS ROBOTICS*. Obtenido de La importancia de la automatización de procesos industriales:

<https://www.edsrobotics.com/blog/automatizacion-procesos-industriales/>

Gabriel Vinicio Moreano Sánchez, J. C. (2024). *TEORÍA CLÁSICA DE CONTROL*. Peru: Marcombo S. L.

García, S. M., García, R. M., & Vidales, M. A. (2019). IMPACTO DE LA AUTOMATIZACIÓN EN LA CALIDAD EN EMPRESAS GRANDES. *Revista Internacional Administración & Finanzas*, XII(2), 41-54. Obtenido de <http://www.theibfr2.com/RePEc/ibf/riafin/riaf-v12n2-2019/RIAF-V12N2-2019-3.pdf>

Inzunza Acedo, B. E., Wright, C., Ghys, T., & Cools, P. (04 de Septiembre de 2020). Imaginarios de la robotización: la automatización desde la perspectiva del empleado. *SciELO Analytics*, 567-599. doi:<http://dx.doi.org/10.24201/es.2020v38n113.1923>

Kennelly, M. (10 de 08 de 2025). *TRIO MOTION TECHNOLOGY*. Obtenido de ¿QUÉ PODEMOS APRENDER DE LA HISTORIA DEL CONTROL DE MOVIMIENTO?: <https://blog.triomotion.com/the-history-of-motion-control/>

- Kuzu. (9 de Junio de 2022). *Kuz S.L.* Obtenido de LA IMPORTANCIA DE LA AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES: <https://kuzudecoletaje.es/la-importancia-de-la-automatizacion-de-procesos-industriales/>
- Márquez, J. V. (2019). *Los inicios de la automatización de bibliotecas en México*. Ciudad de México: D.R. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.
- Muñoz Escudero, A. O., & Calzadilla Urriola, D. A. (30 de Enero de 2025). Implementación de Tecnología CAD/CAE/CAM para la Industria 4.0 y su Impacto en la Eficiencia Industrial, Panamá 2024. *Revista Especializada de Ingeniería y Ciencias de la Tierra*, 4, 113 - 114. doi:10.48204/reict.v4n2.6754
- Novak, E. (24 de 11 de 2025). *TRIO MOTION TECHNOLOGY*. Obtenido de ESPECIFICACIÓN DE UN SISTEMA DE SERVOCONTROL: LA PERSPECTIVA DEL DISEÑADOR DE MÁQUINAS: <https://blog.triomotion.com/specifying-a-servo-system/>
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna* (5.ª ed.). Madrid, España: Pearson Educación S.A. Obtenido de <https://ingenierovizcaino.com/material/libros/sd/ingenieria-de-control-moderna-ogata-5ed.pdf>
- Revista. (Marzo - Abril de 2017). Servomotores: control, precisión y velocidad. *AADECA*, 4, 1-2. Obtenido de https://www.editores-srl.com.ar/sites/default/files/aa4_micro_servomotores.pdf
- Šindelář, M. (24 de 8 de 2018). *Proceedings of the 24th Conference STUDENT EEICT*. Obtenido de Rotary Encoder Calibration: <http://hdl.handle.net/11012/138272>

Apéndices

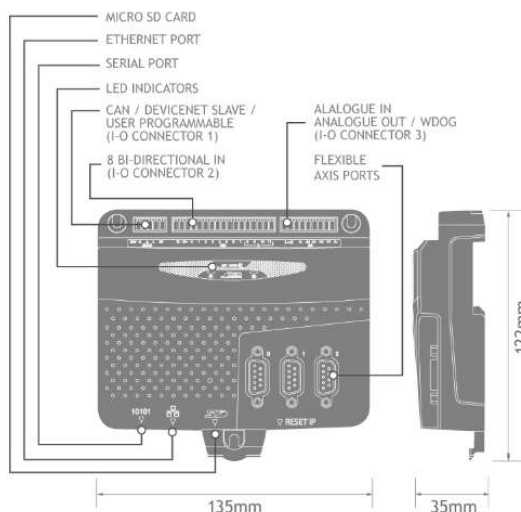
Apéndice A

Especificaciones Técnicas MC403

MC403-X

P865 | P866 | P867

PRODUCT	P865 MC403-X	P866 MC403-X	P867 MC403-X
Description	3 Axis panel mounted Motion Coordinator	3 Axis panel mounted Motion Coordinator	3 Axis panel mounted Motion Coordinator
Name	MC403-X	MC403-X	MC403-X
PCode	P865	P866	P867
Status	Current	Current	Current
CONFIGURATION	P865 MC403-X	P866 MC403-X	P867 MC403-X
Axis 0	Extended	Extended + AS	Extended + AS
Axis 1	Extended	Extended	Extended + AS
Axis 2		Extended	Extended
Axis 3			
Axis 4			
Axis 5			
Axis 6			
Axis 7			
AXIES	P865 MC403-X	P866 MC403-X	P867 MC403-X
Max axes	2	3	3
Max networked axes	0	0	0
Max virtual axes	16	16	16
Max discrete wired axes	2	3	3
PERFORMANCE	P865 MC403-X	P866 MC403-X	P867 MC403-X
Cores	1	1	1
Processor	ARM Cortex-M7	ARM Cortex-M7	ARM Cortex-M7
Clock frequency	396 MHz	396 MHz	396 MHz
Maths precision	IEEE 457 Double	IEEE 457 Double	IEEE 457 Double
Position register precision	64 bit	64 bit	64 bit
Execution benchmark	67 lines/ms	67 lines/ms	67 lines/ms
Real-time clock	Yes	Yes	Yes
Flash memory	32 x 16000 values	32 x 16000 values	32 x 16000 values
User memory	4 MB	4 MB	4 MB
Table memory	512000 values	512000 values	512000 values
Min expected flash memory life (normal use)	20 years	20 years	20 years
Maximum VR variables	4096	4096	4096



Axis Configuration Key

CORE FUNCTIONALITY

CORE AXES – can be configured in software as pulse and direction outputs with stepper or servo drives. They can also be configured for incremental encoder feedback.

Core functionality is a set of ATYPES (Axis TYPEs) that are available on all controllers. They are based on pulse outputs and incremental encoder feedback.

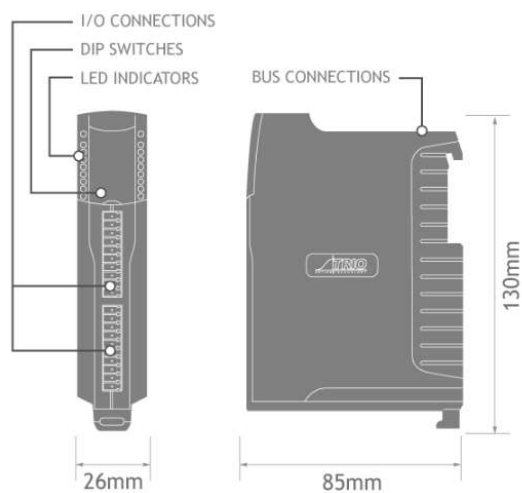
ATYPE	Description
43	Pulse and direction output with enable output
45	Quadrature encoder output with enable output
63	Pulse and direction output with Z input
64	Quadrature encoder output with Z input
76	Incremental encoder with Z input
78	Pulse and direction with VFF_GAIN and enable output 1

EXTENDED FUNCTIONALITY

Apéndice B

Especificaciones Técnica CAN-16-in Digital

Inputs	CAN link for up to 16 modules over 100m @ 500kHz
Configuration	16 input channels
Protection	Outputs are overcurrent and over temperature rated
Indicators	Individual status LED's
Address Setting	Via DIP switches
Power Supply	24V / 1.5W
Mounting	DIN rail mount
Size	26mm wide x 85mm deep x 130 mm high
Weight	168g
CAN	500kHz, Up to 256 expansion output channels
EMC	EN61000-6-2 (2005) Industrial Noise Immunity/ EN61000-6-4 (2007) Industrial Noise Emissions.
CAN protocol	Trio CAN/IO or CANopen DS401
RoHs, UL	Compliant



Apéndice C

Servopack and Rotary Servomotor (400V Power)

Combination of $\Sigma-7S$ SERVOPACK and Rotary Servomotor (400V Power)

- For MECHATROLINK-III Communications
- Three-phase 400 VAC

