Diseñar una Máquina Automatizada con FLUIDSIM y AUTOCAD para Realizar el Control de Calidad en Piezas Mecánicas

Proyecto Integral de Educación Dual

para obtener el título de:
Ingeniero en Mecatrónica

Especialidad:
Automatización de procesos

PRESENTA

GOMEZ BLAS NOEL

Matricula No. 201921540

CHAVEZ GRANADOS BRIAN ANDRES

Matricula No. 201921352

MORENO SALGADO IVAN

Matricula No. 201921028

CARRERA

INGENIERÍA MECATRÓNICA

ASESOR INTERNO

MTRO. ROBERTO DOMÍNGUEZ LÓPEZ

Coacalco de Berriozábal, Mayo, 2024

AGRADECIMIENTO

Al llegar al final de mi trayectoria universitaria, me llena de gratitud expresar mis sinceros agradecimientos a aquellos que han sido pilares fundamentales en este significativo capítulo de mi vida.

A mi querida madre, mi mayor fuente de inspiración y apoyo inquebrantable, agradezco por su inagotable amor, paciencia y sacrificio. Su constante aliento ha sido el motor que me impulsó a alcanzar cada logro. Este diploma no solo es mío, sino también suyo, reflejando la dedicación y valores que me ha transmitido a lo largo de los años.

A mi hermana, compañera de risas, confidente y cómplice en cada desafío, agradezco por ser mi apoyo incondicional. Tu presencia ha sido un faro en los momentos de oscuridad, iluminando mi camino con tu cariño y comprensión.

A mi mejor amigo, quien ha compartido risas, desafíos y triunfos a lo largo de esta travesía universitaria, te agradezco por ser un pilar constante en mi vida. Tus palabras alentadoras y tu amistad le han dado un matiz invaluable a estos años de estudio.

A mis profesores, quienes han desafiado y nutrido mi mente, agradezco por su dedicación y pasión por la enseñanza. Cada lección, consejo y orientación han contribuido no solo a mi desarrollo académico, sino también a mi crecimiento como persona. Sus conocimientos y experiencias han dejado una huella indeleble en mi formación.

En conjunto, han sido mi familia, amigos y profesores quienes han conformado un círculo de apoyo que ha hecho posible este logro. A cada uno de ustedes, mi más sincero agradecimiento. Este diploma no solo representa mi esfuerzo individual, sino la suma de contribuciones de aquellos que han estado a mi lado en este viaje educativo.

Con gratitud,

Noel Gómez Blas

Queridos papá y mamá,

No sabría por dónde empezar para agradecerles todo el apoyo y amor incondicional que me han brindado para terminar mis estudios. Sin su constante motivación, aliento y sacrificio, no habría logrado llegar hasta aquí. Gracias por creer en mí y por su dedicación para que pudiera alcanzar mis metas.

Sé que no ha sido fácil para ustedes, y por eso les estoy eternamente agradecido. Desde ayudarme con las tareas, hasta ser mi fuente de inspiración y su papel en mi educación ha sido fundamental. Me siento afortunado de tener unos padres tan entregados y comprometidos con mi futuro.

Hoy, al terminar mis estudios, quiero expresarles que este logro también es suyo. Todo lo que he alcanzado es gracias a ustedes, y estoy ansioso por devolverles todo el amor y los esfuerzos que han dedicado en mí.

Gracias por ser mis guías, mis héroes y mis mejores amigos. Los quiero con todo mi corazón.

Con gratitud,

Brian Andres Chavez Granados

Quiero aprovechar estas líneas para agradecer a todas las personas que han creído en mi lo largo de estos años, por mis profesores que me enseñaron y me ayudaron a convertirme en lo que soy el día de hoy.

En primer lugar, quería agradecer el apoyo recibido por parte de toda mi familia, desde mis padres y mis abuelos ya que siempre me han estado apoyando y confiando en mi en todo este proceso, desde que empecé a estudiar esta dura carrera como es la de ingeniero en mecatrónica y que siempre me han motivado a seguir.

Mis abuelos que son mi mayor ejemplo de lo que es una vida llena de logros y mucho esfuerzo que por supuesto son los que siempre ayudan sin recibir nada a cambio esto se los dedico con todo mi corazón.

Mis padres, que sobre todas las diferencias siempre supieron confiar y creer en mi para la realización de este proyecto que siempre se han sentido muy orgullosos de mi, que siempre me ha apoyado mucho, y que espero.

Para mi abuelo Nahu Salgado

Para mi abuela Teresa Andrade

Para mi madre Gisela Salgado

Para mi padre Ivan Moreno Goncen

Con dedicatoria,

Ivan Moreno Salgado.

RESUMEN

El presente documento detalla la metodología y las actividades realizadas para la investigación de la propuesta que se realizó en la COMPAÑÍA EIMEX S.A. DE C.V. para Diseñar una maquina automatizada para realizar el control de calidad en piezas mecánicas

La problemática se genera al momento de checar el control de calidad de muchas piezas solicitadas en ese momento, sabiendo así que el chequeo continuo de piezas que realiza el operador tiende a tener muchas fallas y es muy laborioso, llegar a tener un estándar de calidad que asegure que todas las piezas que se entreguen o envíen a los clientes estén correctamente fabricadas y tengan sus medidas específicas.

Buscando una mejora eficaz y comparando diversos métodos se propuso una solución que fue diseñar una máquina completamente automatizada para la medición mejorada de las mismas, esperando tener una mejor calidad y eficacia al momento de realizar esta actividad.

Además de esta mejora, se proponen alternativas, dejando a consideración de la empresa, su mejor opción.

Palabras clave: Automatización, medición mejorada, calidad del proceso.

ABSTRACT

This document details the methodology and activities carried out for the investigation of the proposal that was carried out at COMPAÑÍA EIMEX S.A. DE C.V. to Design an automated machine to perform quality control on mechanical parts.

The problem arises when checking the quality control of many pieces requested at that time, knowing that the continuous checking of pieces carried out by the operator tends to have many failures and is very laborious, reaching a quality standard that Ensure that all parts delivered or shipped to customers are correctly manufactured and have their specific measurements.

Looking for an effective improvement and comparing various methods, a solution was proposed, which was to design a completely automated machine for improved measurement, hoping to have better quality and efficiency when carrying out this activity.

In addition to this improvement, alternatives are proposed, leaving the company's best option for consideration.

Keywords: Automation, improved measurement, process quality.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO 2
RESUMEN 5
ÍNDICE 6
- Índice de Ilustraciones 8

Introducción 10
CAPITULO 1: Datos Generales de la Empresa 11
Nombre de la Empresa 11
Giro y Tipo de Capital 11
Misión 11
Visión 11
Valores 11
Organización de la Empresa 12
Historia de la Compañía Eimex S.A. de C.V 13
Descripción de puesto y área de trabajo. 14
Departamento 14
Jefe de área 14
Objetivos 15
Objetivo general 15
Objetivos específicos 15
Alcances 16
Justificación 16
Limitaciones 17
CAPITULO 2: Marco Teórico 18
Antecedentes de la investigación 18
Definiciones 37
- Funcionamiento del PLC 38
- Controlador 38
- Estructura física del PLC 39

DIAGRAMA DE CONEXIÓN 41
Mecánica del proyecto 45
- Partes que conforman un sistema vibratorio 45
- Diseño 45

- Estructura General 45
- Soporte rectangular 46

Mecánica del proyecto 46

- Partes que conforman un sistema vibratorio 46

Paso 2: Diseño de la maquina automatizada 46

- Diseño 46
- Estructura General 46
- Soporte rectangular 47
- Tolva vibratoria 47
- Bowl vibratorio 47
- Vibrador lineal 47
- Mesa de soporte 48

CAPITULO 3: Desarrollo de la investigación 48

Listado de proceso para la fabricación y verificación de piezas en un proceso autónomo. 48

CAPITULO 4: Procedimiento y descripción de las actividades realizadas por el residente 68

Actividades generales designadas por la empresa para el residente. 68

Actividades específicas para la realización de su informe 72

Resultados 73

Conclusión 77

Referencias 79

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Mapa de Localización de la Compañía EIMEXS.A. de C.V. [en línea]
Ilustración 2: Organización de la Compañía [proporcionada por la misma]
Ilustración 3: Pie de rey o vernier 19
Ilustración 4: Primeros ancestros del calibrador 20
Ilustración 5: El Nonio… 20
Ilustración 6: Funcionamiento de un calibrador… 21
Ilustración 7: Sistema de medición con el cuerpo humano… 22
Ilustración 8: La vara de medir 23
Ilustración 9: Circulo meridiano… 24
Ilustración 10: La estandarización del sistema métrico decimal… 25
Ilustración 11: Manufactura artesanal… 25
Ilustración 12: Revolución industrial… 26
Ilustración 13: Producción en masa 27
Ilustración 14: Automatización y robótica 27
Ilustración 15: Manufactura digital… 28
Ilustración 16: Sostenibilidad ambiental… 28
Ilustración 17: Torno manual… 31
Ilustración 18: Torno de arco… 32
Ilustración 19: Torno de pedal… 32
Ilustración 20: Torno de madera y metal 33
Ilustración 21: Torno especializado… 33
Ilustración 22: Tornos adaptados… 34
Ilustración 23: Control numérico… 34
Ilustración 24: Torno CNC 35
Ilustración 25: Centro de maquinado 35
Ilustración 26: Creación de piezas por brazo robótico… 35
Ilustración 27: Industria 36
Ilustración 28: Diagrama de interfaces en el PLC 39
Ilustración 29: Estructura física del PLC 40
Ilustración 30: Diagrama de conexión del PLC 42
Ilustración 31: Salidas de voltaje del PLC 42
Ilustración 32: Diagrama físico del PLC para cargar el programa 43
Ilustración 33: Diagrama de conexión neumática 44
Ilustración 34: Simulación neumática 45
Ilustración 35: Proceso de Manufactura dentro de la empresa para clientes nuevos 49
Ilustración 36: Medidas para la tolva vibratoria [Proporcionado por el fabricante] 52
Ilustración 37: Medidas para la tolva vibratoria [Proporcionado por el fabricante] 53
Ilustración 38: Medidas del perfil modular utilizado [AutoCAD] 54
Ilustración 39: Medidas del vibrador lineal [Proporcionado por el fabricante] 55
Ilustración 40: Mesa [AutoCAD] 56

Ilustración 41: Diagrama eléctrico [Fluidsim] 57
Ilustración 42: Conexión de pitones y electroválvulas [Fluidsim] 57
Ilustración 43: Enclave PLC [siemens] 58
Ilustración 44: Conexiónes fisicas de un sensor 58
Ilustración 45: Conexiones Fisicas en el PLC para conectar sensores npn [siemens] 59
Ilustración 46: Conexiones Fisicas en el PLC para sensores npn [Siemens] 59
Ilustración 47: Conexiones Fisicas en el PLC para sensores npn [Siemens] 60
Ilustración 48: Conexión fisica de electrovalvula y botonera 60
Ilustración 49: Conexión de motor fisico para puentearlo al PLC [Siemens] 61
Ilustración 50: Enclave eléctrico [Fluidsim] 62
Ilustración 51: Prueba de un TIMER en PLC [Siemens] 62
Ilustración 52: Prueba de medicion de la Cámara 63
Ilustración 53: Código de bloques [Fluidsim] 63
Ilustración 54: Diametro del bowl vibratorio [AutoCAD] 64
Ilustración 55: Bowl y riel vibratorio [AutoCAD] 64
Ilustración 56: Tolva 3d [AutoCAD] 65
Ilustración 57: Plano para fabricar la tolva [AutoCAD] 65
Ilustración 58: Plano para fabricar riel vibratorio [AutoCAD] 66
Ilustración 59: Medidas de vibrador lineal [AutoCAD] 67
Ilustración 60: Diseño interior del bowl [AutoCAD] 67
Ilustración 61: Simulacion completa del proceso [Fluidsim] 74
Ilustración 62: Cuadro electrico y neumatico del diseño [Fluidsim] 74
Ilustración 63: Disemo del proceso 3D [AutoCAD] 75
Ilustración 64: Lateral del diseño completo [AutoCAD] 75

Introducción

En un mundo empresarial cada vez más competitivo, la automatización se ha convertido en un factor crítico para mejorar la productividad y mantener la ventaja competitiva. Eimex S. A DE C. V. ha reconocido la importancia de adoptar la automatización completamente autónoma para lograr sus objetivos. Este informe presenta los aspectos clave de este proceso.

En el transcurso de esta investigación, exploraremos en profundidad el proceso de creación de una máquina completamente automatizada, desde la concepción inicial hasta la implementación práctica.

Además, examinaremos detalladamente los planos que sirven como guía para la construcción física de estas máquinas automatizadas. Estos documentos no solo representan el diseño conceptual, sino que también son la clave para una implementación exitosa. Analizaremos los elementos cruciales de los planos, desde la disposición estructural hasta la especificación de componentes, destacando su importancia en la materialización de la visión ingenieril.

La investigación también abordará los desafíos y oportunidades asociados con la creación de máquinas automatizadas a través de simulaciones y planos detallados. Se examinarán casos de estudio y mejores prácticas, destacando experiencias previas y lecciones aprendidas que puedan guiar futuros proyectos en este emocionante campo.

El proyecto de investigación queda abierto para posteriores mejoras y cambios que sean pertinentes para realizar un mejor análisis, al igual de innovar en sistemas de seguridad e interfaces, entre esos sistemas y el responsable de esa área de producción.

CAPITULO 1: Datos Generales de la Empresa

Nombre de la Empresa

EIMEX S.A. de C.V.

Giro y Tipo de Capital

METALMECANICA Y FABRICACION DE PIEZAS CON CNC, CENTROS DE MAQUINADO Y TORNOS MULTIHUSILLOS

Misión

Nuestro compromiso es el de maquinar y suministrar partes que cumplan con los requisitos de nuestros clientes, de las partes interesadas y los requisitos reglamentarios aplicables; así como mejorar continuamente la eficacia del sistema de gestión de la calidad, mediante el análisis periódico del contexto y la revisión de los objetivos de la calidad.

Visión

Nuestro compromiso es el de maquinar y suministrar partes que cumplan con los requisitos de nuestros clientes, de las partes interesadas y los requisitos reglamentarios aplicables; así como mejorar continuamente la eficacia del sistema de gestión de la calidad, mediante el análisis periódico del contexto y la revisión de los objetivos de la calidad.

Valores

En Eimex & Remak S.A de C.V., entendemos la Ética como hacer lo correcto, de forma adecuada, tanto en los asuntos personales como en los negocios, bajo los siguientes principios básicos:

• Honestidad y sinceridad

• Justicia y equidad

• Respeto mutuo y dignidad

• Rendición de cuentas y responsabilidad

En base a estos principios nos desempeñamos y asumimos las responsabilidades en todos los niveles de la organización.

Dirección y Mapa de Localización

Av. Valle De Las Alamedas No . 1, Izcalli del Valle, 54945 Ciudad de México, Méx.

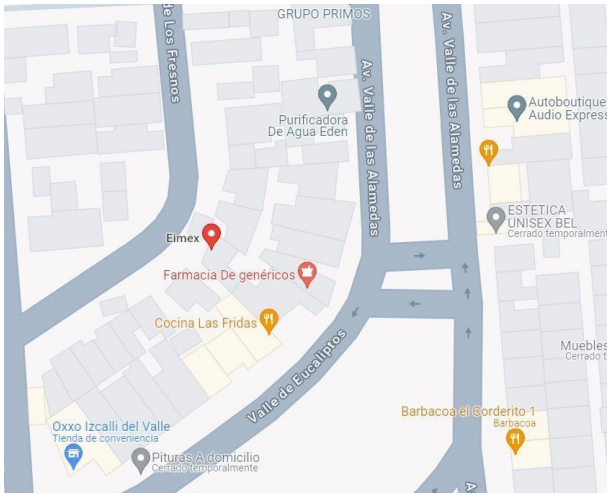


Ilustración 1:Mapa de Localización de la Compañía EIMEXS.A. de C.V. [en línea]

ht https://www.google.com/maps/search/EIMEX/@19.5866979,-99.1837325,19.26z?entry=ttu

Organización de la Empresa



Ilustración 2:Organización de la Compañía [proporcionada por la misma]

Historia de la Compañía Eimex S.A. de C.V.

Fundada en 1959, Eimex S.A de C.V., se dedica principalmente al maquinado de piezas en tornos CNC, automáticos mono husillos y multihusillos, segundas operaciones, taladrado, fresado, rectificado, rolado de cuerdas y ensambles.

Con más de 200 máquinas en su planta de Tultitlán, Estado de México, atienden a la industria automotriz, aeroespacial, eléctrica, línea blanca, electrónica, médica, petróleo y gas. Utilizan materias primas como aceros al carbón, latón, acero inoxidable, aluminio y algunos plásticos.

Eimex emplea a 120 personas, de las cuales, 95 están en la operación para atender a sus principales clientes que están en la Ciudad de México, Querétaro, Aguascalientes, San Luis Potosí, Tijuana, Ciudad Juárez, y exporta el 10% a Estados Unidos.

Eimex es una empresa 100% mexicana, que apuesta a que las inversiones se queden en México. “Hay muchas empresas que traen piezas de otros países y nosotros hemos hablado con ellos para fabricarles las piezas, esa estrategia nos funcionó bien porque los proyectos se quedan en el país. Además, es un ganar-ganar, porque el cliente tiene la necesidad y se le complica importar piezas sobre todo de Asia y nosotros somos una solución”.

Descripción de puesto y área de trabajo.

Departamento

Mantenimiento.

Jefe de área

Ing., Marcos Jonatan Diaz Peralta

El departamento se encarga del mantenimiento en general de la empresa.

El objetivo del departamento es mantener funcionando la línea de producción en todo momento.

En el departamento se requiere más de un jefe de seguridad, para cubrir la parte administrativa y de campo, así como recursos para material para poner al día los reportes de máquinas atrasadas.

Los trabajadores en el área de mantenimiento también deben ser capaces de diagnosticar problemas de manera rápida y efectiva, además de aplicar soluciones eficientes para mantener la integridad operativa de los activos de la empresa. Además de las habilidades técnicas, la capacidad de trabajar en equipo, la atención a los detalles y la disposición para aprender y adaptarse a nuevas tecnologías son cruciales en este campo. El mantenimiento no solo se trata de reparar equipos cuando fallan, sino también de implementar estrategias preventivas y predictivas para prolongar la vida útil de los activos y optimizar los procesos operativos.

Los profesionales de mantenimiento desempeñan un papel crucial en la prevención de fallos y la minimización del tiempo de inactividad, llevando a cabo inspecciones regulares, reparaciones y tareas de mantenimiento planificado.

Problemática

La eficacia y la velocidad en las que se miden, seleccionan y separan las piezas erróneas u correctas, toma mucho tiempo y esfuerzo para los trabajadores, automatizando este proceso la selección y calidad en las piezas aumentaría drásticamente, mejorando la eficacia del trabajo.

Por otra parte, también se observa que la mayoría de los errores de medición se producen por la manipulación directa de los operadores sobre partes de las maquinas, cuando aquellos intentan solucionar alguna anomalía (medidas incorrectas o medidas fuera de los límites permitidos por los planos) mientras está en marcha el equipo no suelen verificar el trabajo que la maquina produce.

Objetivos

Objetivo general

El objetivo principal de este proyecto es desarrollar e implementar un sistema automatizado de verificación de medidas en piezas, con el fin de mejorar la eficiencia y precisión en el proceso de control de calidad.

Este sistema estará diseñado para realizar mediciones dimensionales de manera rápida y precisa, utilizando tecnologías avanzadas como visión por computadora y algoritmos de procesamiento de imágenes.

La finalidad última es optimizar la gestión de calidad en la producción de piezas, reduciendo errores humanos y tiempos de inspección, lo que contribuirá a aumentar la productividad y la satisfacción del cliente.

Objetivos específicos

Los objetivos principales de este proceso de automatización son:

1. Eficiencia Operativa: Aumentar la eficiencia en la producción y reducir el tiempo de inactividad al eliminar errores humanos y optimizar los flujos de trabajo.

2. Reducción de Costos: Minimizar los costos laborales y operativos a través de la automatización, lo que lleva a una mayor rentabilidad.

3. Calidad y Precisión: Mejorar la calidad del producto y la precisión en todas las operaciones para satisfacer las expectativas del cliente.

4. Seguridad: Incrementar la seguridad en el lugar de trabajo al reducir la exposición de los trabajadores a tareas riesgosas.

Alcances

Diseño Detallado: Puedes lograr un diseño detallado y específico mediante simulaciones y planos. Esto proporciona una visión clara de cómo se espera que funcione y se vea el proyecto.

Optimización: Las simulaciones permiten ajustar y optimizar aspectos del diseño antes de la implementación. Puedes identificar posibles problemas o mejoras potenciales y ajustar el diseño en consecuencia.

Ahorro de Costos: Al realizar simulaciones precisas, puedes anticipar problemas y corregirlos en las etapas de diseño, lo que puede ahorrar costos significativos en comparación con corregir errores durante la implementación.

Visualización: Los planos y simulaciones ofrecen una representación visual clara del proyecto. Esto facilita la comunicación con partes interesadas, inversionistas o cualquier persona involucrada en el proyecto.

Identificación de Problemas: Mediante simulaciones, puedes identificar problemas potenciales antes de que ocurran en la realidad. Esto ayuda a mitigar riesgos y garantizar un funcionamiento más suave del proyecto.

Este análisis servirá como base para la creación de un software especializado utilizando PLC que integre algoritmos avanzados de procesamiento de imágenes y validación de las medidas correspondientes a las piezas solicitadas por los clientes.

Justificación

La necesidad de implementar un sistema automatizado de verificación de medidas en piezas industriales surge de la creciente demanda de precisión y eficiencia en los procesos de fabricación. En entornos industriales, la inspección manual de las dimensiones de las piezas puede ser propensa a errores humanos, costosa y consume tiempo.

La introducción de un sistema automatizado no solo reducirá la posibilidad de errores, sino que también acelerará significativamente el proceso de control de calidad, permitiendo una producción más rápida y eficiente.

Limitaciones

Complejidad técnica: Al diseñar un proyecto, es posible que te enfrentes a desafíos técnicos que están fuera de tu área de experiencia. Esto podría limitar la funcionalidad o la eficiencia del proyecto.

Problemas de gestión del tiempo: Trabajar solo puede llevar a desafíos en la gestión del tiempo. Puedes enfrentar dificultades para equilibrar las diversas tareas necesarias para completar el proyecto, lo que podría resultar en retrasos o entregas incompletas.

Riesgo de sesgo: La falta de opiniones diversas puede llevar a sesgos en el diseño. Al trabajar solo, es posible que no identifiques ciertos sesgos o prejuicios que podrían afectar negativamente la recepción del proyecto por parte de diferentes audiencias o involucrar diversos permisos ambientales, que retrasarían, más al proyecto.

Una limitación más es el tiempo para desarrollar un prototipo, ya que al estar inmersos realizando prácticas profesionales y atendiendo las clases restantes, se complica un poco en la realización.

Riesgo de malinterpretación: El diseño en papel puede ser interpretado de manera diferente por diferentes

No se puede evaluar el rendimiento real: Las limitaciones de rendimiento, como la velocidad de carga o la capacidad de escalabilidad, no se pueden evaluar adecuadamente en un diseño simulado, lo que puede llevar a malentendidos sobre la visión y los objetivos del proyecto.

Dificultad para evaluar el flujo de trabajo: La representación en planos y simulaciones puede no ser suficiente para evaluar completamente el flujo de trabajo del proyecto. Los procesos y las interacciones complejas a menudo solo se comprenden completamente cuando se implementan.

Falta de pruebas de concepto: No se pueden realizar pruebas de concepto efectivas con un diseño en papel. Las limitaciones técnicas, de usabilidad u otros problemas potenciales solo se descubrirán cuando se intente implementar el proyecto.

CAPITULO 2: Marco Teórico

Antecedentes de la investigación:

Origen de los instrumentos de medición

El primer instrumento con características parecidas a un calibrador se encontró en un naufragio en la isla Giglio, muy cerca de las costas italianas, este dispositivo estaba datado aproximadamente en el siglo VI a.C. Aunque era un instrumento muy extraño, lo utilizaron los griegos y los romanos. Incluso en continente asiático, en China, durante la dinastía Han, se utilizó un instrumento parecido, estaba diseñado en bronce. Ha mediados del siglo XIV un reconocido matemático, geógrafo y astrónomo portugués, llamado Pedro Nunes, o también conocido por su nombre en latín Petrus Nonius, inventó el nonio, o calibrador, en el año 1514. Este era un dispositivo que podía realizar mediciones de longitudes, el cual, con la ayuda de un astrolabio, podía medir fracciones de grado de ángulos que no se encontraban indicadas en la escala de otros instrumentos de medición. En 1631, un matemático francés llamado Pierre Vernier inventó la escala de vernier, la cual se utilizaba para la medición de longitudes con precisión. Este fue un invento basado en la creación de Pedro Nunes. Gracias a la invención de Nunes, y luego la innovación de Pierre Vernier, esta escala actualmente se le denomina nonio o vernier, empleándose ambos términos en diferentes ambientes, pero en la rama técnica industrial suele hablarse más comúnmente de un nonio, para referirse al calibrador. Debido a esto, se le atribuye la invención del calibre, o pie de rey tanto a Pedro Nunes como a Pierre Vernier.

Pie de rey o vernier

Es la herramienta de medición más importante de la industria metal-mecánica. Es adecuado para mediciones rápidas de exteriores, interiores y profundidades en el sistema métrico y en pulgadas. Los calibradores de calidad se fabrican de acero inoxidable templado. Existen también calibradores de plástico de menor precisión, mayormente empleados en almacenes de materiales. Construcción del calibrador El calibrador consiste de una regla graduada con una quijada fija en un extremo, formando con la regla un ángulo recto. La corredera con la quijada móvil se desliza sobre la regla. Las superficies de medición de las dos quijadas deben ser perfectamente paralelas. La corredora es también provista de escalas llamadas NONIO. Cuando las dos superficies de medición se juntan, el trazo cero del nonio coincide con el trazo-cero de regla. La corredora se desliza presionado el pulsor con el pulgar y accionando el movimiento de desplazamiento. Cuando el pulsor no es presionado, un mecanismo frena el desplazamiento de la

corredora. Existen varios tipos de calibradores que se diferencian por su diseño, su longitud, por sus puntas de medición y por su grado de precisión de la lectura de la medida, según el nonio adoptado

La Regla principal del calibrador va acompañada de una reglilla montada de forma opuesta en la tenaza móvil del calibrador. Esta escala mecánica funciona basada en que el nonio posee 10 divisiones en la misma longitud de 9 divisiones de la regla principal



Ilustración 3: Pie de rey o vernier

Se han encontrado los primeros ancestros del calibrador en Grecia y Roma, datando del siglo IV a.C. y también en China, ya fabricados en bronce, rodando el año cero de nuestra era. Estas herramientas rudimentarias se empleaban como una tenaza que permitía fijar su posición alrededor de un objeto, para después compararlas con una regla y así conocer la medida del objeto. Dichos instrumentos carecían de precisión.



Ilustración 4: Primeros ancestros del calibrador

Ya en el siglo XVI el portugués Pedro Nuñez inventó el Nonio, un dispositivo mecánico que, anexado a un astrolabio de la época, permite calcular ángulos de navegación con precisión de minutos. Pierre Vernier es el encargado de adaptar esta escala mecánica a un calibrador de longitud un siglo después. Este invento va sufriendo poco apoco modificaciones, hasta que en el siglo XIX Joseph Brown en Estados Unidos, genera la forma moderna de este fantástico instrumento.

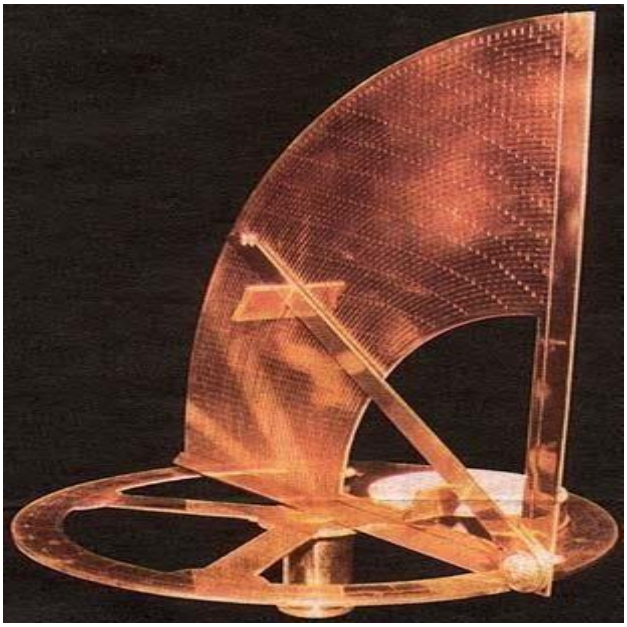


Ilustración 5: El Nonio



Ilustración 6: Funcionamiento de un calibrador

Tomar medidas precisas es sustancial para el diseño de piezas mecánicas de precisión. Sin medidas acertadas no podríamos diseñar mecanismos funcionales, no comprenderíamos las tolerancias de ajuste y simplemente habría sido imposible el desarrollo de máquinas modernas. Incluso ahora, el empleo de un Calibrador o "vernier" es sustancial en tareas como el diseño asistido por computadora. Siempre que un objeto que estemos modelando en 3D tenga que interactuar con otro o cumplir exigentes requisitos de tamaño, es sustancial el conocimiento preciso de las medidas implicadas. Conocer el funcionamiento de un calibrador nos permite pasar de la incertidumbre, al dominio físico de las dimensiones de un objeto pequeño.

Evolución de los sistemas de medición

Dígitos, pulgadas y pasos

Las primeras civilizaciones desarrollaron sistemas para estimar distancias basados en el propio cuerpo humano. A fin de cuentas, usar una unidad que llevas continuamente encima es especialmente práctico para desentrañar la medida de algo en cualquier momento de necesidad. Esta costumbre presentaba, como es lógico, dos inconvenientes. En primer lugar, la diversidad en los tamaños corporales de las personas eliminaba cualquier posibilidad de estandarización. Pero es que, además, durante muchos milenios, diferentes sociedades utilizaban diferentes unidades de medida, lo que impedía la traducción de distancias de una sociedad a otra.

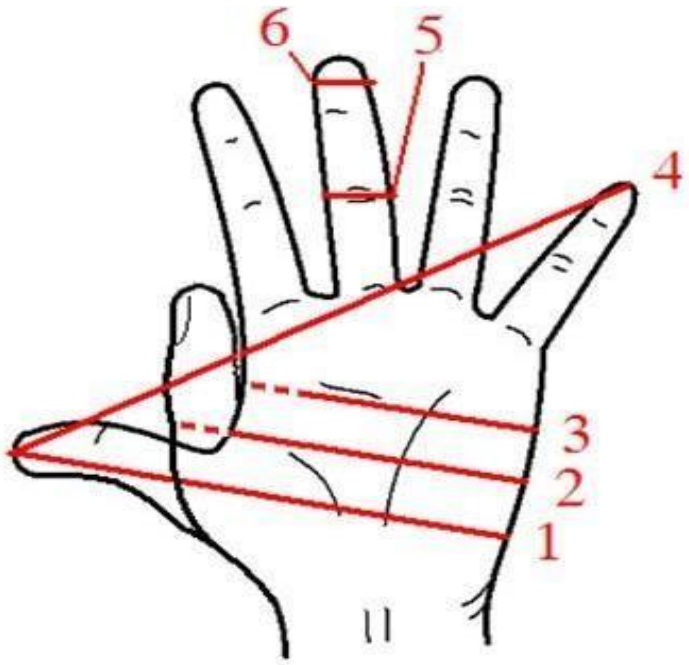


Ilustración 7: Sistema de medición con el cuerpo humano

En un momento tan remoto como el tercer milenio antes de Cristo, los egipcios ya utilizaban su propia unidad de medida para hacer referencia a las distancias, el cúbito. La medida no se correspondía estrictamente con el hueso del brazo, sino que se extendía del codo a la punta del dedo anular. Para medidas menores se utilizaba la distancia entre la punta del meñique y la del pulgar (medio cúbito), la anchura de la palma de la mano (una palma o sexto de cúbito) y la anchura del dedo anular (el dígito o un veinticuatroavo de cúbito). La medida oficial para usar en construcciones era el cúbito real, equivalente a un cúbito y una palma (es decir, siete palmas).

Con el paso del tiempo, las unidades de medida de la civilización egipcia evolucionaron, y los romanos y los griegos ya heredaron el pie como unidad de longitud. El mecanismo del paso de unas medidas basadas en los brazos a otras basadas en los pies continúa siendo un misterio hoy en día.

El pie romano ya estaba dividido en pulgadas (unciae), que con el paso de los siglos darían lugar a una de las unidades del sistema imperial todavía vigente en algunos países. Así, un pie estaba dividido en 12 unciae y 16 dígitos. A estas medidas, los romanos añadieron una unidad superior, el paso, equivalente a cinco pies, y que en conjunto podía usarse como la mille passus (1.000 pasos o 5.000 pies). Esta mille

passus ya se utilizó durante la expansión del Imperio romano para delimitar la longitud de las calzadas romanas con la colocación de indicadores de piedra (miliardos) cada mil pasos.

Durante siglos, el pie romano fue la unidad de medida básica, a pesar de que su longitud variaba entre zonas geográficas. Se calcula que un pie romano equivaldría aproximadamente a 29,62 centímetros.



Ilustración 8: La vara de medir

La vara de medir

Por su parte, en la península ibérica durante las edades medieval y moderna la medida básica de longitud era la vara (3 pies). El problema con las varas era el mismo que con los pies, ya que la longitud de las varas también variaba. Finalmente, en 1801 se establecería que la vara de Burgos (equivalente a 0,835905 m) era la única medida básica oficial. En la segunda mitad del siglo XVIII, las carreteras construidas en España a cargo del Estado se señalizaban en leguas, que es la distancia que una persona puede recorrer en una hora. Esto se hizo para que cualquier persona pudiese medir y comunicar distancias. El problema es que cada persona caminaba a un ritmo distinto y que cada carretera ofrecía distintas dificultades.

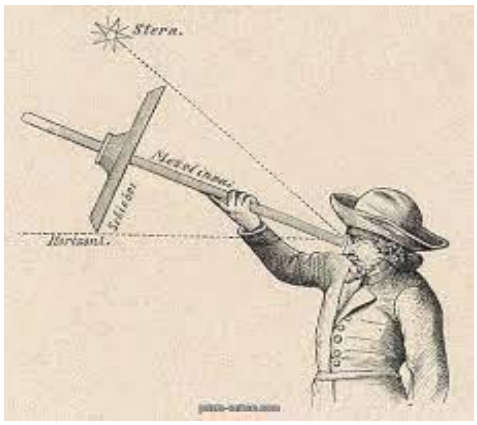


Ilustración 9: Circulo meridiano

Con la llegada de la industrialización se hizo necesario unificar las medidas a escala internacional. Durante el siglo XVII tuvieron lugar las primeras discusiones en Europa sobre la unificación de medidas. Tras un siglo entero de discusión, en 1791 Francia propuso la adopción del metro como unidad básica, usando la distancia del meridiano del Polo Norte al Ecuador como referencia. Así, un metro sería un 1/10.000.000 de esa distancia.

En la actualidad, el sistema métrico decimal está adoptado ampliamente en todo el mundo a excepción de tres países, Estados Unidos, Liberia y Myanmar, que usan el sistema imperial (millas, pies y pulgadas) y Reino Unido, que usa una mezcla de ambos sistemas.

La estandarización del sistema métrico decimal

En España, la adopción del sistema métrico decimal se produjo en 1849. La unidad básica sería el metro y estaría marcada en función de la medida geográfica fija adoptada en el resto de países que compartían el SMD (la "«diez millonésima parte del arco del meridiano que va del Polo Norte al Ecuador").

El estándar que definía el metro en función de distancias geográficas terrestres se mantuvo hasta 1960. En la Conferencia General de Pesos y Medidas de ese mismo año, se sustituyó por una medida más exacta, creada en referencia a las longitudes de onda de la luz naranja emitida por el elemento krypton-86 en el vacío. Esta referencia se mantuvo hasta 1983, cuando los avances en la tecnología láser permitieron hacerla todavía más exacta y pasaron a definirla como "la longitud del trayecto recorrido en el vacío por la luz durante un tiempo de 1/299 792 458 de segundo".



Ilustración 10: La estandarización del sistema métrico decimal

La evolución de la manufactura

Ha experimentado cambios significativos a lo largo de la historia, desde métodos artesanales hasta procesos altamente automatizados y tecnológicos. Aquí tienes un resumen general:

1. **Manufactura Artesanal (antes de la Revolución Industrial):** Antes de la Revolución Industrial, la producción estaba principalmente basada en métodos artesanales. Los productos se fabricaban a mano en pequeñas cantidades, y los artesanos tenían un papel crucial en el proceso.



Ilustración 11: Manufactura artesanal

2. **Revolución Industrial (siglo XVIII y XIX):** Con la llegada de la maquinaria, la manufactura experimentó una transformación radical durante la Revolución Industrial. La introducción de la máquina de vapor, la hiladora mecánica y la producción en serie cambió la escala y eficiencia de la fabricación.



Ilustración 12: Revolución industrial

3. **Manufactura en Serie y Producción en Masa (siglo XX): Henry** Ford revolucionó la producción con la introducción de la línea de montaje en la fabricación de automóviles. La producción en masa se convirtió en una práctica común, permitiendo la fabricación eficiente de grandes cantidades de productos a costos más bajos.

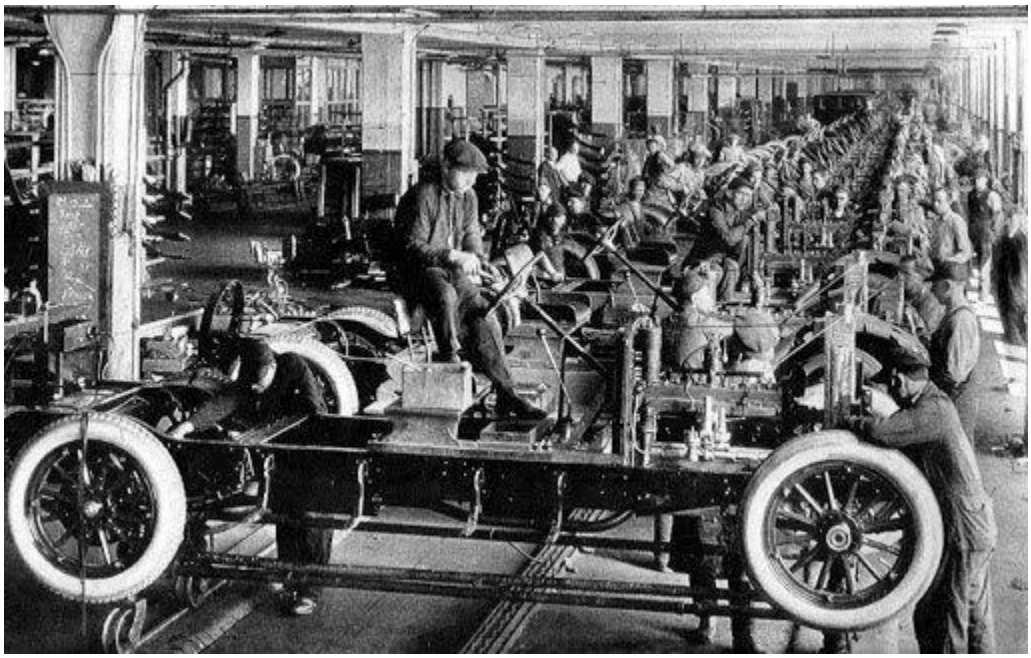


Ilustración 13: Producción en masa

4. **Automatización y Robótica (siglo XX y XXI):** Con los avances tecnológicos, la automatización y el uso de robots se han vuelto prominentes en la manufactura. Esto ha mejorado la eficiencia, reducido los errores y permitido la fabricación de productos más complejos.



Ilustración 14: Automatización y robótica

5. **Manufactura Digital y 4.0 (siglo XXI):** La era actual se caracteriza por la adopción de tecnologías digitales en la manufactura. La Industria 4.0 integra la Internet de las cosas (IoT), inteligencia artificial, análisis de datos y otras tecnologías para crear entornos de producción inteligentes y altamente conectados.



Ilustración 15: Manufactura digital

6. **Sostenibilidad y Personalización (siglo XXI):** La manufactura actual se centra cada vez más en la sostenibilidad ambiental y la personalización de productos. La demanda del consumidor por productos personalizados ha llevado a la implementación de tecnologías flexibles que permiten adaptarse a necesidades individuales.



Ilustración 16: Sostenibilidad ambiental

En resumen, la evolución de la manufactura ha pasado de métodos artesanales a la producción en masa, y ahora se encuentra en una era de manufactura digital, sostenibilidad y personalización impulsada por la tecnología.

EVOLUCION DE PIEZAS FABRICADAS EN EL TORNO

El torneado es una operación de mecanizado en la que una pieza de trabajo gira sobre su eje, mientras una herramienta de corte realiza operaciones como el torneado, el taladrado, el fresado, el roscado y otros procesos.

La fabricación de piezas en tornos es un componente esencial en la historia de la ingeniería y la manufactura. Desde los primeros tornos manuales hasta las tecnologías de vanguardia utilizadas en la actualidad, la evolución en este campo ha sido determinante para el desarrollo industrial. Esta investigación explora la fabricación de piezas y sus derivados, destacando los hitos clave y la influencia de la tecnología en este proceso.
A continuación, se detallan algunas de las piezas comunes que pueden fabricarse utilizando un torno
Ejes y Espigas:

Los tornos son ideales para la fabricación de ejes y espigas. Pueden producir piezas cilíndricas de longitud variable y diámetro controlado con precisión.

Casquillos y Cojinetes:

Los tornos pueden fabricar casquillos y cojinetes mediante el torneado de piezas cilíndricas. Estas piezas son esenciales en maquinaria para proporcionar apoyo y reducir la fricción.

Tornillos y Tuercas:

La fabricación de roscas es una operación común en los tornos, permitiendo la producción de tornillos y tuercas con roscas precisas.

Poleas:

Las poleas, utilizadas para transmitir movimiento y potencia, pueden fabricarse en tornos para garantizar dimensiones y equilibrio precisos.

Ruedas Dentadas y Engranajes:

Los tornos son capaces de cortar dientes precisos en ruedas dentadas y engranajes, elementos cruciales en transmisiones mecánicas.

Pasadores y Pasadores Cónicos:

Tornos especializados pueden fabricar pasadores y pasadores cónicos utilizados en ensamblajes mecánicos.

Válvulas y Componentes Hidráulicos:

Tornos CNC (de control numérico computarizado) pueden producir con precisión componentes para sistemas hidráulicos y válvulas.

Piezas de Ferretería:

Elementos comunes de ferretería, como perillas, manijas y soportes, pueden fabricarse en tornos, aprovechando su capacidad para producir formas variadas y detalladas.

Instrumentos Musicales:

Tornos también se utilizan para fabricar componentes de instrumentos musicales, como clavijas de afinación, anillos y partes cilíndricas de instrumentos de viento.

Componentes Médicos:

Tornos de precisión pueden fabricar componentes médicos, como vástagos de instrumentos quirúrgicos, partes de dispositivos médicos y elementos para equipos de diagnóstico.

Componentes Aeroespaciales:

En la industria aeroespacial, los tornos son cruciales para producir piezas como ejes, válvulas y conectores utilizados en sistemas de aeronaves.

Estos ejemplos ilustran la versatilidad de los tornos en la fabricación de una amplia gama de piezas en diversos sectores industriales. La capacidad de controlar dimensiones con precisión y la versatilidad para trabajar con diferentes materiales hacen que los tornos sean herramientas esenciales en la manufactura moderna.

Historia de los Tornos:

1. Tornos Manuales Primitivos (Antigüedad): Las primeras piezas en torno se fabricaron mediante el uso de tornos manuales operados manualmente. A lo largo de los siglos, estos dispositivos evolucionaron desde simples herramientas hasta máquinas más complejas, incorporando mejoras en la potencia, la precisión y la versatilidad. Este desarrollo continuo sentó las bases para la fabricación moderna de piezas en tornos.

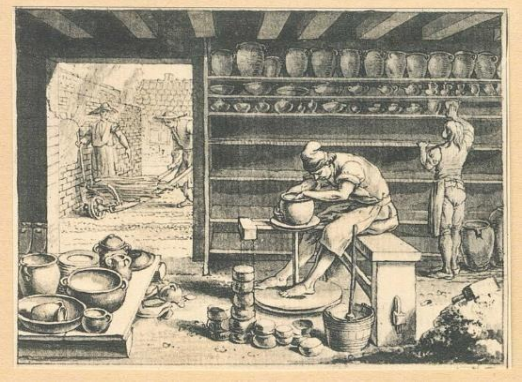


Ilustración 17: Torno manual

2. Tornos de Arco y Torno de Pedal: Con el tiempo, se desarrollaron variantes de los tornos manuales. Se introdujo el torno de arco, donde un arco permitía el movimiento giratorio del torno, y posteriormente, el torno de pedal, que incorporaba un pedal para accionar el giro. Estos avances proporcionaron una forma más eficiente de operar el torno.

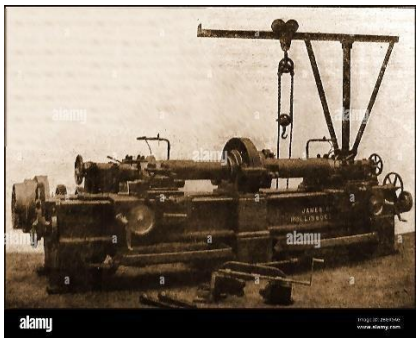


Ilustración 18: Torno de arco

3. Torno de Pedal en la Edad Media: Durante la Edad Media, en Europa, se popularizó el uso del torno de pedal. Este diseño permitía al operador utilizar sus manos para manipular las herramientas de corte mientras controlaba el movimiento del torno con los pies, lo que mejoraba la precisión y la eficiencia en comparación con los métodos manuales más primitivos.

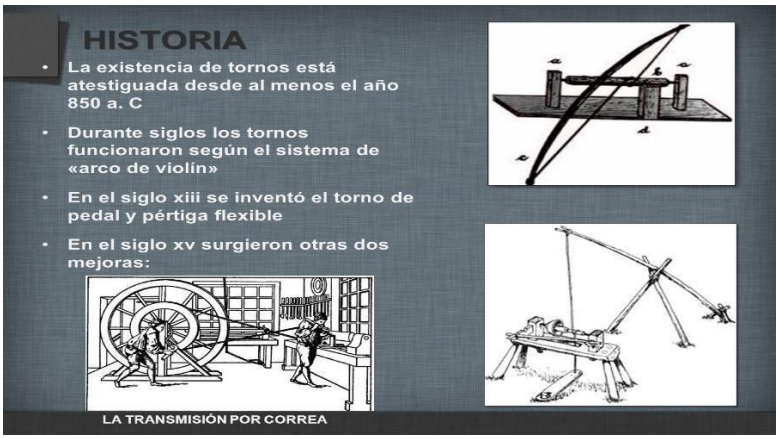


Ilustración 19: Torno de pedal

4. Tornos de Madera y Metal (Renacimiento): En el Renacimiento, se produjeron mejoras en los materiales y la construcción de los tornos. Los tornos de madera eran comunes para trabajos en madera, mientras que los tornos de metal se empleaban para trabajar metales más duros. Estos tornos eran accionados manualmente y permitían la fabricación de piezas más elaboradas.



Ilustración 20: Torno de madera y metal

5. Desarrollo de Tornos Especializados: A medida que la demanda de piezas más complejas aumentaba, se desarrollaron tornos especializados. Por ejemplo, los tornos para fabricar roscas y los tornos para trabajar metales más duros se convirtieron en herramientas esenciales en la fabricación.



Ilustración 21: Torno especializado

6. Tornos de la Revolución Industrial (Siglo XVIII): Con la llegada de la Revolución Industrial en el siglo XVIII, se produjo una transformación significativa en la fabricación de piezas en torno. Se adoptaron tornos más grandes y potentes, y la introducción de la energía del vapor proporcionó una fuente de potencia más constante y eficiente.

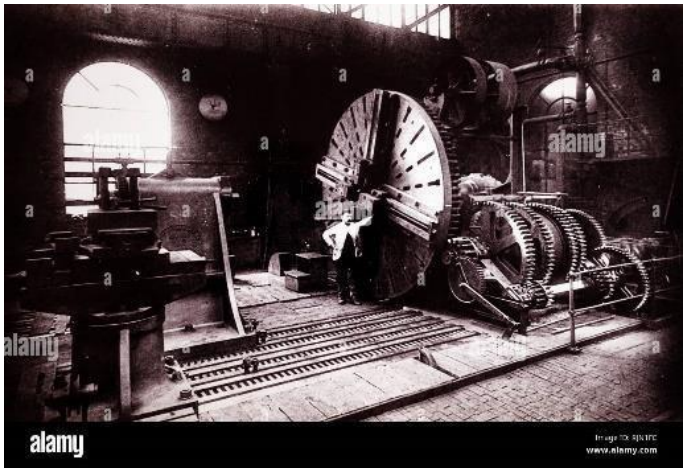


Ilustración 22: Tornos adaptados

7. Control Numérico (CNC) (Década de 1950): La década de 1950 vio la introducción del Control Numérico (CNC), una innovación que transformó radicalmente la fabricación de piezas en torno. La programación de instrucciones permitió una mayor precisión y la capacidad de realizar operaciones más complejas.



Ilustración 23: Control numérico

8. Tornos CNC Avanzados (Siglo XX): A lo largo del siglo XX, los tornos CNC evolucionaron con la integración de tecnologías informáticas más avanzadas. Se logró una mayor versatilidad al combinar funciones de torneado con fresado, taladrado y otras operaciones en una sola máquina.



Ilustración 24: Torno CNC

9. Mecanizado de Alta Velocidad (HSM) (Innovaciones Recientes): La incorporación del mecanizado de alta velocidad ha permitido una mayor eficiencia en los procesos de torneado, reduciendo los tiempos de producción y mejorando la calidad de las piezas fabricadas.



Ilustración 25: Centro de maquinado

10. Fabricación Aditiva (Innovaciones Recientes): La fabricación aditiva ha introducido nuevos enfoques en la creación de piezas, permitiendo geometrías más complejas y el uso de materiales avanzados.

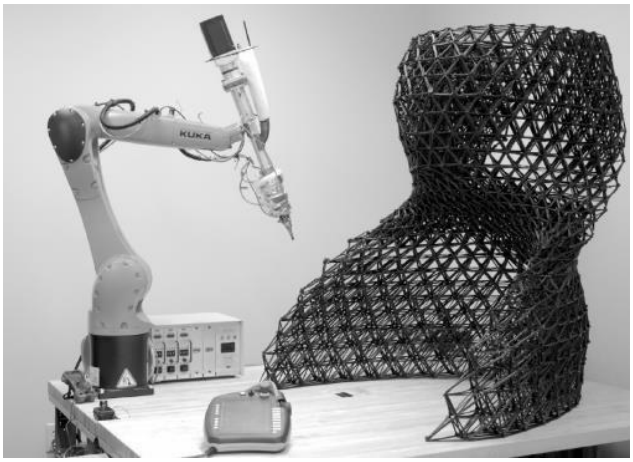


Ilustración 26: Creación de piezas por brazo robótico

11. Industria 4.0 (Innovaciones Recientes): La actualidad se caracteriza por la implementación de la Industria 4.0 en la fabricación de piezas en tornos. La conectividad, la inteligencia artificial y el análisis de datos en tiempo real están transformando la producción, permitiendo una mayor autonomía y eficiencia.

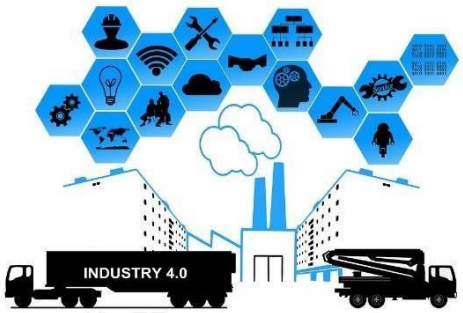


Ilustración 27: Industria

En el contexto de la fabricación industrial, la verificación precisa de medidas en piezas desempeña un papel crucial para garantizar la calidad y el rendimiento de los productos finales. Tradicionalmente, este proceso ha dependido en gran medida de inspecciones manuales, que pueden ser propensas a errores humanos y consumir tiempo. La creciente disponibilidad de tecnologías avanzadas, como la visión por computadora y el aprendizaje automático, ha abierto nuevas posibilidades para la automatización de este proceso, mejorando significativamente la eficiencia y la precisión de la verificación de medidas en entornos industriales.

La visión por computadora se ha convertido en una herramienta esencial en la automatización de la inspección de calidad. Mediante el análisis de imágenes digitales de las piezas, se pueden extraer datos precisos sobre las dimensiones, permitiendo una verificación más rápida y fiable que los métodos tradicionales. Los algoritmos de aprendizaje automático, entrenados con conjuntos de datos relevantes, pueden adaptarse a variaciones en la apariencia de las piezas y mejorar la capacidad del sistema para reconocer y medir de manera consistente incluso en condiciones variables.

La implementación exitosa de un sistema automatizado de verificación de medidas en piezas no solo tiene el potencial de aumentar la eficiencia de la producción, sino que también contribuye a reducir costos asociados con inspecciones manuales y posibles defectos de calidad. La combinación de visión por computadora y aprendizaje automático ofrece un enfoque integral y tecnológicamente avanzado para abordar los desafíos asociados con la verificación de medidas en entornos industriales, marcando un avance significativo en la mejora de los procesos de control de calidad.

Definiciones

Dentro de la Compañía EIMEX S.A DE C. V. la automatización se refiere a la utilización de sistemas tecnológicos para realizar tareas sin intervención humana directa. En este caso, la automatización implica el uso de tecnologías como la visión por computadora para llevar a cabo la medición y verificación de dimensiones en las piezas de manera eficiente y precisa. Este enfoque busca reducir la dependencia de procesos manuales, minimizando así el riesgo de errores humanos y mejorando la eficiencia operativa.

En el marco de este proceso, la "verificación de medidas" se refiere al acto de confirmar que las dimensiones de las piezas se encuentran dentro de las tolerancias especificadas por los estándares de calidad. Implica la comparación de las medidas obtenidas automáticamente con los valores predefinidos,

garantizando que cada cliente de la empresa obtenga sus piezas de la mejor calidad y cumpliendo con sus estándares de medidas deseadas.

Para el desarrollo de esta investigación se utilizarán

Funcionamiento del PLC

PLC o Controlador Lógico Programable son dispositivos electrónicos muy usados en Automatización Industrial. Un PLC controla la lógica de funcionamiento de máquinas, plantas y procesos industriales, procesan y reciben señales digitales y analógicas y pueden aplicar estrategias de control.

Se trata de un equipo electrónico, que, tal como su mismo nombre lo indica, se ha diseñado para programar y controlar procesos secuenciales en tiempo real. Por lo general, es posible encontrar este tipo de equipos en ambientes industriales

Características de los PLCs que Logicbus ofrece:

- Fácil de usar y potentes conjuntos de instrucciones
- Driver de comunicación abierto
- Entorno operativo de fácil uso
- Tecnología del núcleo SoC
- Potentes funciones de comunicación

Controlador

PLC (Controlador Lógico Programable), es un sistema de control industrial, basado, en una computadora que usa instrucciones de programación para tomar decisiones de encendido y apagado, esto es para evitar realizar conexiones de lógica alambrada por medio de relevadores.

Los controladores realizan funciones de control en procesos industriales secuenciales basados en tiempo real.

El manejo y programación puede ser realizada por personal eléctrico o electrónico sin conocimientos informáticos. Realiza funciones lógicas: Series, paralelos, temporizaciones, conteo, cálculos, regulaciones, etc. Los controladores lógicos programables tienen terminales de entrada (o captadores) a los que se conectan pulsadores, finales de carrera, fotocélulas, detecto-res; y terminales de salida (o actuadores) a los que se conectarán bobinas de contactores, electroválvulas, lámparas, de forma que la actuación de estos últimos está en función de las señales de entrada que estén activadas en cada momento, según el programa almacenado.

Al utilizar un controlador lógico programable se reduce el trabajo del usuario al realizar el programa, esto es por la relación que existe entre las señales de entrada que se tienen que cumplir para activar cada salida. Esto es debido a que los elementos (como relés auxiliares, de enclavamiento, temporizadores, contadores, etc.) son internos

Los controladores lógicos programables satisfacen las exigencias tanto de procesos continuos como discontinuos. Regula presiones, temperaturas, niveles y caudales, así como todas las funciones asociadas de temporización, conteo y lógica. También incluye una tarjeta de comunicación adicional, el PLC es un poderoso satélite dentro de una red de control distribuido.

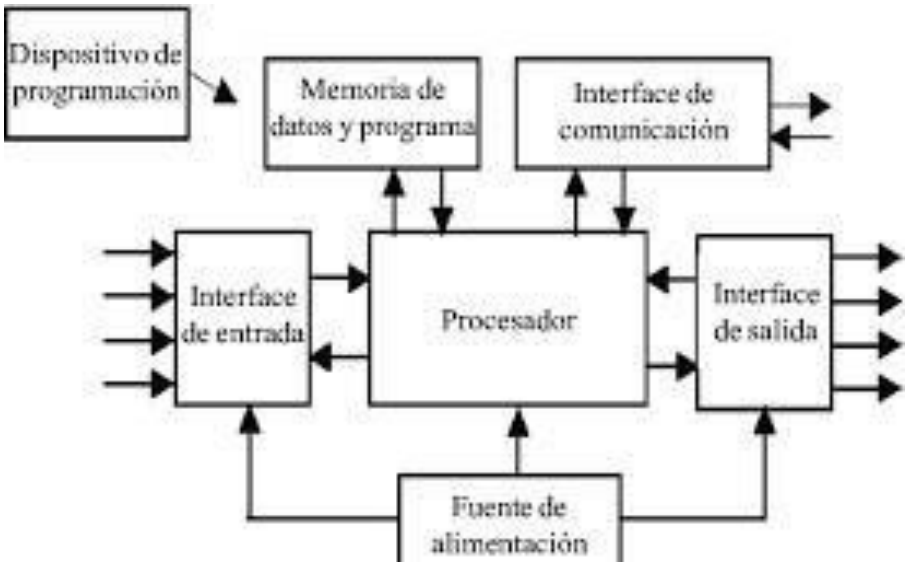


Ilustración 28: Diagrama de interfaces en el PLC

Estructura física del PLC

La estructura física del PLC es compleja (Ver Figura 3), sus diferentes partes se detallan a continuación:

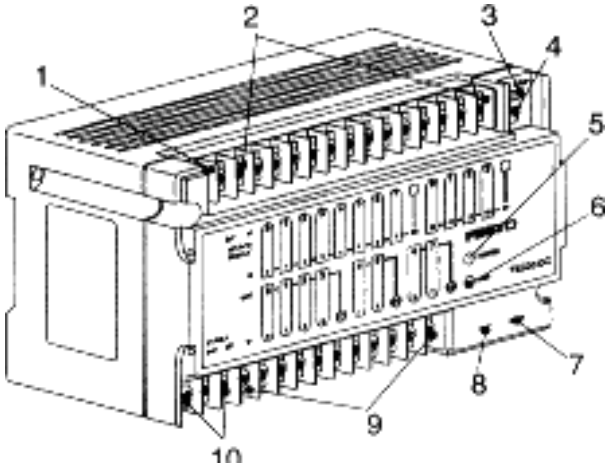


Ilustración 29: Estructura física del PLC

Estructura física de un PLC.

1.- Alimentador de sensores: Son dispositivos que se ubican en la parte de la instalación o maquinaria controlable, que se encarga de comunicar al PLC la Información sobre estados de máquinas. Los sensores pueden ser, por ejemplo, conmutadores o detectores de proximidad.

2.- terminales de entrada se encargan de realizar la interconexión entre los dispositivos industriales y los circuitos electrónicos de baja potencia que almacenan y ejecutan el programa de control.
La sección de entradas tiene un módulo de entradas y salidas, cada módulo tiene convertidores de señal digital de baja potencia compatible con los circuitos electrónicos del procesador

3.- Interruptor run stop: Este interruptor da la orden al procesador para que detenga o corra un programa...

4.- Temporizador analógico: Es el elemento que se utiliza en los controladores lógicos programables para introducir un retardo de tiempo entre el suceso de dos eventos, para evitar que ocurran en el mismo instante.

5.- Led power indica que la fuente de alimentación de voltaje está funcionando correctamente

6.- Led run/stop: indica que el PLC está en modo RUN ejecutando el programa contenido. En memoria y parpadea con una cadencia de 0,5 segundos, estando bajo el control del sistema operativo. Si el PLC se cuelga o la memoria EEPROM esta borrada este led deja de parpadear, así como cuando el interruptor está en modo STOP/PROGRAM. El led rojo nos informa que el procesador está en estado de RESET

7.- Interfase de comunicación: Es la comunicación que se tiene en los sistemas de transmisión de datos a través de los elementos. Al realizar la conexión se debe de tener precaución con las fuentes de voltaje, si se realiza una conexión de alto voltaje en una terminal de bajo voltaje se daña el sistema

8.-Interfaz de ampliación: Es la extensión que se utiliza cuando se quiere instalar un módulo de ampliación

9.- Terminales de salidas: son las terminales que están asignadas en la localidad de la memoria en el archivo de salidas, cada Terminal de salida tiene asignada una localidad a la salida y el objetivo es llevar el registro de la última condición de la Terminal de salida. Cada localidad tiene una única dirección

10.- Fuente de alimentación: Es la encargada de convertir la tensión de la red, 220V corriente alterna, a baja tensión de corriente continua, normalmente a 24V. Siendo esta la tensión de trabajo en los circuitos electrónicos que forman el PLC.

DIAGRAMA DE CONEXIÓN

La conexión física del PLC se define en base a las especificaciones de: alimentación, operador simbólico (botón de marcha) operador absoluto (lámpara, motor,) cualquier dispositivo que represente la acción de la entrada.

Para activar una lámpara se conecta la etapa de entrada:

- Terminal 1 a 24V
- Terminal 2 a 0V
- Entrada IO.1

S0 es el común para el grupo de entradas de la 0 a la 7 en la etapa de entradas del PLC

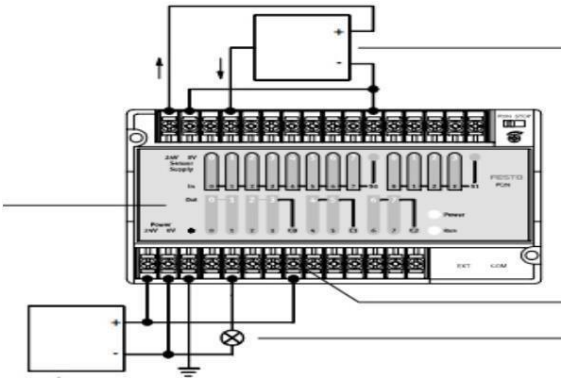


Ilustración 30: Diagrama de conexión del PLC

En el PLC se tiene la opción de conectar salidas a 24V o 120V, por lo que en el bloque de salida si se conecta la salida 4 y 5 l C1 se debe conectar a 120V,para la salida 6 y 7 se conecta C2 a 120V. Por lo tanto, también se puede conectar la salida a el bloque con salidas de la 0 a la 3 con C0 a 24 V.

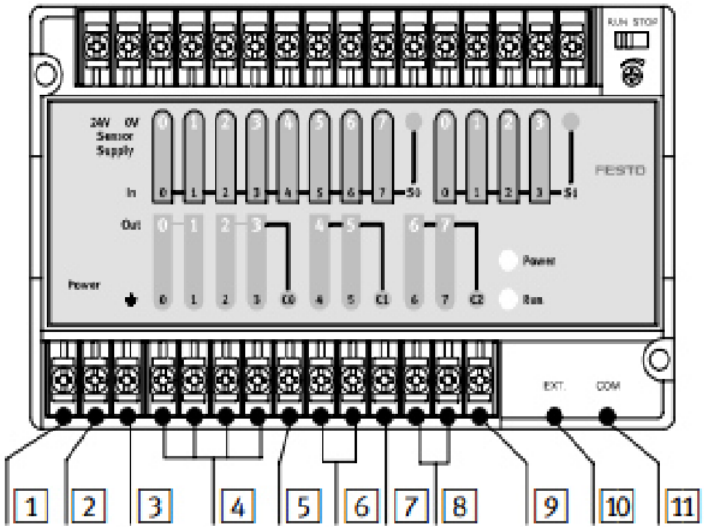


Ilustración 31: salidas de voltaje del PLC

Los números del 1 al 11 son:

1.-24V

2.-0V

3.-tierra

4.-salidas de la 0 a la 3

5.-C0

6.-salida 4 y 5

7.-C1

8.-salida 6y7

9.-C2

Racs de conexión

10.-Eext

11.-com

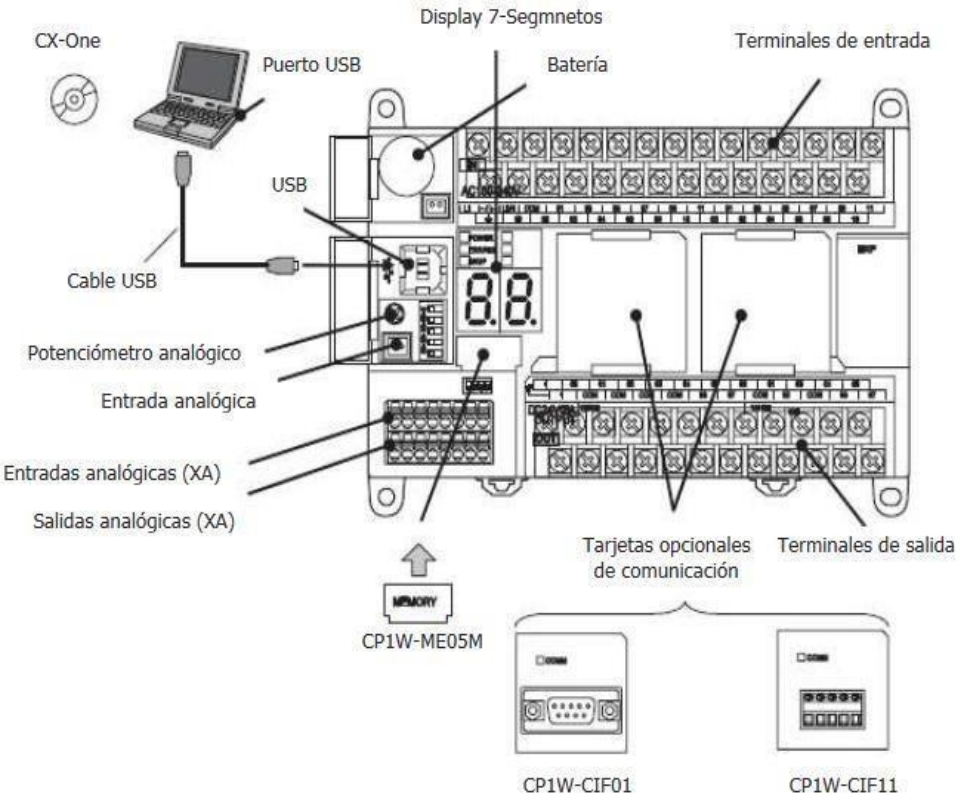


Ilustración 32: Diagrama físico del PLC para cargar el programa.

Neumática del proyecto

Componentes que actúan sobre los cilindros neumáticos

1. UNIDAD DE MANTENIMIENTO: Es el enlace entre la red de distribución de aire y el circuito neumático de control. Se encarga de controlar la presión suministrada al circuito y limpia el aire en el aceite para lubricar los componentes de este. La unidad de mantenimiento también es conocida como: REGULADOR DE PRESIÓN DE AIRE.

2. FUENTE DISTRIBUIDORA DE AIRE: Se encarga de suministrar varias líneas de salida hacia las unidades de control de la válvula neumática.

3. MECANISMOS DE CONTROL: componentes que se encargan de iniciar las señales de

control de las válvulas.

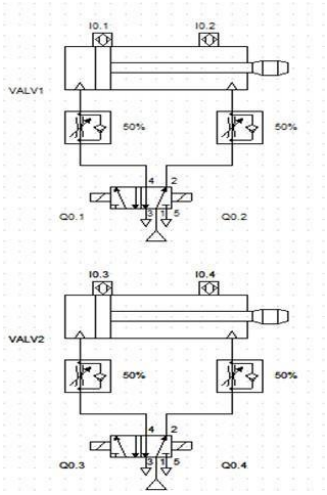


Ilustración 33: Diagrama de conexión neumática

La automatización es el proceso de utilizar tecnología y sistemas para realizar tareas o procesos sin intervención humana directa. Sus ventajas son numerosas y se aplican en una amplia variedad de industrias. Aquí tienes un resumen de la automatización, sus ventajas y algunas de sus mejores aplicaciones:

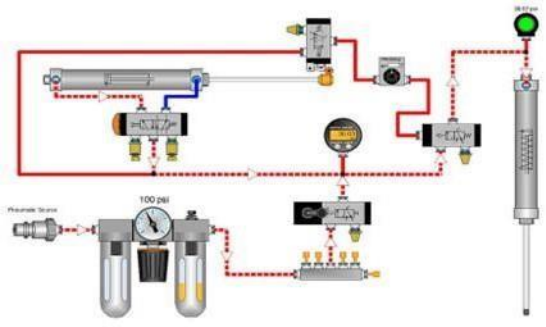


Ilustración 34: simulación neumática

Mecánica del proyecto

Partes que conforman un sistema vibratorio

Los sistemas vibratorios comprenden elementos para almacenar energía potencial (resorte), elementos para almacenar energía cinética (masa o inercia) y elementos por medio de los cuales la energía se disipa gradualmente (amortiguador).

- Tolva vibratoria
- Bowl vibratorio
- Vibrador Lineal
- Soporte rectangular

Paso 2: Diseño de la maquina automatizada

En el presente apartado, se hizo el diseño general de la estructura de la máquina, así como cada una de sus partes, acotado con medidas reales.

Para el diseño se utilizó un software llamado Solid Works Y para su simulación se utilizó Fluidsim.

Diseño

- Estructura General

Para el diseño de la maquina se optó por un sistema neumático y mecánico, a su vez se implementó un sistema de clasificación en los cuales los sensores tendrán la función de seleccionar las piezas correctas que la cámara de medición detecte.

- Soporte rectangular

En general la estructura está elaborada con perfil modular de aluminio, se escogió este material por su facilidad para trabajar con él y para futuras modificaciones, al poder añadirle módulos extra basados en el mismo sistema.

Mecánica del proyecto

Partes que conforman un sistema vibratorio

Los sistemas vibratorios comprenden elementos para almacenar energía potencial (resorte), elementos para almacenar energía cinética (masa o inercia) y elementos por medio de los cuales la energía se disipa gradualmente (amortiguador).

- Tolva vibratoria
- Bowl vibratorio
- Vibrador Lineal
- Soporte rectangular

Paso 2: Diseño de la maquina automatizada

En el presente apartado, se hizo el diseño general de la estructura de la máquina, así como cada una de sus partes, acotado con medidas reales.

Para el diseño se utilizó un software llamado Solid Works Y para su simulación se utilizó Fluidim.

Diseño

- Estructura General

Para el diseño de la maquina se optó por un sistema neumático y mecánico, a su vez se implementó un sistema de clasificación en los cuales los sensores tendrán la función de seleccionar las piezas correctas que la cámara de medición detecte.

- Soporte rectangular

En general la estructura está elaborada con perfil modular de aluminio, se escogió este material por su facilidad para trabajar con él y para futuras modificaciones, al poder añadirle módulos extra basados en el mismo sistema.

- Tolva vibratoria

Una tolva vibratoria es un dispositivo utilizado en procesos industriales para facilitar la alimentación controlada y la descarga de materiales a granel.

Esta herramienta consiste típicamente en una tolva o contenedor que almacena el material y un mecanismo vibratorio integrado. El motor vibratorio genera movimientos oscilatorios, transmitiendo vibraciones a la tolva y, por ende, al material dentro de ella.

Estas vibraciones ayudan a fluidificar y separar los materiales, evitando posibles obstrucciones y facilitando su flujo hacia procesos posteriores, como transportadores o maquinaria de producción.

- Bowl vibratorio

Este sistema consta de un recipiente en forma de tazón, generalmente en espiral, equipado con una base vibratoria. El motor vibratorio incorporado en la base del tazón genera vibraciones que hacen que las piezas dentro del tazón se muevan en direcciones específicas.

Gracias a estas vibraciones controladas, las piezas se desplazan a lo largo de la espiral del tazón hacia una rampa o salida, donde pueden ser recogidas para el siguiente paso del proceso de fabricación.

- Vibrador lineal

Este dispositivo se utiliza en diversas aplicaciones industriales para transportar, clasificar o compactar materiales a granel de manera lineal y controlada. Por lo general, consta de un motor que produce vibraciones lineales y un mecanismo de transmisión que las dirige a lo largo de un camino determinado.

- Mesa de soporte

Una mesa de soporte es una estructura diseñada para proporcionar estabilidad y superficie donde irán los demás componentes.

CAPITULO 3: Desarrollo de la investigación.

En el presente capitulo, se busca tener una mejor perspectiva de campo, dentro de la realización del proceso, para ello se elaboró un listado de las actividades a realizar para la manufactura de este, además una imagen para una mejor apreciación, proporcionado por la Compañía EIMEX S.A. de C.V.

Listado de proceso para la fabricación y verificación de piezas en un proceso autónomo.

1. El proceso comienza con la fabricación de las piezas en los tornos mono husillos, CNC o centro de maquinado.
2. Posteriormente pasan a la inspección visual.
3. El personal encargado de la producción revisa periódicamente que su producción(piezas) estén en sus medidas permitidas basadas en sus planos.
4. Después este mismo proceso pasa a la corrección de acabados (depende de la pieza fabricada).
5. Después las piezas autorizadas por el área de calidad pasan al área de validación pieza por pieza.
6. Una vez las piezas depositadas en la tola de la máquina, comenzaría el proceso de verificación autónoma.
7. Llevando las piezas de manera autónoma atreves de un riel vibratorio y apoyándose de sensores.
8. Llegando a pistones que detienen la pieza, permitiendo que la cámara tome medidas y las seleccione como correcta o incorrecta.

Una vez teniendo las piezas medidas y selecciones de manera autónoma, el porcentaje de piezas erróneas baja significativamente

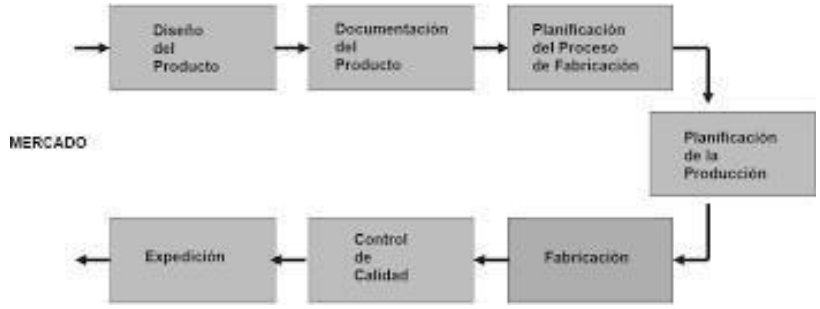


Ilustración 35: Proceso de Manufactura dentro de la empresa para clientes nuevos.

Para empezar a desarrollar la investigación de este proceso, comenzamos buscando los materiales físicos que utilizaríamos y esto nos ayudaría a determinar en qué voltajes trabajaría nuestra máquina.

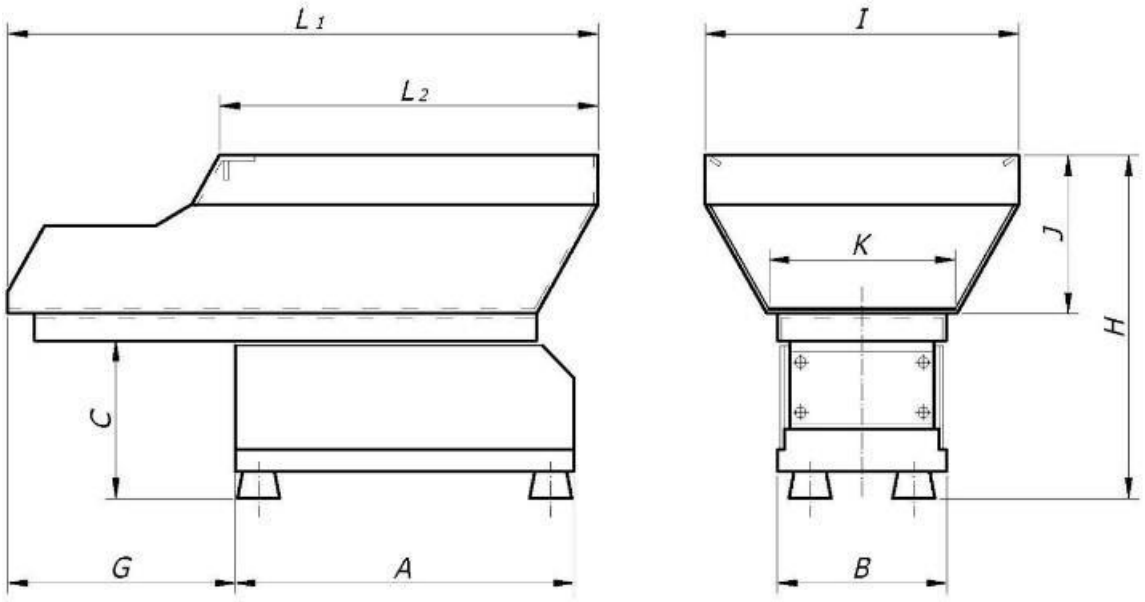
COMPONENTES	PRECIOS	UNIDADES
Mesa de acero para ensamble móvil con repisa inferior - 60 x 30	$15,018	1 pza
Tolva vibratoria		
Perfil de aluminio	$431	1 pza
Riel de aluminio	$219 precio por metro	2 mtrs
	$376 precio por metro	6 mtrs
Programas para la operación		
Luz de advertencia	$243	1 pza
Cilindro de aire neumático Baomain SC 100 x 50	$1,787	1 pza
Tornillos de cabeza hueca hexagonal tuercas en conjunto	$200 la bolsa de 170 pzs	1 pza
Baomain Válvula solenoide	$936	1 pza
Panduit Canaleta Tipo F, 57.2mm x 2 Metros, Gris	$343	1 pza
SBE Tech Gabinete Metálico para Exteriores con Puerta (300x300x200 mm)	$939	1 pza
Unidad de mantenimiento Regulador de filtro y lubricador – Unidad FRL 3 en 1 – NPT de 3/8 pulgadas – 150 PSI (Campbell Hausfeld PA208103AV)	$1,772	1 pza
Zapatas Morris Products Terminales de anillo de alta temperatura, tamaño de cable 12-10	$287	100 pzas
Taiss LA38-11BNRYG - 3 interruptores de botón momentáneos de 22 mm, 10 A, 440 V, 1NO 1NC, DPST, rojo, amarillo y verde	$376	1 pza
APIELE (paquete de 2) interruptores selectores de 3 posiciones de 22 mm mantenidos 2NO XB2-20X/31 (3 posiciones mantenidas)	$362	1 pza
Disyuntor, 2 Polos CA 400 V 40 A Instalación en Riel DIN para Disparo Termomagnético, Sistema Fotovoltaico Solar, Interruptor de Desconexión Chtaixi, Montaje en Riel DIN	$378	2 pzas
Baomain - Cilindro neumático de aire SC 63 X 100 PT 3/8; Diámetro: 2 ½ pulgadas, Carrera: 4 pulgadas, vástago atornillado de doble acción	$880	1 pza
Limit Switch Interruptor De Limite Final De Carrera Me-8108	$745	5 pzas
Temporizador Digital con Pantalla de LCD, Programable Semanalmente Electrónico Interruptor de Tiempo de Relé de 16 encendidos y 16 de 8 apagados 110 V	$233.89 precio por unidad	2 pza
Baomain Contactor CA CJX2-1810 Bobina 110V 50/60Hz 3 fases	$351.64 precio por unidad	2 pza

Baomain ZB2-BE102C - Interruptor pulsador de botón de 22 mm NC N/C rojo parada de emergencia de hongos 600 V 10 A	**$196**	**1 pza**
Bocina		
Bloques de terminales de riel Dinkle Solar Combiner DK10N	**$468**	**1 pza**
Contactos Leviton Receptáculo dúplex resistente a la intemperie y a la manipulación	**$172**	**1 pza**
angxi Ventilador de enfriamiento para PC PWM, DC12V 0.8A 4Pin 3000RPM **Volteck FUS-60A, Fusible con agarradera, 60 A (250 V)**	**$432** **$47**	**2 pzas** **3 pza**
Fuente de alimentación		
Marcadores de cables tipo clip	**$132**	**100 pzas**
2 puertos 100 mbps rj45 network switch 2 vías lan ethernet switcher	**$191**	**1 pza**
Cinchos de Plastico 500 Pzas, Bridas de Plastico Autobloqueantes, Ancho 20cmx3.6mm	**$219**	**500 pzas**
Camera basler aca3800-14um	**$3,218**	**1 pza**
STECK SLPL42	**$4,200**	**6 pzas**
Relés electromecánicos	**$228**	**1 pza**
Terminales y punteras	**$400**	**1 pza**
PLC omron CP1H	**$10,000**	**1 pza**
Fuente de alimentación continua Autonics SPB-120-24	**$1,100**	**1 pza**
Interruptor termomagnetico Stark RYM01-R4	**$129**	**1 pza**
Interruptor termomagnetico siemens 5SL6106-7CC	**$2,200**	**2 pzas**
Interruptor termomagnetico eaton PLS6-C3	**$236**	**1 pza**
Banner sensor fotoeléctrico	**$13**	**3 pzas**
Cableado calibre 12mm 6XV1830-3EH10 SIEMENS	**$210 precio por metro**	**5 mtrs**

Posteriormente continuamos desarrollando la parte mecánica del proyecto y a la par de esto seguimos investigando y asesorándonos sobre el PLC.

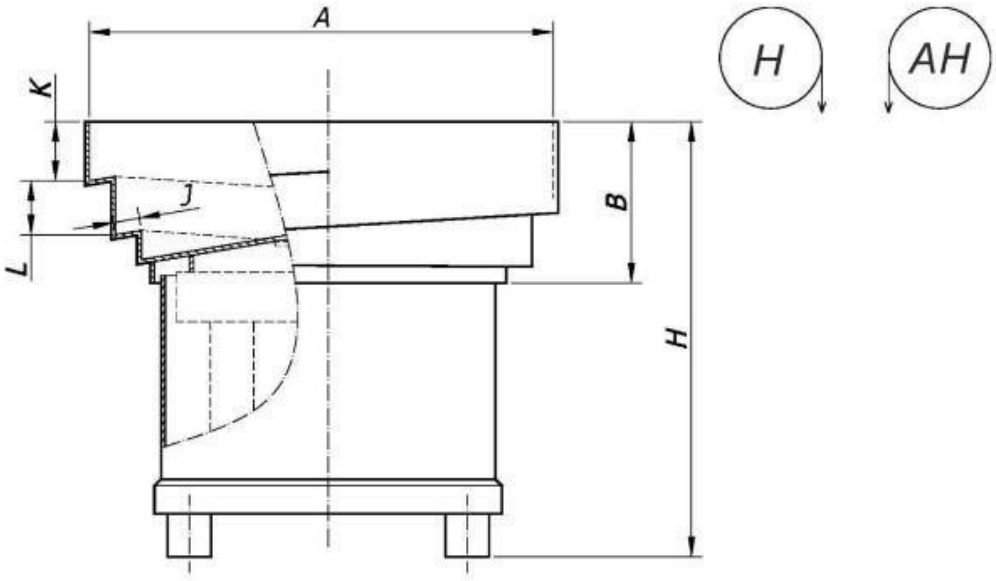
En donde el trabajo se nos facilitó mucho debido a que la tolva vibratoria, el bowl vibratorio son dispositivos que actualmente se encuentran a la venta al público habiendo un gran catálogo de diferentes modelos medidas y capacidades que los dispositivos pueden soportar.

siendo este caso nosotros nos basamos directamente de un proveedor de los cuales nos otorga una tabla de datos donde tiene toda la información necesaria para saber los parámetros que utilizaremos en el diseño.



Tolva vibratoria	420	260	205	390	475	514	245	300	877	507	50	81

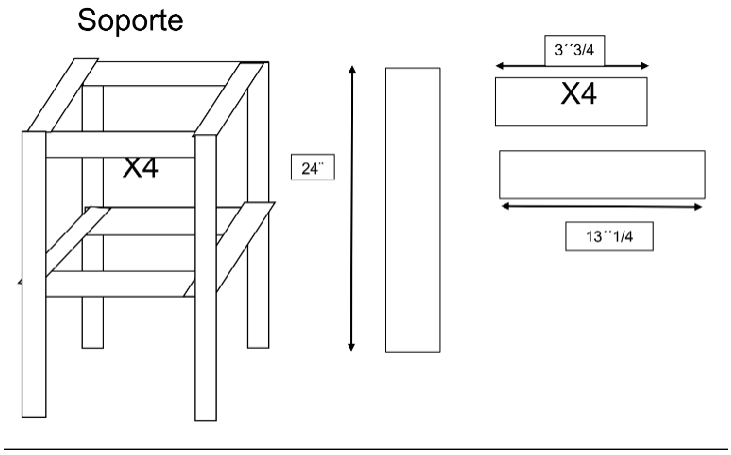
Ilustración 36: Medidas para la tolva vibratoria [Proporcionado por el fabricante]



Parte	Cotas (mm)							Peso (~) kg	
	A (ss)*	B	(~) H		J	K	L		
			I	II			0	I	II
Bowl vibratorio	510	158	375	400	32	35	60	54,5	---

Ilustración 37: Medidas del bowl vibratorio [Proporcionado por el fabricante]

También investigando medidas, parámetros y material para desarrollar un soporte en donde irían componentes físicos como sensores, cámaras, rieles y de la estructura a el vibrador lineal el cual se encarga de transportar las piezas hasta llegar al punto en el que se medirán.



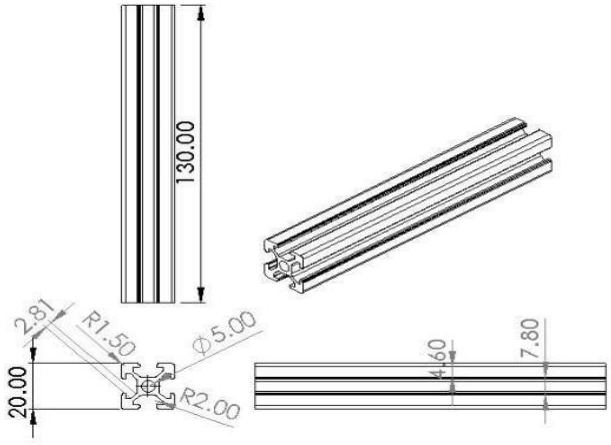
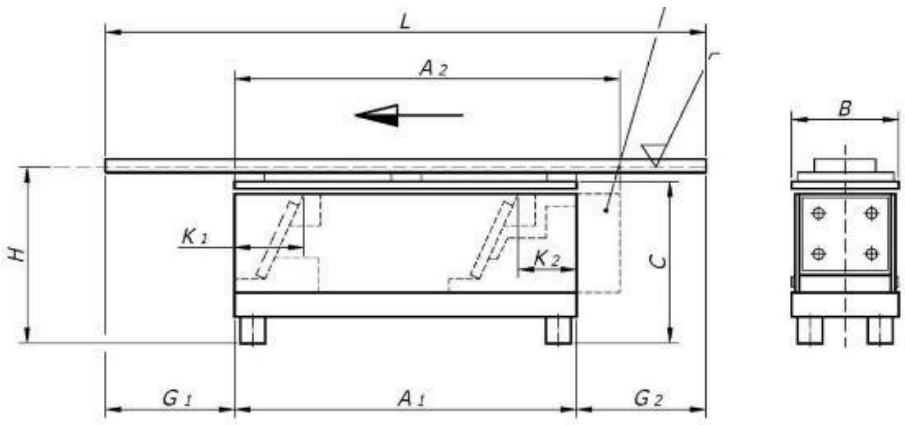


Ilustración 38: Medidas del perfil modular utilizadas [AutoCAD]

En este caso el vibrador lineal, logramos obtenerlo del mismo distribuidor el cual de igual manera proporciona toda la información necesaria para saber cuál es el que se adhiere a nuestros requerimientos.



Modelo unidad	Cotas (mm)											Peso Guía (~) kg	
	A 1	A 2 máx.	B	C	K 1	K 2	G 1	G 2	H	L (~) mín.	L (~) máx.	mín.	máx.
VL-60/90-7	562	622	110	153	49	157	55	66	150	700	950	3	8

Ilustración 39: Medidas del vibrador lineal [Proporcionado por el fabricante]

Donde la última pieza necesaria para desarrollar el diseño de esta máquina sería una mesa ya que aquí sería en donde se pondrían todos los componentes físicos para lograr la automatización de este proceso.



Ilustración 40: Mesa [AutoCAD]

CUADRO ELECTRICO

Todo el sistema eléctrico fue diseñado y compilado en Fluidsim.

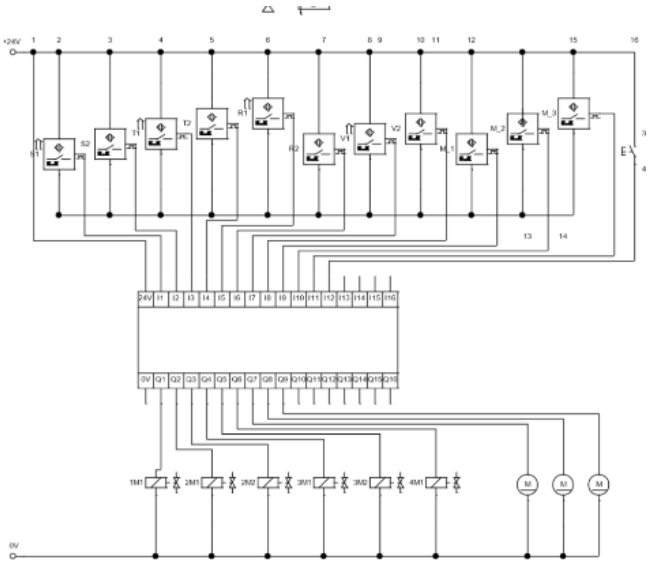


Ilustración 41: diagrama eléctrico [Fluidsim]

SISTEMA NEUMATICO

Compilado y diseñado en Fluidsim.

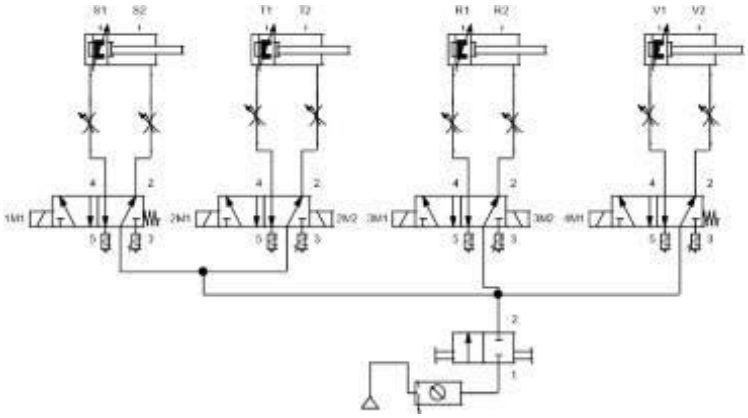


Ilustración 42: conexión de pitones y electroválvulas [Fluidsim]

PLC

La selección del PLC es crucial, ya que actúa como el cerebro del sistema. Se programa para coordinar y controlar el movimiento de los bowls vibratorios, asegurando una manipulación precisa de las piezas. Se implementan algoritmos que permiten la autonomía del sistema, minimizando la intervención humana.

Esta fue la parte mas tediosa de la investigación ya que en la programación de este nos debemos enfocar en uno especifico, para poder dar mejores soluciones a los problemas.

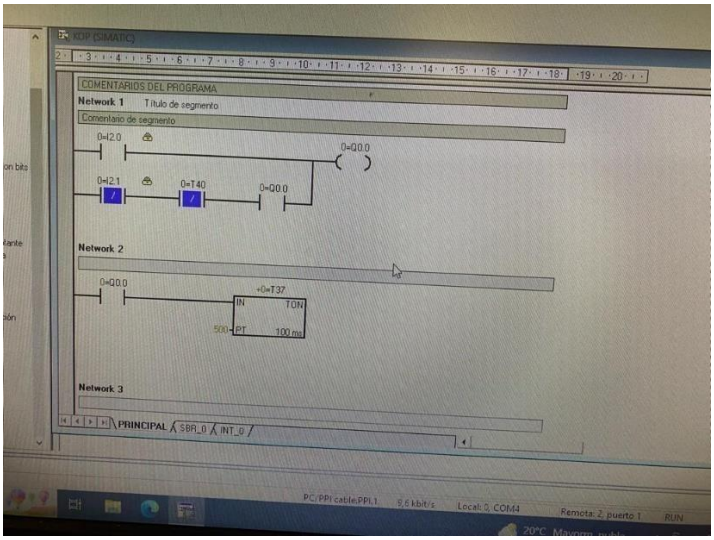


Ilustración 43: enclave en PLC [siemens]

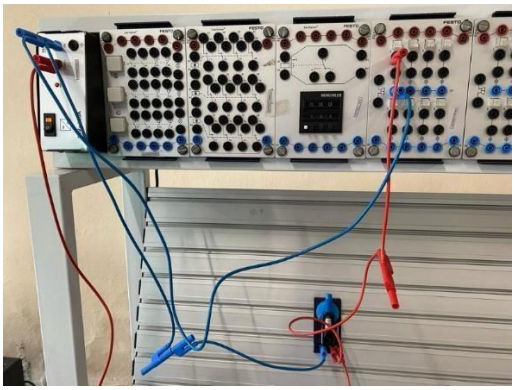


Ilustración 44: Conexiones físicas de un sensor



Ilustración 45: Conexiones físicas en el PLC para conectar sensores npn [siemens]

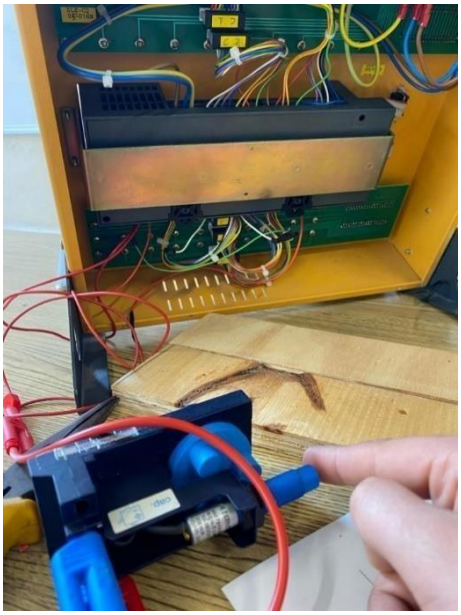


Ilustración 46: Conexiones físicas en el PLC para conectar sensores npn [siemens]

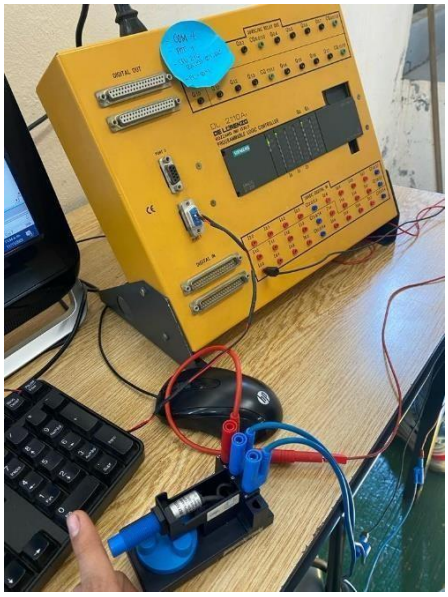


Ilustración 47: Conexión física de sensor pnp en PLC [siemens]



Ilustración 48: Conexión física de electroválvula y botonera.

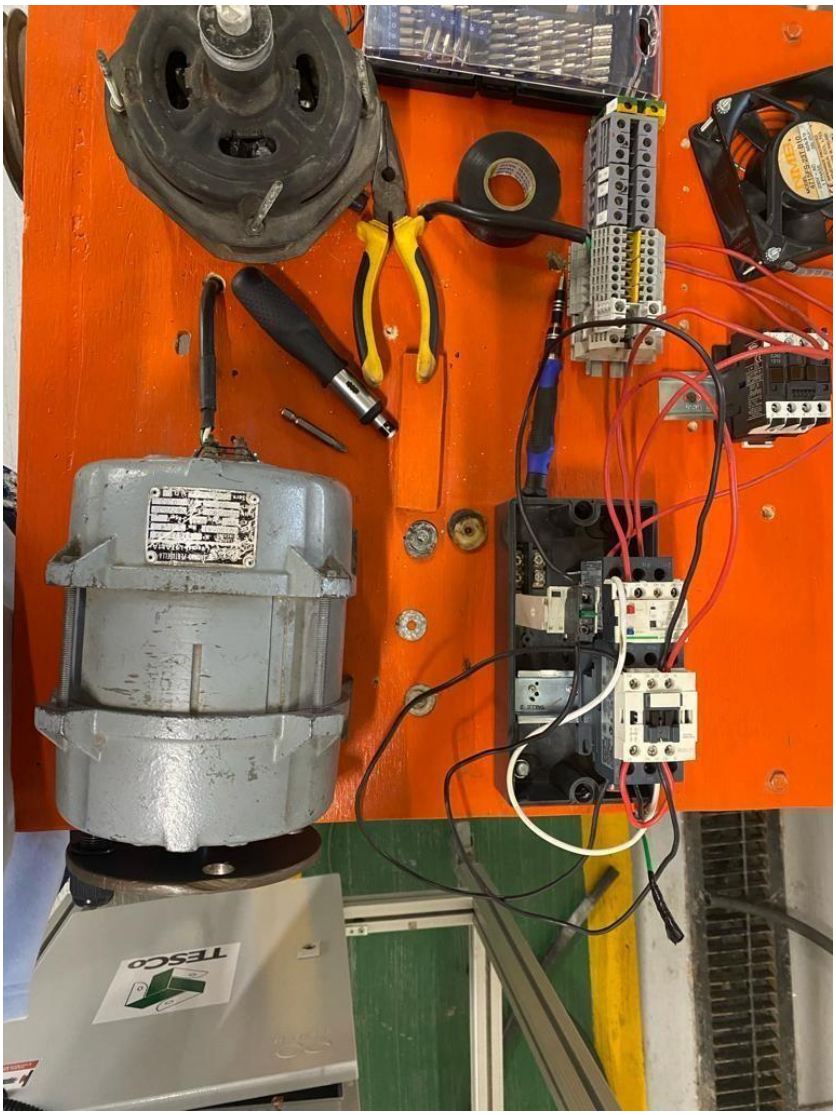


Ilustración 49: Conexión de motor fisico para puentearlo al PLC [siemens]

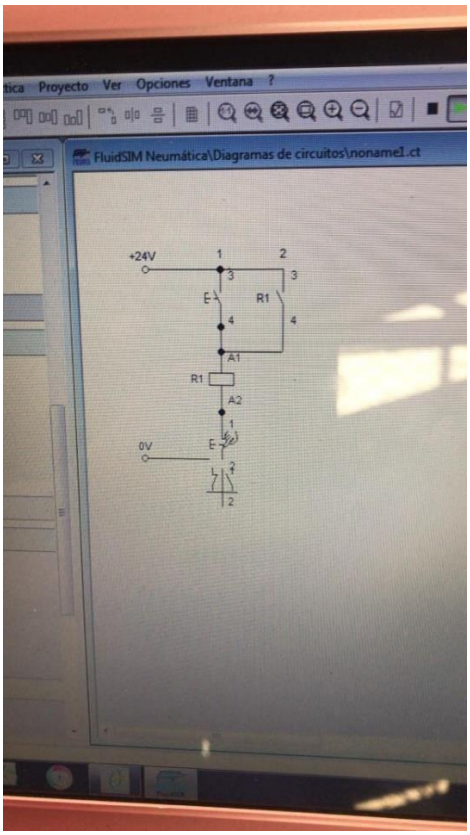


Ilustración 50: Enclave eléctrico [Fluidsim]

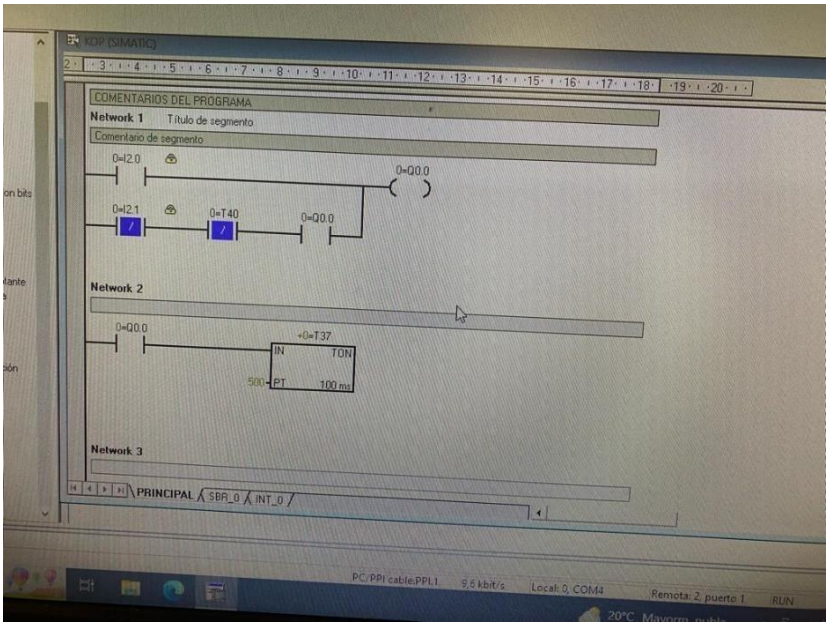


Ilustración 51: Prueba de un TIMER en PLC [siemens]



Ilustración 52: Prueba de medición con la Cámara.

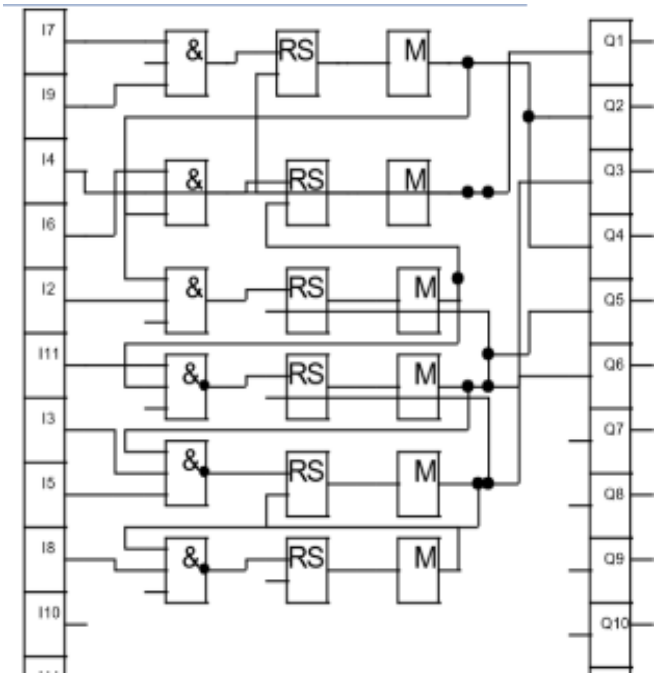


Ilustración 53: código en bloques [Fluidsim]

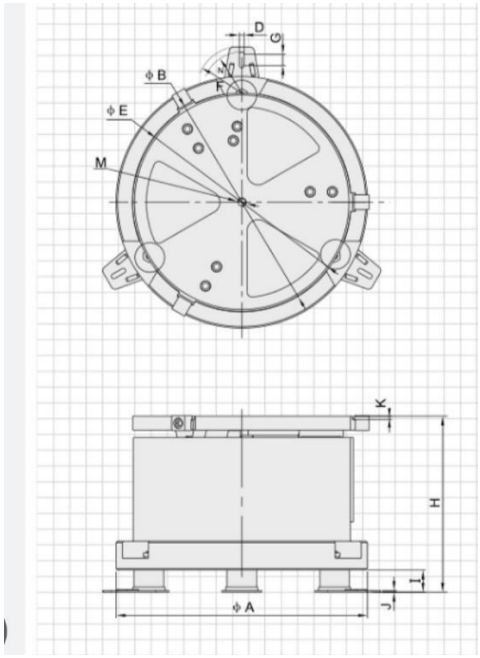


Ilustración 54: Diámetros del bowl vibratorio [AutoCAD]

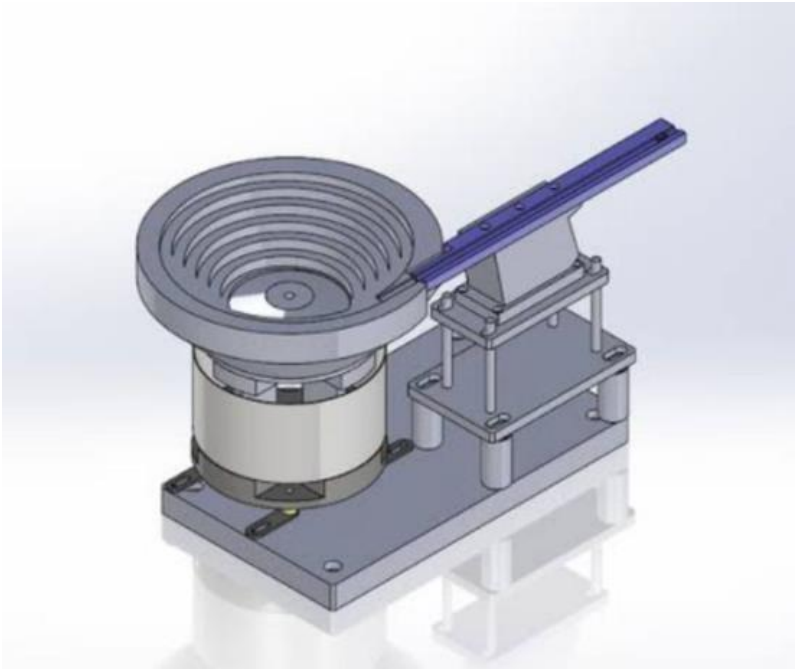


Ilustración 55: Bowl y riel vibratorio [AutoCAD]



Ilustración 56: Tolva 3d [AutoCAD]

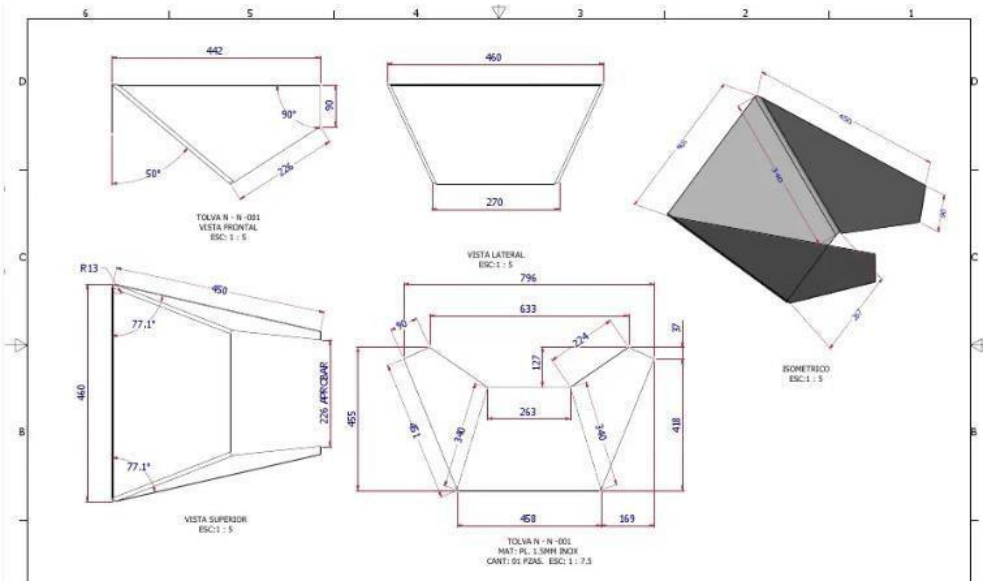


Ilustración 57: Plano para fabricar tolva [AutoCAD]

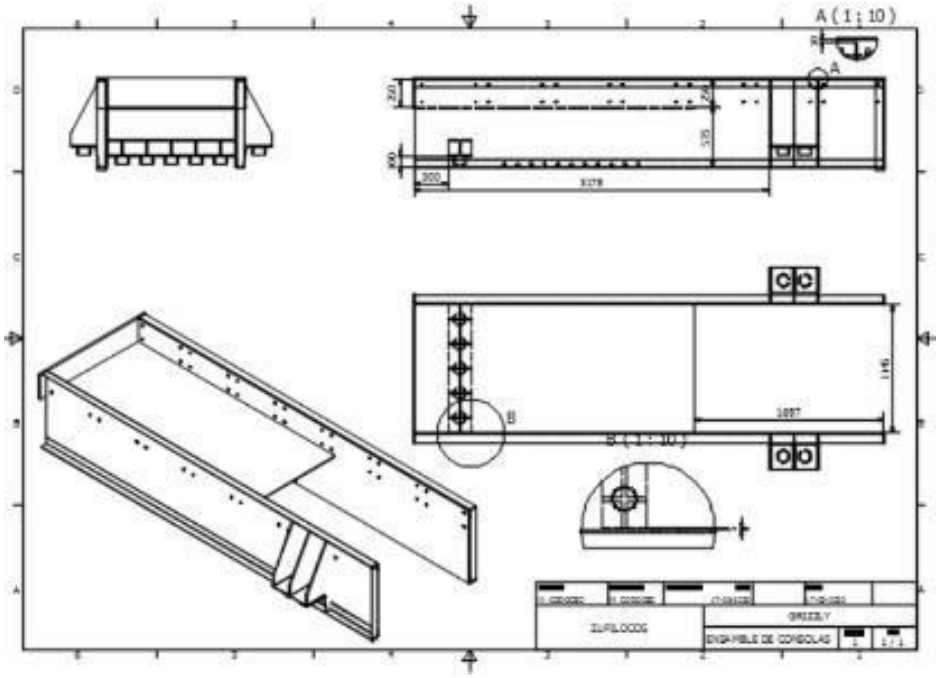


Ilustración 58: Plano para fabricar Riel vibratorio [AutoCAD]

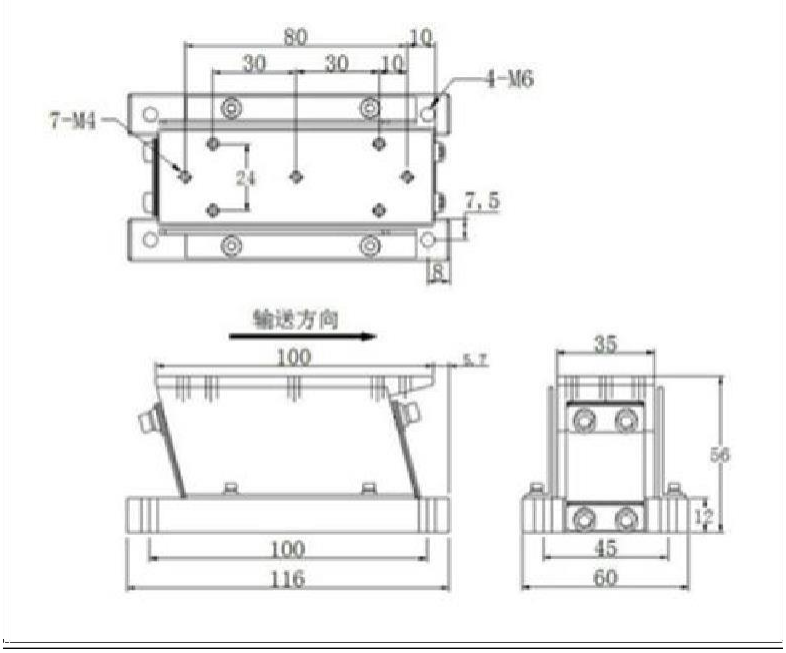


Ilustración 59: Medidas de Vibrador Lineal [AutoCAD]

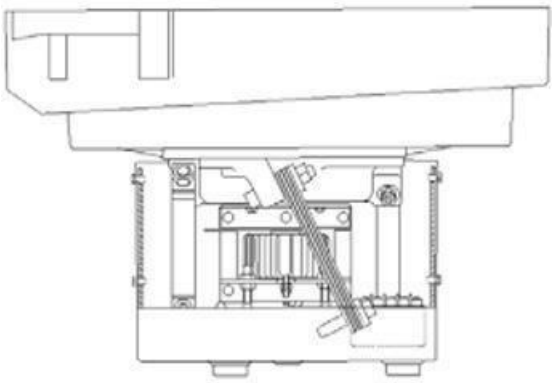


Ilustración 60: Diseño Interior del Bowl[AutoCAD]

CAPITULO 4: Procedimiento y descripción de las actividades realizadas por el residente

El periodo para realizar las residencias fue de 4 meses en el departamento de Mantenimiento, donde se asignaron diversas actividades además de las que aplicaban para la realización del proyecto.

Actividades generales designadas por la empresa para el residente.

Mantenimiento predictivo

Mantenimiento a compresores:

Se dreno el condensado del depósito de aire.

Se comprobó que el nivel de aceite fuera el correcto.

Se comprobó la temperatura del motor fuera la correcta.

Se limpio ventilador de refrigerado.

Se limpio compresor.

Mantenimiento correctivo

Mantenimiento a taladro de banco:

Se desmonto motor y se desconectó de la corriente, luego se desarmo el motor para saber cuál fue la falla que tuvo, una vez que se desamo se revisó el estado del rotor al cual se le rompió el eje.

Se reviso el estado físico de los rodamientos los cuales se lavaron y se engrasaron.

También se le dio mantenimiento al estátor el cual se lavó con dieléctrico y se le puso barniz aislante para bobinado.

Se limpio la carcasa del motor y el estado de las poleas y bandas.

Se reviso es estado de la flecha, husillo y manivela.

Mantenimiento a motor y bomba hidráulica:

Se desmonto motor para darle mantenimiento el cual se desarmo, se revisó el estado del rotor, estator y se lavó el embobinado también se le aplico barniz.

Se le dio mantenimiento a la bomba hidráulica la cual se rectificó las tapas, también se lavo los engranes y se sopleteo para sacar toda suciedad.

También se le dio mantenimiento a la electroválvula se revisó que la bovina estuviera funcionando y el embolo hiciera los cambios de salidas y entradas.

Se sopletearon todas las redes de distribución y el estado del cilindro hidráulico.

Mantenimiento a tina de soluble de centro de maquinado:

Se vacío tina para poder encontrar la fuja una vez vacía se lijo las partes que tenían oxido y se le puso plastia cero cuando se secó se pintó, también se tapó el nivel del aceite

Mantenimiento a máquina strom

Se desarmo la máquina para poder quitar una flecha que se rompió y una vez que se quitó se lavaron los rodamientos que tenían y se mandó a hacer la flecha nueva

Mantenimiento a torno CNC

Se pusieron ventiladores y se limpiaron ya que los que ventiladores que tenía tenían mucha suciedad lo cual provocaba que los componentes electrónicos se sobren calentaran

Mantenimiento a CNC

Se le dio mantenimiento a la torreta de herramientas ya que no hacia el cambio por lo cual se limpió y se metió nuevo cableado ya que el que tenía estaba quemado, también se cambiaron los micros de definen el tope de avance los ejes ya que no se estaba deteniendo el avance

Mantenimiento preventivo

Mantenimiento a máquina index

Se reviso que en el tablero eléctrico los contactores, micros y caja de fisibles estuvieran trabajando bien también se les dio limpieza con dieléctrico.

También se revisó el estado físico de engranes, flechas, rodamientos, sistema de lubricación, bomba y la temperatura, amperaje del motor principal.

Mantenimiento a máquina traub

Se reviso en estado de la caja de engranes, flecha, poleas y la banda la cuan se le puso un cosmético para que tenga mayor rendimiento.

Se le tomo la temperatura a el motor y también se revisaron las líneas de alimentación con un multímetro (amperaje y voltaje).

Mantenimiento a máquina lavadora de piezas:

Se desconecto ventilados y motor principal para poder quitar las guardas y poder limpiar por dentro la maquina y sacar toda la rebaba que tuviera, también sacar todo el diésel ya que el que tenía ya estaba muy usado una vez limpia la maquina y sin rebaba se volvió a llenar el depósito con nuevo diésel y se le pusieron todas sus guardas.

Mantenimiento a motores

Mantenimiento a motores de toda la planta:

Se revisaron todos los motores principales de cada maquinan de la planta a los cuales se les revisaba las líneas de alimentación (amperaje y voltaje) también se revisó que la temperatura del motor fuera la correcta

Los motores que tuvieran una falla se desmontaban de la maquina y se les daba mantenimiento el cual consistía en abrir el motor y revisar que el rotor, estator, eje, rodamientos y carcasa estuvieran en buen estado, el estator se lavaba con dieléctrico y al embobinado se barnizaba, también se lavaba los rodamientos y se engrasaban para poder aumentar su tiempo de vida

Una vez que ya se le había dado mantenimiento al motor se volvía a montar en la maquina y se hacían pruebas por una hora se revisaba que estuviera trabajando bien

Mantenimiento a la infraestructura

Se instalo taza de baño para baño de mujer de REMAK

Se taladro en piso para poder poner taquetes y fijar la taza el piso una vez fija se armó el depósito de agua, también se puso silicón y se conectó a la tubería de agua, a las paredes y puertas de los baños se les quito la pintura que estaba botada por oxido y se pintaron

Se adapto cuarto para maquinaria

Se adapto un cuarto para poder poner maquinas en el cual se hizo la instalación eléctrica a 125v y 220v

Se puso tubería para poder meter el cable eléctrico, también se pinto de color verde según a la tabla de tuberías de la empresa

Se puso caja de fusibles, contacto duples y contacto trifásico

Se puso tubería de aire comprimido para poder conectar las maquinas

Se pinto el cuanto de blanco

Mantenimiento a regaderas

Se quitaron las regaderas de los baños para poderles quitar el sarro, destaparlas y en dado caso cambiarlas por nuevas se arreglaron tapas de desagüe

Mantenimiento a registro de baños

Se destaparon las tuberías de todos los registros y se sacó toda la suciedad que tuvieran para evitar que se taparan las tuberías

Mantenimiento a techo

Se impermeabilizo el techo ya que cuando llovía se filtraba demasiada agua

Actividades específicas para la realización de su informe.

1. Investigación y planeación de la máquina.
2. Investigación de lo componentes a utilizar
3. Investigación del proceso mecánico
4. simulación del proceso
5. Diseño del cuadro eléctrico
6. Programación del PLC
7. Conexión de relés y pistones para simular el proceso a automatizar

Resultados

En el ámbito del diseño, se ha logrado una configuración ingeniosa que utiliza PLC para controlar de manera eficiente el flujo de piezas a través de los bowls vibratorios. La sincronización precisa y la capacidad de programación del PLC han permitido una coordinación óptima de los componentes, garantizando un transporte fluido y sin interrupciones.

La simulación de este proceso ha sido esencial para anticipar posibles problemas y optimizar los parámetros de funcionamiento. Las simulaciones han proporcionado una representación visual detallada de cómo interactúan los bowls vibratorios y cómo el PLC gestiona la transferencia de piezas, permitiendo ajustes antes de la implementación física.

La investigación asociada con este proyecto ha contribuido a la identificación de tecnologías avanzadas de sensores y métodos de medición precisos. La incorporación de estas investigaciones en el diseño ha mejorado significativamente la capacidad del sistema para medir las piezas con exactitud, asegurando la calidad del proceso.

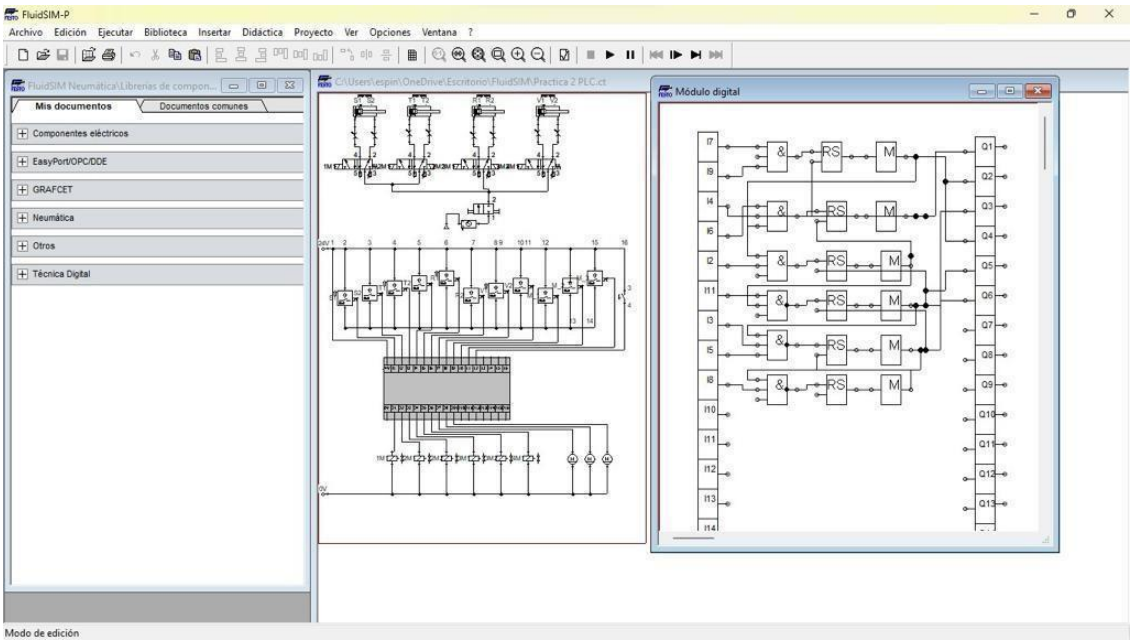


Ilustración 61: Simulación completa del proceso [Fluidsim]

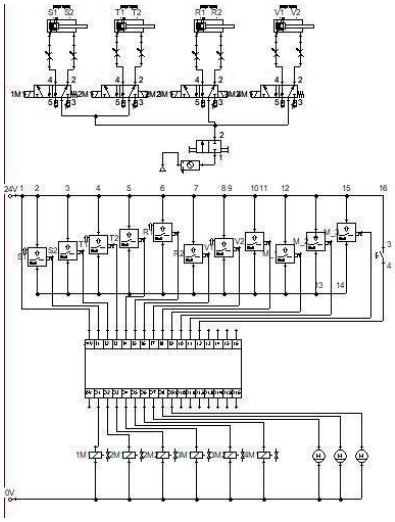


Ilustración 62: Cuadro eléctrico y neumático del diseño [Fluidsim]

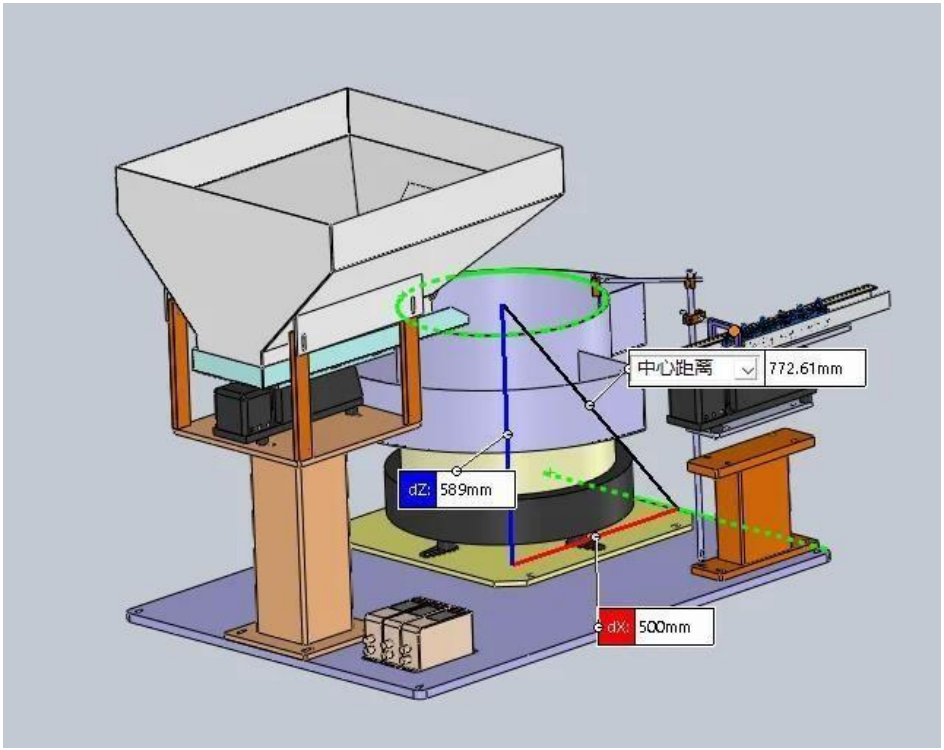


Ilustración 63: Diseño del proceso 3d [AutoCAD]

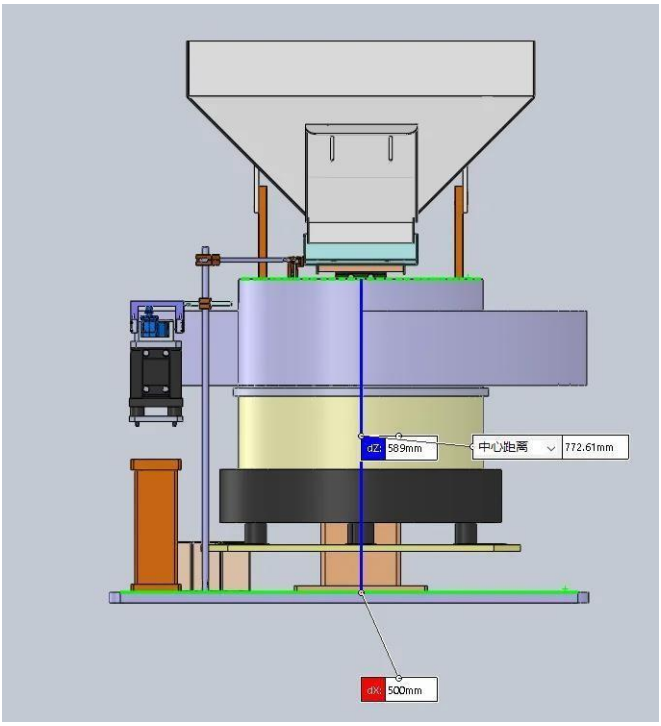


Ilustración 64: Lateral del diseño completo [AutoCAD]

La retroalimentación de los operadores y supervisores ha sido positiva, destacando la facilidad de operación y mantenimiento del sistema. Además, la reducción de la intervención humana directa en el proceso ha llevado a mejoras en la consistencia y la precisión.

En el contexto económico, la implementación de este proceso ha demostrado ser rentable, con una amortización rápida gracias a la mejora de la eficiencia y la reducción de los costos operativos asociados con la mano de obra y los errores de manipulación.

Conclusión

La automatización completamente autónoma ha demostrado ser una estrategia efectiva para mejorar la eficiencia y la competitividad de EIMEX S.A DE C.V. A medida que avanzamos en esta era de la automatización, es fundamental seguir innovando y adaptándonos a las nuevas tecnologías y oportunidades que surgen en este campo.

Se recomienda seguir monitoreando y mejorando continuamente el sistema de automatización autónoma, así como mantenerse al tanto de las últimas innovaciones tecnológicas en este ámbito.

La creación de un proceso autónomo basado únicamente en simulación y planos presenta desafíos potenciales. Aunque la simulación ofrece resultados valiosos, la realidad operativa puede diferir, lo que destaca la importancia de pruebas y ajustes en condiciones reales.

La eficacia del diseño depende de la precisión de los modelos de simulación y la exhaustividad de los planos. La interacción con factores inesperados o variables no consideradas podría afectar el rendimiento. Se requiere un enfoque interativo para perfeccionar la implementación y garantizar la robustez del proceso autónomo.

En conclusión, si bien la simulación y los planos son herramientas valiosas, la validación práctica es esencial para lograr un sistema autónomo efectivo y confiable.

Este informe sirve como un resumen de los logros y los desafíos en la implementación de la automatización completamente autónoma en EIMEX S.A DE C. V., destacando el papel clave que juega la tecnología en la transformación de las operaciones empresariales.

COMPETENCIAS DESARROLLADAS

Analizar

Esta competencia se desarrolló al momento de observar la problemática y buscar una solución factible, con el fin de hacer eficiente el resultado.

Simulación

Al momento de realizar la simulación en un software llamado Fluidim para el circuito dentro de maquina automatizada.

Diseño

Donde cada parte de la banda trasportadora se diseñó en un software llamado Solid Works, acotado con las medidas reales.

Planificación

Desde el momento que inicio el proyecto fue necesario planificar los tiempos y las formas en las cuales se tendría que desarrollar la investigación, además de que es la mayor función que tiene el departamento donde se realizó el proyecto.

Liderazgo, comunicación, interrelaciones

En la toma de decisiones del proyecto, se debe tener bastante comunicación con el equipo de trabajo, así como relacionarse con gente operativa y/o gerencial.

Interpretación de información técnica

Fue necesario interpretar la información que se nos proporcionaba día a día, como lo son diagramas y programas de mantenimiento.

Referencias

Dorf, R. C., & Bishop, R. H. (2011). Modern control systems.

Sánchez, J. A. (2006). Instrumentación y control avanzado de procesos. Ediciones Díaz de Santos.

Harry N. Norton "Sensores y Analizadores". GG. 1984.

A. Barrientos, L.F. Peñin y J. Carrera. "Automatización de la Fabricación. Transductores y Actuadores". Publicaciones ETSII Madrid. 1995.

H.S.Tzou y T. Fukuda "Precision Sensors, Actuators and Systems". Kluwer Academic Publishers. 1992.

Lipták, B. G., & Venczel, K. (2016). *Measurement and safety*. CRC Press.

Lombana, N. B., Mesa, L. A. M., & Rubio, J. J. M. (2013). Automatización del proceso de generación del seguro estudiantil, aplicando las tecnologías RFID y GPRS. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, *13*(1), 19. https://doi.org/10.19053/1900771x.4095

Cevallos, E. P. V., Vallejo, M. C., & Yépez, W. S. (2017). Sistema de medios de enseñanza tecnológicos de neumática y automatización para ingenieros. *Industrial Data*, *20*(1), 59. https://doi.org/10.15381/idata.v20i1.13510

Terán Herrera, H., Pino Tarragó, J., Ramón, M. y Arteaga López, O. (2017). *Vibraciones Mecánicas. Volumen I*. Rumiñahui, Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE

Seto, W. W. (1970). *Teoría y problemas de vibraciones mecánicas*.