



Diseño, construcción e implementación de un sistema automático de secado y reactivado de suelas y capellada de calzado mediante la integración de una red IoT, para la optimización y supervisión del ciclo de producción en la empresa Ciara de la ciudad de Ambato.

Bonifaz Galarza, Christian José y Pullupaxi Pujos, Adolfo Javier

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecatrónico

Ing. Caizalitín Quinaluisa, Edwin Alejandro

4 de agosto del 2022

Latacunga

COPYLEAKS

TESIS FINAL BONIFAZ - PULLUPAXI.pdf

Scanned on: 16:36 August 8, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	506
Words with Minor Changes	247
Paraphrased Words	363
Omitted Words	5092



Ing. Caizalitin Quinaluisa, Edwin Alejandro

C.C.: 0503351397



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: **“Diseño, construcción e implementación de un sistema automático de secado y reactivado de suelas y capellada de calzado mediante la integración de una red IoT, para la optimización y supervisión del ciclo de producción en la empresa Ciara de la ciudad de Ambato”**, fue realizado por los señores **Bonifaz Galarza, Christian José y Pullupaxi Pujos, Adolfo Javier**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 4 de agosto de 2022

Ing. Caizalitin Quinaluisa, Edwin Alejandro M.Sc.

C. C.: 0503351397



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Bonifaz Galarza, Christian José**, con cédula de ciudadanía n° 1804371449 y **Pullupaxi Pujos, Adolfo Javier**, con cédula de ciudadanía n° 1805056270, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Diseño, construcción e implementación de un sistema automático de secado y reactivado de suelas y capellada de calzado mediante la integración de una red IoT, para la optimización y supervisión del ciclo de producción en la empresa Ciara de la ciudad de Ambato”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 4 de agosto de 2022



.....
Bonifaz Galarza, Christian José
C.C.: 1804371449



.....
Pullupaxi Pujos, Adolfo Javier
C.C.: 1805056270



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Autorización de Publicación

Nosotros, **Bonifaz Galarza, Christian José**, con cédula de ciudadanía n° 1804371449 y **Pullupaxi Pujos, Adolfo Javier**, con cédula de ciudadanía n° 1805056270, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Diseño, construcción e implementación de un sistema automático de secado y reactivado de suelas y capellada de calzado mediante la integración de una red IoT, para la optimización y supervisión del ciclo de producción en la empresa Ciara de la ciudad de Ambato”**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 4 de agosto de 2022

Bonifaz Galarza, Christian José
C.C.: 1804371449

Pullupaxi Pujos, Adolfo Javier
C.C.: 1805056270

Dedicatoria

Dedico este proyecto de tesis a Dios, a mis padres y a mi abuelita materna; en principio a Dios quien pese a mi profundo temor de continuar avanzando por este camino profesional siempre ha estado a mi lado intangiblemente, brindándome fortaleza, seguridad y determinación, además como fiel testigo de su grandeza en un sinfín de ocasiones hoy he logrado dar un paso hacia adelante en mi vida profesional.

A mis amados padres Anita y José, que han trabajado y luchado incansablemente sin importar las adversidades que la vida les ha presentado, con toda su fuerza para salir adelante por mi hermana y por mí, es por ellos, por su plena confianza en mis capacidades y su infinito amor que ahora he cumplido este gran objetivo, y seguiré esforzándome por cumplir muchos más.

Una dedicatoria especial para mi abuelita María Piedad, uno de los pilares fundamentales en mi vida, mi segunda madre, quien me educó durante toda mi niñez y adolescencia, plasmando en mí sus valores y principios. Y que ahora sus ojos pueden ver al profesional que ha formado.

Los amo con toda mi vida.

Bonifaz Galarza, Christian José

Dedicatoria

El presente trabajo se lo dedico principalmente a Dios, por darme la vida y por haberme permitido llegar a cumplir una meta más de las que me he propuesto para mi vida profesional. A mi abuelita María Piedad que Dios la tiene en su Santa Gloria ya que ella siempre será un ángel en mi vida y mientras estuvo conmigo me cuidó y me supo dar ánimos y fuerzas para seguir adelante y desde donde está, ella me bendice.

A mis padres ya que ellos han sido mi pilar fundamental, que siempre han estado presentes con su apoyo incondicional, su ejemplo y cariño que a pesar de nuestras diferencias han estado ahí para no permitirme desmayar en el proceso y hoy en día su esfuerzo también se refleja en mi trabajo. Gracias por su paciencia y amor.

A mis queridos hermanos Alex, Cristina y Evelyn que han sido testigos y el apoyo incondicional en muchos de los aspectos de mi vida personal y académica.

Pullupaxi Pujos, Adolfo Javier

Agradecimiento

Ante todo, mi más ferviente gratitud hacia Dios, por darme el maravilloso regalo de la vida junto a una familia tan maravillosa que ha estado, está y anhelo estará presente el mayor tiempo posible a mi lado contemplando mi crecimiento, según sea su voluntad, gracias a su presencia que ilumina y bendice todo el camino que voy recorriendo, brindándome la sabiduría y la entereza necesaria para culminar este arduo proceso.

Me faltarían las palabras para poder expresar el eterno agradecimiento a mis padres y a mi abuelita por toda su entrega, su amor y su motivación hacia mí, muchas gracias por ser el mejor ejemplo a seguir, gracias también a mis tíos, primos y queridos familiares, por todos y cada uno de los consejos que me han impulsado a seguir adelante como una mejor persona.

Mi más profundo agradecimiento al Ing. Edwin Caizalitín cuyo apoyo, orientación e instrucción como tutor de tesis ha sido imprescindible para concretar exitosamente mi formación profesional por medio del presente trabajo; de igual manera a mi grata Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, conformada por preciados docentes y muy valiosas amistades que me han acompañado tanto en la carrera universitaria como fuera de ella.

Le agradezco enormemente al Ing. Guillermo Vela, propietario de la empresa Ciara quien nos brindó la oportunidad de realizar este proyecto de titulación en sus instalaciones, permitiéndome aportar a su proceso industrial varios de los conocimientos adquiridos en mi formación académica.

Por último, un reconocimiento especial hacia el Ing. Jorge Sánchez y a todo el talento humano que constituye la empresa Jorix Su Cocina, por guiarnos y sobre todo por facilitarnos el uso de la maquinaria industrial disponible en sus instalaciones.

Bonifaz Galarza, Christian José

Agradecimiento

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por haberme permitido llegar a culminar mis estudios universitarios, a mis padres quienes han estado junto a mí apoyándome en las buenas y en las malas celebrando mis victorias y reconfortándome en las malas situaciones, mis hermanos, mis tíos, abuelos, primos que han compartido momentos, experiencias y consejos para poder salir adelante ante cualquier adversidad, mis amigos que también fueron partícipes de este proceso, a mi institución la cual me ha acogido y me ha brindado grandes experiencias y conocimientos para ser un profesional, mis profesores que hicieron parte de este largo camino e impartieron sus enseñanzas que hoy en día se puede ver el fruto de su trabajo reflejado en esta tesis.

Agradezco también a la empresa Ciara que nos abrió sus puertas y nos apoyó con la elaboración de este proyecto de tesis.

Finalmente quiero expresar un sincero agradecimiento a todas las personas que se dan un tiempo de leer este apartado y más de este esperando que sea de su agrado y les pueda servir como un aporte para sus trabajos e investigaciones.

Pullupaxi Pujos, Adolfo Javier

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula	1
Reporte de verificación	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria	6
Dedicatoria	7
Agradecimiento.....	8
Agradecimiento.....	9
Índice de contenidos	10
Índice de figuras	18
Índice de tablas.....	23
Resumen.....	25
Abstract	26
Capítulo I: Generalidades	27
Introducción.....	27
Antecedentes.....	27
Planteamiento del problema	30
Descripción resumida del proyecto	32

Justificación e importancia.....	34
Objetivos	35
<i>Objetivo general</i>	35
<i>Objetivos específicos</i>	35
Hipótesis	36
Capítulo II: Fundamentación teórica	37
La Industria 4.0	37
<i>Sistemas ciberfísicos (CPS)</i>	39
<i>Internet de las cosas (IOT)</i>	39
<i>Internet de los servicios (IoS)</i>	40
La tecnología y la industria del calzado.....	41
Materiales para la industria del calzado.....	42
<i>Material de producción para capelladas</i>	43
<i>Materiales utilizados como forros para calzado</i>	44
<i>Material de producción para suelas</i>	45
<i>Medidas de calzado</i>	48
Proceso de producción de calzado	50
Hornos reactivadores.....	52
<i>Secador y reactivador NIR modelo. 742</i>	54
Adhesivos para el calzado	55

<i>Materiales para pegar</i>	55
<i>Requerimientos para la unión</i>	56
<i>Tratamiento de superficies</i>	57
<i>Condiciones ambientales</i>	58
<i>Proceso de pegado del calzado</i>	59
<i>Aplicación del Adhesivo</i>	59
<i>Secado</i>	60
<i>Reactivación</i>	60
<i>Prensado</i>	60
<i>Adhesivo para EVA</i>	61
<i>Reactivado</i>	62
<i>Sistemas de control</i>	63
<i>Sistema de control en lazo cerrado</i>	64
<i>Sistema de control en lazo abierto</i>	65
<i>Control proporcional</i>	65
<i>Ganancia</i>	66
<i>Banda proporcional</i>	66
<i>Sensores y actuadores</i>	67
<i>Sensores</i>	67
<i>Sensores de temperatura</i>	68
<i>Termopares</i>	69

Actuadores	73
Actuadores Lineales.....	74
Actuadores Rotativos.....	75
Motores Eléctricos.....	75
Caja Reductora.....	76
Motor SESAME.....	77
Ventiladores.	78
Elementos de calentamiento	79
<i>Resistencias eléctricas (niquelinas).....</i>	79
<i>Lámparas infrarrojas.....</i>	84
<i>Sistema de convección forzada</i>	85
Controladores.....	85
<i>Pirómetro CH102 REX 100.....</i>	90
Dispositivos de mando, control y protección.....	92
<i>Interruptor termo-magnético.....</i>	93
<i>Contactor.....</i>	94
<i>Pulsadores.....</i>	95
Pulsador normalmente abierto.	95
Pulsador normalmente cerrado.	96
Pulsador paro de emergencia.....	96
<i>Interruptor.....</i>	97

	14
Selector	97
Pedal eléctrico	98
<i>Final de carrera</i>	98
<i>Relés</i>	99
Relé de estado sólido	100
Relé de tiempo	101
Elementos y software red IoT	102
<i>Plataforma Arduino IoT Cloud</i>	102
<i>Módulo ESP8266</i>	102
Pintura electroestática	104
Material aislante y de protección	104
<i>Filtro no tejido Nomex</i>	104
Capítulo III: Diseño y construcción	107
Diseño del sistema	107
<i>Necesidad del cliente</i>	107
<i>Especificaciones técnicas del sistema</i>	109
<i>Desarrollo de la función de calidad o QFD</i>	110
<i>Análisis de los resultados obtenidos con la casa de la calidad</i>	113
<i>Estructura funcional del sistema</i>	113
<i>Función global y despliegue de estructura funcional</i>	115

Selección de conceptos	118
<i>Módulo 1. Movimiento de porta-suelas y porta-hormas</i>	118
Filtrado de conceptos.....	118
Evaluación de conceptos.	119
<i>Módulo 2. Secado del adhesivo y ventilación</i>	120
<i>Módulo 3. Reactivado del adhesivo</i>	122
<i>Módulo 4. Red IoT</i>	127
<i>Selección del material termorresistente</i>	129
Diseño mecánico del sistema automático de secado y reactivado	132
<i>Principio de funcionamiento</i>	132
<i>Diseño CAD del sistema automático de secado y reactivado</i>	132
Diseño del primer prototipo.	133
Diseño del segundo prototipo.	134
Diseño del tercer prototipo.	136
<i>Módulo 1. Carga/Descarga de suelas y capellada y movimiento de porta-suelas y porta-hormas</i>	137
Diseño mecánico del sistema de giro porta-hormas.....	137
Análisis estructural del sistema de giro porta-hormas.....	144
Diseño mecánico del sistema de giro porta-suelas.....	146
Análisis estructural del sistema de giro porta-suelas.....	148
<i>Módulo 2 y 3. Ventilación - secado y reactivado de adhesivo</i>	149

Diseño mecánico del sistema de ventilación y secado del adhesivo.	150
Diseño mecánico del sistema de calentamiento.	152
Diseño eléctrico y electrónico del sistema automático de secado y reactivado ..	154
<i>Algoritmo de control eléctrico para la máquina</i>	156
<i>Selección de elementos de protección eléctrica</i>	164
<i>Diseño del diagrama eléctrico y simulación de la secuencia de control</i> ...	167
Diseño y configuración de la red IoT	170
Construcción del sistema automático de secado y reactivado.....	177
<i>Estructura mecánica del sistema</i>	177
<i>Instalación del tablero de control</i>	183
Capítulo IV: Implementación, pruebas y resultados.....	188
Implementación del sistema automático de secado y reactivado.....	188
<i>Partes principales del sistema automático de secado y reactivado</i>	189
Calibración del controlador de temperatura.....	191
Pruebas de funcionamiento y resultados	193
<i>Pruebas de funcionamiento módulo 1. Carga/Descarga de suelas y capellada y movimiento de porta-suelas y porta-hormas</i>	194
Prueba de sujeción.	194
Prueba de tiempo.....	195

<i>Pruebas de funcionamiento módulo 2. Ventilación - secado de adhesivo</i>	196
<i>Pruebas de funcionamiento módulo 3. Reactivado del adhesivo</i>	198
<i>Pruebas de funcionamiento del sistema automático de secado y reactivado</i>	199
<i>Pruebas de monitoreo remoto mediante IoT</i>	202
Validación de hipótesis.....	204
Análisis de costos para el sistema automático de secado y reactivado	208
<i>Costos directos</i>	208
<i>Costos indirectos</i>	211
<i>Costo total</i>	211
Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones.....	216
Conclusiones.....	216
Recomendaciones.....	219
Contemplación de proyectos futuros.....	220
Bibliografía.....	221
Anexos.....	232

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Línea de tiempo - Revoluciones industriales a través de la historia</i>	39
Figura 2	<i>Tecnologías innovadoras que cambian el modelo de producción de las industrias</i> ...	41
Figura 3	<i>Medidas de pies y tallas</i>	49
Figura 4	<i>Secador y reactivador del Grupo SAZI modelo. 742</i>	54
Figura 5	<i>Tipos de adhesivos y de materiales para calzado</i>	56
Figura 6	<i>Tratamiento de superficies según el material</i>	57
Figura 7	<i>Tipos de tratamientos de superficies de calzado</i>	58
Figura 8	<i>Condiciones ambientales a tener en cuenta durante el pegado</i>	59
Figura 9	<i>Interacción entre la salida - entrada del sistema</i>	64
Figura 10	<i>Sistema de control en bucle cerrado</i>	64
Figura 11	<i>Sistema de control en bucle abierto</i>	65
Figura 12	<i>Control proporcional</i>	66
Figura 13	<i>Clasificación de los sensores según la variable física a medir</i>	67
Figura 14	<i>Clasificación de los sensores según el principio de transducción</i>	68
Figura 15	<i>Tipos de sensores de temperatura</i>	69
Figura 16	<i>Termopar y uniones del termopar</i>	70
Figura 17	<i>Tolerancias y temperaturas de trabajo de termopares</i>	73
Figura 18	<i>Clasificación de los actuadores según el tipo de energía que utilizan</i>	74
Figura 19	<i>Caja reductora</i>	76
Figura 20	<i>Motor y caja reductora SESAME acoplados</i>	77
Figura 21	<i>Modelos de niquelinas para diferentes funciones</i>	80
Figura 22	<i>Lámpara infrarroja</i>	84
Figura 23	<i>Tipos de controladores eléctricos</i>	86
Figura 24	<i>Clasificación de los sistemas de control según la acción de control</i>	87

Figura 25	<i>Clasificación de los controladores según como se genera la acción de control</i>	87
Figura 26	<i>Clasificación de controladores según propiedades del proceso</i>	88
Figura 27	<i>Clasificación de los controladores según la estrategia de control</i>	88
Figura 28	<i>Clasificación de los controlares según su diseño</i>	89
Figura 29	<i>Clasificación de los controladores según las señales</i>	90
Figura 30	<i>Esquema de conexión del pirómetro digital CH102</i>	92
Figura 31	<i>Clasificación de los elementos de mando, control y protección</i>	93
Figura 32	<i>Partes principales de un contactor</i>	94
Figura 33	<i>Símbolo eléctrico pulsador normalmente abierto (NA)</i>	95
Figura 34	<i>Símbolo eléctrico pulsador normalmente cerrado (NC)</i>	96
Figura 35	<i>Símbolo eléctrico pulsador paro de emergencia</i>	96
Figura 36	<i>Simbología interruptores NA y NC</i>	97
Figura 37	<i>Simbología eléctrica switch seleccionador de dos posiciones NA y NC</i>	97
Figura 38	<i>Simbología eléctrica final de carrera</i>	98
Figura 39	<i>Clasificación de los finales de carrera según el tipo de contacto</i>	99
Figura 40	<i>Diagrama de relé electromecánico y sus piezas móviles</i>	100
Figura 41	<i>Relé de estado sólido y su diagrama</i>	100
Figura 42	<i>Simbología relés temporizadores</i>	101
Figura 43	<i>Placa módulo ESP8266</i>	103
Figura 44	<i>Tela de filtro no tejido Nomex</i>	105
Figura 45	<i>Matriz QFD o casa de la calidad</i>	112
Figura 46	<i>Diagrama funcional de una pistola de clavos manual</i>	114
Figura 47	<i>Función global del sistema</i>	115
Figura 48	<i>Módulos principales del sistema</i>	116
Figura 49	<i>Estructura funcional del sistema</i>	117
Figura 50	<i>Modelo CAD del primer prototipo</i>	133

Figura 51	<i>Modelo CAD del segundo prototipo.....</i>	134
Figura 52	<i>Modelos de mecanismos para el movimiento del producto.....</i>	135
Figura 53	<i>Modelo CAD final del sistema.....</i>	136
Figura 54	<i>Dimensionamiento de la base circular para capelladas en horma</i>	138
Figura 55	<i>Diseño adaptable para todos los tamaños de calzado.....</i>	140
Figura 56	<i>Sistema de giro porta-hormas</i>	143
Figura 57	<i>Elementos de fijación y refuerzo para el sistema de giro porta-hormas.....</i>	144
Figura 58	<i>Factor de diseño para cargas estáticas, repetidas y de impacto.....</i>	146
Figura 59	<i>Sistema de giro porta-suelas.....</i>	147
Figura 60	<i>Elementos de fijación y refuerzo para el sistema de giro porta-suelas.....</i>	147
Figura 61	<i>Dimensionamiento para la colocación de los ventiladores.....</i>	150
Figura 62	<i>Modelado de las rendijas de ventilación</i>	151
Figura 63	<i>Vista del modelo CAD para la colocación de ventiladores.....</i>	152
Figura 64	<i>Modelado del deflector para las resistencias eléctricas</i>	153
Figura 65	<i>Modelado CAD de la puerta metálica ensamblada al sistema</i>	154
Figura 66	<i>Diagrama de flujo del sistema</i>	157
Figura 67	<i>Diagrama sistema de alimentación eléctrica.....</i>	158
Figura 68	<i>Conexión de niquelina a la red</i>	159
Figura 69	<i>Conexión niquelinas en cada cámara.....</i>	160
Figura 70	<i>Tabla calibre de cables según el amperaje.....</i>	162
Figura 71	<i>Conexión de la niquelina con el cable para altas temperaturas</i>	163
Figura 72	<i>Relé de estado sólido utilizado para el control de las niquelinas</i>	163
Figura 73	<i>Guía de elección para contactores en función de su categoría.....</i>	166
Figura 74	<i>Circuito eléctrico del sistema.....</i>	167
Figura 75	<i>Diagrama y simulación del sistema en el software CadeSimu.....</i>	168
Figura 76	<i>Panel de control del sistema.....</i>	169

Figura 77	<i>Placa configurada en la plataforma Arduino IoT Cloud</i>	171
Figura 78	<i>Datos de la tarjeta ESP8266 asociada a la cámara de suelas</i>	172
Figura 79	<i>Variables creadas dentro del thing asociado a la cámara de capelladas</i>	173
Figura 80	<i>Configuración de la red en el thing</i>	173
Figura 81	<i>Configuración de la red en el editor de programa de Arduino IoT Cloud</i>	174
Figura 82	<i>Dashboard para PC de los datos de la red IoT</i>	175
Figura 83	<i>Dashboard para móvil de los datos de la red IoT</i>	176
Figura 84	<i>Dashboard de la aplicación móvil configurado con Arduino IoT Cloud</i>	176
Figura 85	<i>Proceso del corte por plasma CNC</i>	178
Figura 86	<i>Proceso de lijado para eliminar la rebaba del material</i>	178
Figura 87	<i>Estructura de división entre cámaras</i>	179
Figura 88	<i>Fijación de las paredes de la cámara inferior</i>	179
Figura 89	<i>Acoplamiento de la estructura mecánica</i>	180
Figura 90	<i>Partes de la máquina después de la etapa de pintura</i>	180
Figura 91	<i>Ensamblaje del sistema de secado y reactivado de calzado</i>	181
Figura 92	<i>Adaptación del motor eléctrico al eje central</i>	182
Figura 93	<i>Instalación del pedal eléctrico</i>	182
Figura 94	<i>Estructura mecánica ensamblada</i>	183
Figura 95	<i>Distribución de los componentes eléctricos</i>	184
Figura 96	<i>Proceso de conexión en el tablero de control</i>	185
Figura 97	<i>Tablero de control implementado</i>	186
Figura 98	<i>Fijación del material Nomex al porta-suelas</i>	187
Figura 99	<i>Fijación del material Nomex al porta-hormas</i>	187
Figura 100	<i>Implementación del sistema automático en la empresa Ciara</i>	189
Figura 101	<i>Partes principales del sistema automático</i>	189
Figura 102	<i>Distribución de los componentes al interior de las cámaras</i>	190

Figura 103 <i>Registro datos de temperatura y zapatos en la red IoT</i>	203
Figura 104 <i>Datos de temperatura registrados en la aplicación móvil</i>	204
Figura 105 <i>Secador reactivador modelo. 421 PSTS</i>	213
Figura 106 <i>Secador y reactivador NIR modelo. 744/746 NIR</i>	215

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Tipos de materiales para la confección de zapatos.....</i>	43
Tabla 2	<i>Materiales utilizados para forros en la producción de calzado</i>	45
Tabla 3	<i>Materiales utilizados para la producción de suelas</i>	46
Tabla 4	<i>Presiones aplicadas en el prensado</i>	61
Tabla 5	<i>Tratamientos para aplicación del adhesivo según el material</i>	62
Tabla 6	<i>Descripción de los tipos de termopares y sus características</i>	71
Tabla 7	<i>Tipos de resistencias</i>	81
Tabla 8	<i>Características del pirómetro digital CH102</i>	91
Tabla 9	<i>Características módulo ESP8266</i>	103
Tabla 10	<i>Características técnicas del filtro Nomex</i>	106
Tabla 11	<i>Necesidades del cliente</i>	108
Tabla 12	<i>Especificaciones técnicas del sistema</i>	110
Tabla 13	<i>Valores de relación entre qué y cómo.....</i>	111
Tabla 14	<i>Relación entre cómo y cómo.....</i>	111
Tabla 15	<i>Evaluación de conceptos actuador movimiento de suelas y capelladas.....</i>	119
Tabla 16	<i>Filtrado de conceptos módulo 2 secado del adhesivo y ventilación.....</i>	121
Tabla 17	<i>Evaluación de conceptos módulo 2 secado del adhesivo y ventilación</i>	122
Tabla 18	<i>Filtrado de conceptos actuadores de reactivado del adhesivo</i>	123
Tabla 19	<i>Evaluación de conceptos actuadores de reactivado del adhesivo.....</i>	124
Tabla 20	<i>Filtrado de conceptos controladores del sistema de reactivación.....</i>	125
Tabla 21	<i>Evaluación de conceptos controladores del sistema de reactivación</i>	126
Tabla 22	<i>Filtrado de conceptos placa para la red IoT</i>	128
Tabla 23	<i>Evaluación de conceptos placa para la red IoT.....</i>	129
Tabla 24	<i>Filtrado de conceptos material termorresistente.....</i>	130

Tabla 25	<i>Evaluación de conceptos material termorresistente</i>	131
Tabla 26	<i>Características generales de las hormas que dispone la empresa Ciara</i>	139
Tabla 27	<i>Resultado del análisis CAE en el software Autodesk Inventor</i>	145
Tabla 28	<i>Resultado del análisis CAE en el software Autodesk Inventor</i>	148
Tabla 29	<i>Elementos eléctricos y electrónicos utilizados en el sistema</i>	155
Tabla 30	<i>Especificaciones del gabinete eléctrico</i>	184
Tabla 31	<i>Parámetros de configuración del controlador de temperatura</i>	193
Tabla 32	<i>Pruebas del grado de sujeción en porta-hormas</i>	195
Tabla 33	<i>Pruebas de tiempo para la carga y descarga del calzado</i>	196
Tabla 34	<i>Pruebas de calidad - etapa de secado</i>	197
Tabla 35	<i>Pruebas de calidad - etapa de reactivado</i>	199
Tabla 36	<i>Análisis comparativo entre los dos sistemas a una temperatura específica</i>	200
Tabla 37	<i>Revisión del funcionamiento de la red IoT</i>	207
Tabla 38	<i>Costos directos obtención de materiales</i>	209
Tabla 39	<i>Costos indirectos logística y construcción</i>	211
Tabla 40	<i>Presupuesto total de fabricación</i>	212
Tabla 41	<i>Primera comparación entre sistemas de secado y reactivado de calzado</i>	212
Tabla 42	<i>Segunda comparación entre sistemas de secado y reactivado de calzado</i>	214

Resumen

El presente proyecto de titulación se enfoca en el diseño, construcción y automatización de un sistema de secado y reactivado de suelas y capellada de calzado manufacturada con materiales, elementos y dispositivos que estén disponibles dentro del país. También contempla la implementación de una red IoT a través del microcontrolador ESP8266 para el monitoreo de las variables de temperatura y la cantidad de calzado que se va produciendo en tiempo real. En primer lugar, se efectuó la recopilación de información técnica referente a maquinarias y procesos utilizados para el secado y reactivado del adhesivo a base de poliuretano que normalmente es aplicado. Seguidamente se obtiene el modelo mecánico en función a los requerimientos y necesidades de la línea de producción de la empresa. El módulo 1 del sistema se encarga de generar un diseño adaptable, seguro y optimizado para todas las tallas de calzado, almacenando una máxima capacidad de 16 zapatos dentro del espacio de trabajo circular dispuesto. La estructura mecánica está conformada por dos módulos operativos, el módulo 2 cumple con la función de ventilación y secado del adhesivo a través de dos ventiladores situados por encima del sistema de calentamiento, mientras que el módulo 3 desempeña la etapa de reactivado por medio de dos resistencias eléctricas de cuarzo ubicadas en la pared superior de cada cámara. Finalmente, el análisis de resultados arroja una optimización del ciclo de producción actual de un 70,72% en relación al sistema de horno a gas anteriormente empleado.

Palabras Clave: horno secador – reactivador, adhesivo de poliuretano, grado de adhesión (tack), suela – capellada, monitoreo IoT.

Abstract

The present degree project focuses on the design, construction and automation of a system for drying and reactivating soles and uppers of footwear manufactured with materials, elements and devices that are available within the country. It also contemplates the implementation of an IoT network through the ESP8266 microcontroller to monitor temperature variables and the amount of footwear being produced in real time. First, technical information was collected regarding machinery and processes used for drying and reactivating the polyurethane-based adhesive that is normally applied. Next, the mechanical model is obtained according to the requirements and needs of the company's production line. Module 1 of the system is responsible for generating an adaptable, safe and optimized design for all shoe sizes, storing a maximum capacity of 16 shoes within the circular work space provided. The mechanical structure is made up of two operating modules, module 2 performs the function of ventilation and drying of the adhesive by means of two fans located above the heating system, while module 3 performs the reactivation stage by means of two quartz electric resistors located on the upper wall of each chamber. Finally, the results analysis shows an optimization of the current production cycle of 70.72% in relation to the gas oven system previously used.

Key words: dryer furnace – reactivator, polyurethane adhesive, degree of adhesion (tack), sole – upper, IoT monitoring.

Capítulo I: Generalidades

Introducción

Este primer capítulo detalla en breve instancia la situación en la que se encontraba la empresa Ciara llevando a cabo una de las etapas clave del proceso de fabricación de su calzado, específicamente la etapa de Secado y Reactivación del adhesivo que se aplica tanto en la suela como en la capellada del calzado, para posteriormente ser juntadas. Se presenta la formulación del problema con la correspondiente justificación e importancia que conlleva su debida solución, además de los respectivos objetivos que se irán cumpliendo a la par del desarrollo del presente proyecto de titulación.

Antecedentes

Al hablar de la historia del calzado se puede decir que esta es tan antigua como la historia del hombre moderno, pues está asociada con el manejo de materiales naturales como la madera o algunos tipos de fibras vegetales y al dominio de la curtiembre de cueros, según Vega (2020) algunos historiadores mencionan que el calzado se comenzó a utilizar a finales del periodo paleolítico, quizás en la etapa de culminación de la última glaciación alrededor de 12000 a 15000 años A.C.

Estos primeros zapatos utilizados no eran más que unas simples bolsas en forma de vendaje para ello utilizaban pieles de animales o cuero formando unas botas rústicas las cuales permitían proteger de la abrasión causada por rocas, escombros, agua y sobre todo del ambiente, esto en civilizaciones cuyo asentamiento está en lugares con clima frío, por otro lado, en clima cálido se utilizaba sandalias trenzadas de paja.

Con el paso del tiempo la sociedad fue cambiando y adoptando nuevas formas de elaboración de productos y es así que también en el sector de calzado se evidencia este

cambio. Velasteguí Peralta (2011) menciona que durante el Imperio Romano el calzado se empezó a confeccionar con diferentes materiales como el cuero, a los mismos eran añadidos algunos metales preciosos como el oro y ya en ese entonces existían materiales que evolucionaron para tener una mayor resistencia y otros que eran utilizados de acuerdo a la distinción del estatus social, obviamente estos materiales ya tenían cambios en los colores, diseños y también la manera de confeccionarlos.

Con el inicio de la Revolución Industrial en el siglo XVII el proceso de producción del calzado tuvo mayor detalle en cuanto a cortes y costura, según Miranda Encarnación (1993) el calzado se confeccionaba con un proceso totalmente manual, existían pequeños talleres en donde se encontraba trabajando un maestro zapatero, su esposa quien lo ayudaba y un aprendiz. En este proceso el maestro era quien preparaba la materia prima, cortaba el cuero para suelas y capellada, el zapato era terminado una vez que la mujer punteaba y cosía las partes que lo conformaba. Todo esto era elaborado con herramientas técnicamente rústicas y anticuadas, pero que gradualmente iban mejorando y ofreciendo una mayor facilidad de manejo para los artesanos según sus necesidades, no obstante, el producto final era un zapato tosco, pesado e incómodo. Velasteguí Peralta (2011) menciona que ya en el Siglo XX el proceso de producción de calzado tomó otro rumbo, debido a la aparición de la industria del caucho, plástico y telas sintéticas generando una amplia variedad de tallas, colores y modelos además que son más cómodos y generan un impacto social.

Hoy en día gracias a la tecnología se puede ver que casi todos los sectores de producción se han ido industrializando ya que en el mercado aparece maquinaria destinada a cumplir funciones especiales dentro de la elaboración de productos. Esta industrialización cada día se va innovando, crece de manera exponencial a pasos agigantados y exige a los fabricantes de calzado mayores inversiones con el fin de que puedan competir en el mercado y no se queden a la deriva del desarrollo.

Con ello en mente, la Industria del Calzado a nivel nacional no se queda atrás, ya que en la última década Ecuador ha mostrado un gran índice de producción de calzado a tal punto de exportar a varios países latinoamericanos, Según Banco Central del Ecuador (2020) en el año 2019 los principales destinos de exportación de calzado y sus partes fueron Colombia con 73%, seguido de Perú que registró una participación de 23,4%, Bolivia 1,1% y Chile 1,1%. En los tres primeros meses del año 2020, las exportaciones del país ecuatoriano se evaluaron por los \$4.529,6 miles de USD y 1.656,9 TM, alrededor de nueve países.

El Productor (2018) manifiesta que la mayor parte de la producción de calzado del Ecuador está concentrado en la provincia de Tungurahua con el 80% de participación a nivel nacional, se ha afirmado también que dentro de la provincia “existe una amplia gama de productores micro, pequeños y medianos empresarios que mantienen sus talleres y fábricas en parroquias rurales del cantón Ambato como Ambatillo, Atahualpa, Huachi, Izamba, Martínez, Picaihua, Quisapincha y Totoras” (Hidalgo Ruiz & Meléndez Garcés, 2012, pág. 43). Velasteguí Peralta plantea que el desarrollo de este sector en la provincia se debe a que a partir de la década de 1970 la manufactura artesanal fue reemplazada por varios procesos industrializados, provocando que los pequeños talleres familiares se conviertan en empresas enfocadas en el mejoramiento de la calidad del producto. Para 1980 y 1990 con el impulso de la globalización se producen cambios importantes en la integración y liberación económica del país. El proceso de crecimiento empresarial y participación en el mercado beneficia a las empresas con capacidad de implementar maquinaria industrial.

Dicho esto, el sector artesanal se vio afectado en gran medida, debido a que su limitada producción no les permitía competir con las empresas que adaptaban a sus procesos productivos tecnología extranjera importada desde países como Brasil o Italia especialmente.

El proceso de fabricación industrial que consta principalmente del armado y el montaje del calzado, se lleva a cabo gracias a un conjunto de herramientas, equipos y maquinaria que facilitan la confección del producto final. El estudio de las máquinas para la industria del calzado es amplio y puede contar con máquinas simples o sofisticadas, que cumplen tareas específicas, tal y como la fase de reactivación de calzado, esta etapa en particular ocurre inmediatamente después de la aplicación del adhesivo sobre la suela y el corte, como se comienzan a evaporar los solventes, el pegamento forma una capa sólida, y sin adhesión inicial. El proceso que produce el tack en esta película de adhesivo se llama reactivación, y consiste en aplicar calor a la película de adhesivo que se encuentra sobre la suela y el cuerpo del calzado. Según Cabezas (2011) de este modo la forma de pegado y reactivado que se suele realizar en muchas empresas se da aún de manera rudimentaria, con el uso de equipos inadecuados para el objetivo, ya que no disponen de la maquinaria automatizada que frecuentemente predomina en los mercados internacionales.

Es así que, en el campo tecnológico existe una gran variedad de empresas especializadas en la producción de equipos para la industria del calzado, tal es el caso de GRUPO SAZI una empresa brasileña, quien en el año 2018 desarrolló una máquina enfocada en la evolución continua de la ingeniería para el proceso industrial dentro del mercado del calzado. En la web se ha encontrado que el “Secador y Reactivador Horizontal - Modelo 740 cuenta con un sistema de control híbrido de ventilación forzada y PWM procesado vía PLC que modula la potencia de las lámparas para una mayor vida útil” (GRUPO SAZI, 2020).

Planteamiento del problema

En la actualidad con el continuo avance tecnológico, cada vez los trabajos que se efectuaban de forma manual van evolucionando de manera progresiva al uso de maquinaria autónoma y poco a poco en las industrias dentro de ellas las del sector del calzado van

enfrentando un mercado globalizado y constantemente cambiante que va demostrando un alto grado de calidad, eficiencia e innovación. Sin embargo, a raíz de la pandemia que sacudió al planeta causada por el COVID-19 muchas empresas a nivel mundial detuvieron su producción, por lo tanto, también el avance de la tecnología aplicada en sus procesos fue detenido, por consecuencia su estado económico se desplomó.

Dicho shock financiero afectó al Ecuador con un decaimiento total de la economía en donde los pequeños y medianos empresarios no han sido excepción de este acontecimiento. Según La Hora (2020) los datos de la Cámara Nacional de Calzado (Caltu), anuncia que la fabricación de calzado en Tungurahua bajó en un 80%, tal es el caso de la Empresa Ciara dedicada a la elaboración de calzado en la ciudad de Ambato, el terrible decrecimiento de las ventas, produjo una notable reducción de la producción y lo que a su vez causó que la empresa se vea en la necesidad de vender parte de su maquinaria con tecnología de punta, entre ellas un Horno Secador-Reactivador semiautomático.

Ante la alarmante situación del país debido a la emergencia sanitaria, la empresa Ciara tuvo que adaptar provisionalmente a su producción un pequeño horno industrial a gas disponible dentro del mercado nacional cuya estructura mecánica no es la más óptima para el proceso, puesto que solo puede ser utilizado para dos pares de zapatos simultáneamente, a más de que este artefacto fue modificado con piezas improvisadas, a fin de satisfacer la producción diaria. Estos factores retrasan en gran medida las ventas programadas y su comercialización, debido además a que el horno se debe calibrar acorde al criterio y la experiencia del operario a cargo, quien también está sujeto a cometer cualquier tipo de error humano.

Hoy en día, con la progresiva reactivación económica del país, la empresa Ciara está nuevamente retomando sus actividades, por lo que se considera oportuno la implementación

de una nueva máquina de Secado y Reactivado de calzado automatizado, la misma que es de vital importancia para su proceso de producción ya que permite el manejo de adhesivos con temperaturas óptimas, consiguiendo la unión de las piezas de distintos materiales, garantizando que las partes permanezcan unidas a lo largo del tiempo útil del calzado y sobre todo brindar mayor seguridad al personal de trabajo. Adicional a ello, se considera necesario la integración de una red IoT para el monitoreo continuo del proceso de producción que se lleva a cabo en la empresa.

Descripción resumida del proyecto

El objetivo primordial que tiene el presente proyecto es el diseño, construcción e implementación de un sistema automático de secado y reactivado del adhesivo que se aplica en las suelas y la capellada en horma del calzado, todo esto con el propósito de optimizar y además monitorear el ciclo de producción que actualmente genera la planta a través de la integración de una red IoT, dicho sistema será llevado a cabo en cumplimiento a los requerimientos de la Empresa Ciara.

Para la ejecución del proyecto se contemplaron algunas etapas. En primera instancia se investigaron varias fuentes bibliográficas para conocer características específicas de maquinaria similar a la que se desea implementar, la recopilación de información contempló fichas técnicas, elementos eléctricos, electrónicos, actuadores y controladores vigentes, también se levantó la información de los requerimientos de la empresa en cuanto a dimensiones, red eléctrica, datos de producción, toma de tiempos, muestras de hormas y aspectos particulares para desarrollar satisfactoriamente la máquina.

Con el fin de cumplir con los requerimientos mecánicos del sistema automático de secado y reactivado de calzado; La segunda etapa contempla el diseño, modelamiento y análisis estructural a través de un software CAD/CAE en donde se realizó tres modelos de

prototipo con diferentes estructuras y dimensiones para poder seleccionar la opción que mejor desempeñe la función destinada a cumplir, además se realizó un análisis de optimización de recursos en cuanto al diseño del mecanismo porta-hormas, permitiendo aprovechar al máximo el espacio disponible dentro de área de trabajo circular, generando una capacidad para 16 zapatos acoplados a un contorno adaptable para todas las tallas de calzado producido y termina con el análisis estático para verificar que el diseño cumpla con los criterios de seguridad pertinentes.

En la tercera etapa se analizaron, compararon y dimensionaron diferentes conceptos, elementos eléctricos y electrónicos, actuadores y sensores industriales (motor, termocuplas, controladores de temperatura, resistencias eléctricas, contactores, temporizadores) seleccionando los más adecuados para la automatización del proceso. Con la finalidad de controlar eficazmente tanto la variable de tiempo para el secado y reactivado, como también la temperatura necesaria para la etapa de reactivado del adhesivo a base de poliuretano, claramente considerando los distintos tipos de material que sean cargados al sistema.

En la cuarta etapa ya con los materiales filtrados y evaluados se inició con la adquisición y construcción del sistema, estableciendo las cualidades del material a manufacturar, se procedió con el corte en plasma de las planchas de acero negro, formado, suelda y pintura de las partes que integran la estructura mecánica. En este punto se ensamblaron los sistemas rotativos porta-hormas y porta-suelas, el eje central que permitirá el movimiento de las piezas del calzado durante la etapa de reactivación. Ya con la estructura mecánica consolidada se incorporaron los dispositivos eléctricos, electrónicos y de mando para formar la secuencia de control adecuada y en cumplimiento a la etapa de secado y reactivado. También se diseñó un tablero de control para distribuir la conexión del diagrama eléctrico validado por las simulaciones de funcionalidad en el software Cade SIMU.

La quinta etapa contempla la implementación de la red IoT la cual asiste con el monitoreo en tiempo real del ciclo de producción en función a la cantidad de calzado fabricado, así como también el monitoreo de la temperatura dentro de las cámaras del horno, esto fue programado con la placa de sistema embebido basado en microcontroladores ESP8266, la integración del Bluetooth y Wifi brindaron una correcta comunicación entre los sensores del sistema con la plataforma Arduino IoT Cloud que por medio de una cuenta registrada se puede ir supervisando el proceso a través de una PC o un dispositivo móvil.

Finalmente, en la última etapa de pruebas y validación de la hipótesis se procedió con la calibración de los tiempos óptimos para el secado y reactivado, también se configuraron los pirómetros con un control proporcional y se determinó a su vez la temperatura necesaria para el reactivado según el tipo de adhesivo utilizado por la empresa para confeccionar su producto. Una vez obtenido los resultados de estas pruebas se validó la hipótesis con el fin de constatar que la maquinaria cumple con los requerimientos solicitados por la empresa Ciara.

Justificación e importancia

Actualmente existen máquinas diseñadas para el apoyo de la producción en la industria del calzado hacia diferentes etapas del proceso como lo es el Horno Secador-Reactivador para adhesivo en suelas y cuerpo de calzado, este tipo de maquinaria conlleva altos costos para la sociedad ecuatoriana haciendo que los dueños de pequeñas y medianas empresas no puedan invertir en ellas, ya que por motivos de la pandemia del COVID-19 la producción decayó y consigo el bienestar económico de las mismas.

La justificación del presente proyecto está encaminada al diseño e implementación de una máquina automática de secado y reactivado de suelas y capellada de calzado, la cual es de vital importancia en estos momentos para la empresa CIARA considerando la paulatina reactivación del mercado nacional, y la elevación del índice de producción cantonal en el sector

del calzado, este proyecto de tesis otorgará varios beneficios que conlleva la automatización de procesos dentro de una empresa, tales como el continuo flujo de la línea de producción, la disminución en la pérdida de recursos y tiempos muertos, la optimización del desempeño de los trabajadores y el aseguramiento de la integridad física de los operarios. Además, se puede garantizar la calidad de los productos y el poder mantenerse vigente dentro del mercado nacional e internacional, con una baja inversión por parte de la empresa.

La implementación del sistema IoT permitirá la incorporación de la empresa Ciara hacia la industria 4.0 por ende, introducir múltiples beneficios como son el monitoreo constante del proceso de producción en tiempo real desde cualquier lugar con conexión a Internet.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar, construir e implementar un sistema automático de secado y reactivado de suelas y capellada de calzado mediante la integración de una red IoT, para la optimización y supervisión del ciclo de producción en la empresa Ciara de la ciudad de Ambato.

Objetivos específicos

- Realizar la investigación bibliográfica necesaria para la comprensión del funcionamiento y características técnicas de máquinas similares disponibles en el mercado y sobre el manejo de la tecnología IoT.
- Realizar mediante software CAD/CAE el diseño y análisis del modelo mecánico para la máquina de secado y reactivado de calzado.
- Automatizar el sistema de secado y reactivado de calzado mediante la implementación de sensores, actuadores y controladores.
- Adquirir los materiales adecuados para la construcción del sistema automático de secado y reactivado de calzado en base al diseño planteado.

- Implementar el sistema automático de secado y reactivado de calzado.
- Implementar el sistema de gestión de datos para la supervisión del ciclo de producción mediante el uso de IoT.
- Realizar las pruebas pertinentes de funcionamiento para una correcta validación del sistema de acuerdo a las necesidades de la Empresa Ciara.

Hipótesis

¿El diseño, construcción e implementación de un sistema automático de secado y reactivado de suelas y capellada de calzado mediante la integración de una red IoT permitirá optimizar y supervisar el ciclo de producción en la empresa Ciara?

Capítulo II: Fundamentación teórica

La Industria 4.0

Día a día se puede observar en nuestro alrededor como la tecnología va abarcando nuevos campos pues ella cubre necesidades que los clientes van exigiendo más estrictamente, creando así nuevos productos y proyectos los mismos que tienen estructuras desafiantes y cada uno de estos proyectos son únicos. Estos productos tienen la finalidad de mejorar los procesos manuales que hay dentro de las industrias (Inmótica) o en los hogares (Domótica), pues la tecnología ha progresado para bien en los últimos años, es por ello que hoy día abarca varias especialidades mediante métodos y procedimientos que vinculan conocimientos y experiencia de diferentes disciplinas como lo son la electricidad, comunicaciones, mecánica, software y electrónica.

En la actualidad dentro de la industria, la automatización influye en varios sectores pues esta ayuda de una manera segura en la operación de los procesos evitando su estancamiento, optimizando tiempo, energía y recursos. Además, existen otros beneficios como son la mejora de los ciclos de producción y el aseguramiento de la calidad.

Cada era trae consigo nuevas formas de producción innovadoras y van reemplazando a las ya existentes. En la primera revolución industrial se habla de procesos mecanizados en donde era común el uso de maquinaria que utilizaba fuentes de vapor, hidráulica y mecánica con el paso del tiempo y la evolución de cultura y tecnología abrió paso a la segunda revolución industrial en donde aparece la electricidad trayendo consigo cambios en las industrias, como la producción en masa y cadenas de montaje, con el paso de los años llega la tercera revolución industrial; la era de la informática la misma que automatiza los procesos y la comunicación industrial.

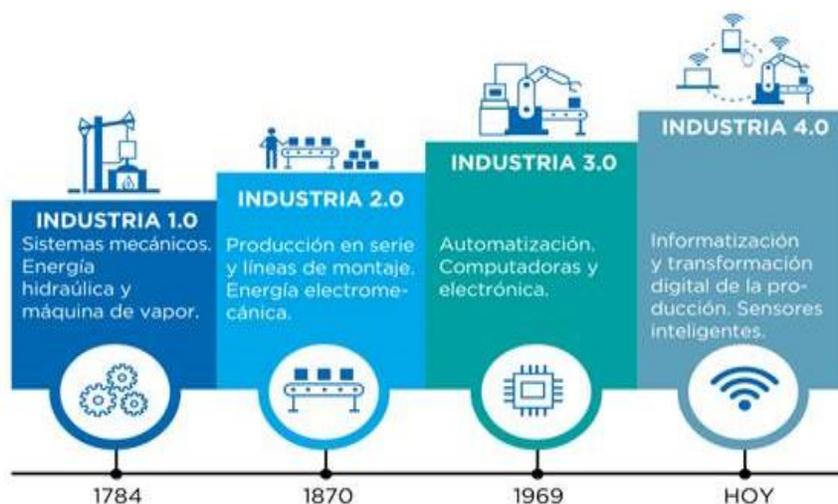
Hoy en día se puede hablar de una cuarta revolución industrial conocida como la Industria 4.0 que contempla una transformación digital en donde los procesos sufren cambios significativos. Con ayuda de la tecnología digital se replantean las operaciones y procesos industriales para ser más competitivos, en la Figura 1 se muestra una línea de tiempo en donde se puede analizar el periodo temporal en que se dio cada una de las revoluciones industriales y las características que tuvieron cada una de ellas. Además, Rodríguez Pérez et al. (2020) afirma que existen cinco puntos clave que deben ser considerados por los países para alcanzar la cuarta Revolución Industrial, estos puntos son:

- Innovación dentro de las empresas para adoptar nuevas tecnologías y mejorar los procesos de producción.
- El capital humano debe ser educado y flexible, que tenga conocimientos especializados con el fin de incrementar la productividad, además de que existan instituciones que faciliten el aprendizaje y la inserción de personas con el perfil adecuado al mundo laboral.
- La economía global y el comercio se ven beneficiados con la creación de fuentes de empleo, también con la revolución industrial se ha logrado el intercambio de conocimientos entre países.
- Se busca que la producción respete el medio ambiente esto a favor del cuidado de la naturaleza, es por ello que trata de optimizar el uso de recursos naturales y garantizar la sostenibilidad ambiental.
- Análisis y buena orientación para fomentar así la adopción de que la tecnología no es un impedimento para el desarrollo.

Las transformaciones sociales, culturales y económicas están ligadas directamente con el avance tecnológico dando como resultado las revoluciones industriales ya que en cada era han existido movimientos e ideologías radicales. (pág.10)

Figura 1

Línea de tiempo - Revoluciones industriales a través de la historia



Nota. Representación de las revoluciones industriales a lo largo de la historia. Tomado de *Ideas y conceptos básicos para la comprensión de las industrias 4.0.*, por Rodríguez Pérez et al. (2020, pág. 11), Revista de Universidad y Sociedad vol.12 no.4

La industria 4.0 tiene componentes muy importantes y fundamentales los cuales son:

Sistemas ciberfísicos (CPS)

Según Ynzunza Cortés et al. (2017) al hablar de la industria 4.0 una de las referencias que se hace es a los sistemas ciberfísicos que están presentes en fábricas inteligentes y los mismos son capaces de monitorear y controlar procesos físicos. Estos sistemas pueden interactuar con humanos haciendo conexiones entre el mundo real y virtual gracias al internet de los servicios y fábrica inteligente.

Internet de las cosas (IOT)

Al habla de IoT implica mencionar la creación de redes de trabajo las cuales permitirán la interacción remota en cualquier lugar y tiempo de objetos y personas, además que se pueda

incorporar radiofrecuencia, elementos de primera línea que permitan conocer los cambios que ocurren en los sistemas como sensores y dispositivos que puedan servir para la verificación de información como teléfonos móviles, todo esto se lo realizará con el fin de que los dispositivos y sistemas interactúen y cooperen entre si unos con otros a través de esquemas de direccionamiento. (Ynzunza Cortés y otros, 2017).

El internet de las cosas en sí, trata de incorporar varios dispositivos y equipos para el monitoreo y control en una sola red, el fin es facilitar el rendimiento de procesos en cualquier parte del mundo que tenga conexión a Internet.

Internet de los servicios (IoS)

Según Ynzunza Cortés et al. (2017) el internet de los servicios es una infraestructura que sirve para acceder mediante Internet a la distribución de actividades de valor agregado, servicios y modelos de negocios, integrándose a las actividades de las personas en su vida cotidiana, es por ello que los dispositivos para este servicio aprenden automáticamente los hábitos y así pueden prevenir y adelantarse a las necesidades de los usuarios.

En sí, la industria 4.0 son nuevas tecnologías innovadoras que están poco a poco incorporándose en empresas y estas representan un gran cambio para las mismas como:

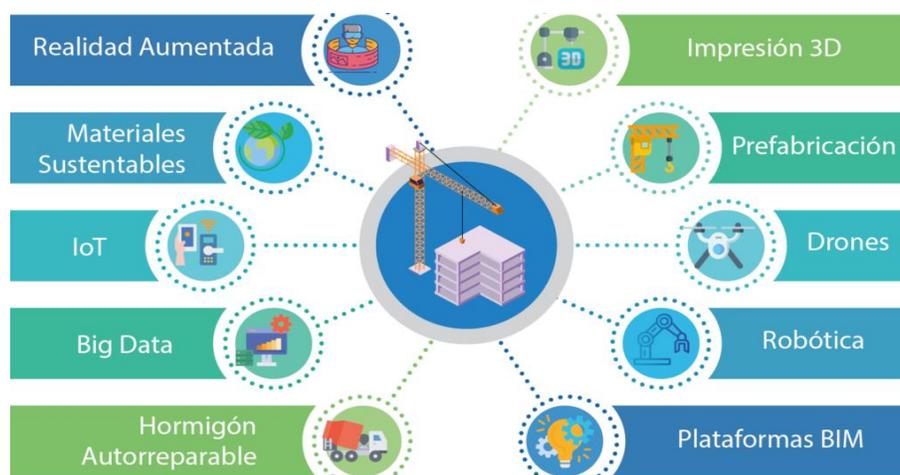
- Infraestructura e instalaciones digitalizadas e interconectadas totalmente en diversas áreas y aplicaciones.
- Manufactura flexible, autónoma y sustentable.
- Robots que asisten e interactúan con humanos.
- Productos inteligentes, amigables con el ambiente y encargados de la información.
- Análisis de datos manejados en tiempo real.
- Innovación y valor agregado de los productos o servicios.

La tecnología y la industria del calzado

Anteriormente se mencionó como el avance de la tecnología ha traído consigo la cuarta revolución industrial, la misma que ha tenido grandes impactos a nivel industrial mejor conocida como la digitalización de la industria, las empresas visionarias tienen la ideología de que para ser competitivas e incrementar su potencialidad deben incorporar tecnologías innovadoras a sus procesos de producción. Algunas de estas tecnologías innovadoras se muestran en la Figura 2.

Figura 2

Tecnologías innovadoras que cambian el modelo de producción de las industrias



Nota. La figura muestra innovaciones que están presentes en los procesos industriales hoy en día. Tomado de *Innovaciones tecnológicas que revolucionan la industria*, por ALPHA HARDIN (2021).

Llanes-Font & Lorenzo-Llanes (2021) afirma que con la ayuda de la tecnología las industrias en los últimos años han ido escalando niveles de superioridad en lo que respecta a eficiencia, producción y calidad. Esta última conocida también como calidad 4.0 y direccionada al cambio y mejora del diseño y desarrollo de productos y servicios.

Sin importar cuál sea el sector en el que se desarrolle las industrias, los procesos de producción son factores claves dentro de ellas en un mundo donde día a día las necesidades del mercado y la competencia cambian constantemente. El saber gestionar la tecnología es un punto clave y determinante para que las organizaciones marquen la diferencia con las demás. Al hablar de la industria del calzado se hace también referencia al bienestar y salud de los clientes, y como no a los procesos de producción ya que en esta área de la industria sin importar el método utilizado el producto final debe satisfacer las necesidades de los clientes, pues estos forman parte de la vida diaria de las personas y es por ello que tienen una gran demanda a nivel mundial. (Arango Alzate y otros, 2015)

La tecnología busca establecer un modelo de fabricación inteligente modernizando los procesos artesanales de producción en el área del calzado. En otros países la maquinaria permite utilizar los datos en tiempo real otorgando la toma de decisiones correctas, obtener respuestas oportunas, confiables y atender las necesidades de producción del mercado. En Ecuador la industria del calzado ha tenido fuertes obstáculos en los últimos años pues la contingencia sanitaria que se atravesó por motivos del Covid-19 trajo consigo impactos muy graves para la economía del país y es por ello que las tecnologías inteligentes serán fundamentales para la reactivación de esta área de producción. (Álvarez Castañón & Orlando, 2016)

Materiales para la industria del calzado

Las empresas dedicadas a la fabricación de calzado utilizan diferentes tipos de materiales para su producción según Mayorga Abril et al. (2015) la materia prima dentro de los talleres es procesada con diferentes herramientas las cuales permiten dar forma de acuerdo a un modelo y tallas estandarizadas de calzado, la materia prima también debe ser seleccionada para que de esa manera se garantice un estándar alto de calidad.

Dentro de la industria del calzado es utilizado el término de capellada que hace referencia al cuerpo del calzado sin tomar en cuenta la suela, es decir, la capellada son todas las partes del material cortado según moldes y unidas para formar la parte superior del zapato.

Material de producción para capelladas

En la producción de calzado el tipo de material utilizado varía según la aplicación y utilización del mismo, según Martín Loreto (2021) argumenta que cada material utilizado en la confección de zapatos debe tener las características adecuadas pues no es lo mismo unos zapatos deportivos que unos formales.

En las grandes empresas productoras de zapatos utilizan materiales muy diferentes para su elaboración, pero el más utilizado y conocido es el cuero, a continuación, se muestran algunos materiales presentes en la elaboración de zapatos, sus características y variadas aplicaciones.

Tabla 1

Tipos de materiales para la confección de zapatos

Material	Características	Aplicaciones
Tela	La tela es muy utilizada para la confección de calzado pues esta es fácil de limpiar, teñir también ofrece múltiples diseños en cuanto a color y textura además que es muy cómoda.	Por lo general la tela se usa para confeccionar calzado casual como es el caso de la lona, también hay telas suaves ideales para zapatos de bebe, otro tipo de tela que es utilizado para adornos como el satén y el algodón.
Nailon y poliéster	Este material es de origen sintético además es ligero y airado es decir que permite una adecuada respiración de la piel.	Es utilizado en calzado de deportistas y también para cubrir el exterior de un zapato deportivo.

Material	Características	Aplicaciones
Cuero	El cuero es utilizado por su comodidad y durabilidad presenta una porosidad y absorbe el agua fácilmente, es obtenido al curtir la piel de algunos animales de granja como vacas, también se puede obtener de cocodrilos, serpientes, etc.	Se utiliza en la confección de zapatos formales para hombre y para mujer como tacones, botas, también se usa para confeccionar zapatos industriales, aunque hoy en día también es usado para calzado casual.
Gore-Tex	Este tipo de material no solo es utilizado para calzado sino también para la confección de ropa pues ofrece algunos beneficios para su uso como es la impermeabilidad, y capacidad para transpirar.	Es utilizado es zapatos para actividades al aire libre y de montaña.

Nota. En la tabla se muestra algunos tipos de materiales utilizados en la confección de calzado, así como sus características y aplicaciones. Tomado de *Materiales más usados en la elaboración de calzado*, por Martín Loreto (2021).

Materiales utilizados como forros para calzado

Además del material utilizado para la confección de las capelladas también se emplean materiales para el forro de los zapatos, con el fin de revestir las capelladas también deben tener propiedades que ofrezcan confort y que ayuden a garantizar la calidad del calzado y no afecten la salud de las personas. SERMA (2018) afirma que los forros son utilizados para “dar un buen acabado al producto, reforzar el corte, absorber humedad, brindar confort -por suavidad, flexibilidad y espesor- y proporcionar protección”. Por otro lado, los materiales usados en los forros son elegidos de acuerdo a su origen, datos técnicos y características estéticas de cada modelo de zapatos que se está confeccionando, en la Tabla 2 se puede ver algunos tipos de materiales que se pueden utilizar.

Tabla 2

Materiales utilizados para forros en la producción de calzado

Material	Características	
Cueros	Si se aplica el cuero en los forros de calzado este debe tener un buen grado de porosidad y acabado para así asegurar que la transpiración se absorba y se evapore. Su origen comúnmente es de animales como vacas, ovejas y cerdos.	
Laminados Sintéticos	Son elaborados a partir de polímeros compactos o expandidos, en forma de lámina, con sin sustrato ofreciendo así distintos niveles de flexibilidad. Este material presenta una resistencia a la tracción, elasticidad y rasgado, dependiendo del sustrato utilizado.	
Textiles	TEJIDOS	NO-TEJIDOS
	Es un producto el cual tiene hilos perpendiculares entrelazados entre sí que puede ser manufacturado, natural o sintético, posee una estructura plana y flexible, aunque esto depende también las fibras utilizadas para la producción del este material.	También presenta una estructura plana y flexible pero este material también es poroso, tiene un alto índice de absorción de humedad, es fácil de teñir y no se arruga fácilmente, está formado por mantas de fibras o filamentos de diversos tamaños solidificados por procesos mecánico, térmicos, químicos o la combinación de los mismos.
Materiales pegados o bondeados	Está formado por dos o más materiales diferentes unidos por termofusión de uno de estos materiales o unidos con adhesivos. Las características de estos materiales es que presentan una buena porosidad, absorben la humedad además que son cómodos y ayudan a reforzar los cortes del calzado.	

Nota. Especificaciones de los materiales para capelladas. Tomado de *Materiales para forros de calzados* por SERMA (2018).

Material de producción para suelas

Las suelas son la parte del calzado que está en contacto con el suelo, estas son elaboradas en diferentes materiales los cuales son muy resistentes, puesto que sirven para

cuidar la integridad física de los pies de una persona además que estas son elaboradas en diferentes formas dependiendo el modelo del zapato, así como también los colores dependen de los gustos; otra característica que posee una suela es que permite que las personas caminen y no se resbalen pues al igual que los neumáticos las suelas poseen un labrado que al caminar ayuda que las personas tengan una buena tracción.

Algunos de los materiales utilizados para la producción de suelas dependen del tipo de calzado y su aplicación, pues unos zapatos que son utilizados para trabajos en un taller de mecánica deben ser más fuertes y resistentes que en relación a unas zapatillas de ballet las cuales son suaves y flexibles. A continuación, en la Tabla 3 se detalla algunos materiales utilizados en la producción de suelas para calzado.

Tabla 3

Materiales utilizados para la producción de suelas

Material	Características	Identificación
TR – Goma Termoplástica	Material antideslizante, flexible y deformable mediante calor. Se rasga al contacto de solventes como acetona y etil acetato. Compuesto por un copolímero formado por bloques de estireno y butadieno (SBS) que le da las características de goma vulcanizada con la facilidad de transformación de los termoplásticos. Material fácil de procesar y se comportan como un SBR vulcanizado en temperatura ambiente.	Cuando es quemado su llama es amarilla y emana un tipo de olor dulce de goma o caucho.
PU - Poliuretanos	Material similar al PVC, antideslizante y opaco. Ofrece varios tipos de densidades y durezas que varían de acuerdo con su formulación y modificadores de propiedades.	Se ablanda y se quiebra bajo la acción del tetrahidro-furano, compuesto orgánico, con olor similar al éter.

Material	Características	Identificación
PVC - Policloruro de Vinilo	El polivinilacetato es un material brillante y deslizante. Dependiendo de su formulación y aditivos puede ser rígido o flexible, brinda una buena resistencia a la mayoría de los reactivos químicos. Excelente aislamiento térmico, eléctrico y acústico, posee alta durabilidad y resistencia.	Se ablanda y se quiebra bajo la acción del tetrahidro-furano.
Eva Expandido (Etilvinilacetato)	Es un compuesto sintético liviano, tiene un aspecto de esponja flexible. Baja resistencia a la abrasión. Admite pigmentación de varios colores.	Cuando se expone a la llama, libera olor semejante a la parafina (vela) quemada. Continúa quemando aun cuando es retirado de la llama.
Eva Inyectado (Etilvinilacetato)	Material liviano que admite pigmentación de varios colores. Es parecido al TR, pero no presenta características de goma o caucho.	La llama que genera este material emana un olor ácido semejante al vinagre.
TPU - Poliuretano termoplástico	Material de la familia de los poliuretanos expandidos, posee características diferentes y específicas. Confiere alta resistencia al rasgado y fatiga por flexión. Reproduce el molde con perfección, tiene excelente acabado y buena resistencia a los aceites y combustibles. Es resistente a la hidrólisis, de fácil procesamiento y cuenta con buenas propiedades de adhesión.	Cuando se quema muestra una llama amarilla y cuando se funde gotea.
SBR - Goma vulcanizada	Puede ser compacta (Neolite) o expandida (Porolite), crepe sintética, laqueada o aterciopelada. No sufre el ataque de los solventes. Presenta muy buena resistencia a la abrasión, pero baja resistencia al envejecimiento térmico, así como al medio ambiente y a los productos químicos.	Si se expone hacia una llama, luego de retirado se sigue quemando. La llama es amarilla con hollín y tiene olor semejante a goma quemada.

Material	Características	Identificación
ABS - Acrilonitrilo butadieno estireno	Material rígido, frecuentemente de color crema, que sufre el ataque de solventes. Presenta excelentes propiedades de resistencia al impacto, estabilidad térmica y química, además de buen procesamiento.	Se utiliza en la elaboración de tacos y tacones.
Acrílico	Material rígido y transparente que cuenta con mejor resistencia a los solventes que el polipropileno.	
Policarbonato	Material rígido y de baja cristalinidad, por eso se presenta transparente e incoloro. Posee alta resistencia al impacto, estabilidad dimensional, buenas propiedades eléctricas y buena resistencia.	Sufre ataque de solventes, como la acetona.
Polipropileno	Material duro y brillante que, por su rigidez, flota en el agua. Muy utilizado en las plataformas, presenta buena resistencia y estabilidad térmica.	No sufre ataques de la mayoría de los agentes químicos orgánicos y solventes.
Nylon - Poliamida	Material duro, brillante y difícil de quemar. Tiene alto desempeño y mínima absorción de humedad. Resiste altas temperaturas y ofrece superior resistencia química y tenacidad.	A pesar de la dificultad para quemarlo, cuando se enciende emana olor semejante a lana o cabello quemado.

Nota. La tabla exhibe las características que presentan los diversos materiales de suelas.

Tomado de *Principales materiales para fabricación de suelas*, por SERMA (2018)

Medidas de calzado

Toda persona utiliza calzado y es por ello que este producto es altamente demandado a nivel mundial, su elección varía de acuerdo a los gustos, el modelo y el uso que se le va a dar, pero también el calzado es confeccionado acorde a medidas o tallas establecidas según los estándares sociales de cada región y estas van a variar según el género, edad, y la forma del

pie. La empresa ecuatoriana Marathon Sports dispone de una guía de las tallas que se comercializan mundialmente, tal como se indica a continuación.

Figura 3

Medidas de pies y tallas

MEDIDA TALÓN – PUNTA DEL DEDO	ECUADOR	USA	EUROPA
24 cm	37.5	6	38.5
24.5 cm	38	6.5	39
25 cm	39	7	40
25.5 cm	39.5	7.5	40.5
26 cm	40	8	41
26.5 cm	41	8.5	42
27 cm	41.5	9	42.5
27.5 cm	42	9.5	43
28 cm	43	10	44
28.5 cm	43.5	10.5	44.5
29 cm	44	11	45
29.5 cm	44.5	11.5	45.5
30 cm	45	12	46
30.5 cm	46	12.5	47
31 cm	46.5	13	47.5
31.5 cm	47	13.5	48
32 cm	47.5	14	48.5
32.5 cm	48	14.5	49
33 cm	48.5	15	49.5
33.5 cm	49	15.5	50
34 cm	49.5	16	50.5
34.5 cm	50	16.5	51
35 cm	50.5	17	51.5
35.5 cm	51	17.5	52
36 cm	51.5	18	52.5
37 cm	52.5	19	53.5
38 cm	53.5	20	54.5
39 cm	54.5	21	55.5
40 cm	55.5	22	56.

Nota. En la figura se puede observar las medidas de los pies interpretadas en tallas tanto para Ecuador, Estados Unidos y Europa. Tomado de *GUIA DE TALLAS*, por MARATHON (s.f.).

Proceso de producción de calzado

El proceso de producción de calzado es muy variado y diferente, según Moreno Remache & Taco Lascano (2009) no hay una descripción exacta de los tipos de producción de calzado esto depende de cada taller y artesano, por ello es que no existe una forma de producción estándar, pues cada uno ha elaborado su propia forma de producción de acuerdo al modelo y tipo de calzado, estos pasos de elaboración de calzado pueden ser simples o complejos dependiendo de la cantidad de pasos que conlleva el proceso de producción, por tanto esta industria tiene gran importancia dentro del mercado ya que gracias a ella se genera una gran cantidad de empleo, puesto que los zapatos son productos de consumo popular y a su vez satisfacen una necesidad básica de la población.

De una forma general, se analizó el proceso de producción de la empresa Ciara, a continuación, se detalla una breve descripción del mismo, el proceso se ha clasificado en dos etapas, estas son:

- Preparación del material: En esta etapa ocurren tres primeros pasos, los cuales se definen como primarios y fundamentales al momento de realizar el calzado, entre ellos están:
 - Diseño preliminar del calzado.
 - Adquisición de los materiales necesarios.
 - Preliminares de la plantilla de armado.
- Línea de producción: En la línea de producción ya se incluyen pasos que van directamente relacionados a forma, armado y empaquetado de calzado como son:
 - Troquelar punteras y contrafuertes para iniciar la fabricación.
 - Modelado: Los materiales se cortan en forma de segmentos, el tamaño y forma dependen del molde de corte.

- Unión y aparado de la capellada del zapato.
- Colocación de punteras, contrafuertes y empastado.
- Colocación de la plantilla de armado en horma.
- Colocación de la capellada en horma.
- Cardado de corte en horma.
- Preparación de suelas o plantas.
- Etapa de Secado y Reactivado del adhesivo.
- Prensado manual por parte del operario.
- Prensado en máquina industrial.
- Ingreso al horno enfriador para cristalizar los pegantes a -21°C .
- Reposo de hormas en estantes a temperatura ambiente.
- Separación de la capellada del zapato y de la horma.
- Colocación de la plantilla final.
- Limpieza del calzado.
- Empacado.
- Distribución y comercialización.

Aunque hoy en día hay talleres y personas que realizan calzado de manera artesanal también existen empresas grandes las cuales tienen en su línea de producción maquinaria especializada algunas de ellas automatizadas y operadas por fuerza motriz que ofrece la función de modelar, ensamblar y ejecutar el trabajo en el manejo del material. Estas máquinas son costosas y este gasto es justificado con la vasta producción que realiza la empresa, recuperando la inversión con el paso de los años. (DIAZ ROJAS & ASQUEZ MINAYA, 2019)

Hornos reactivadores

En la producción de calzado de forma artesanal existe una etapa de secado y reactivado del adhesivo en donde la suela y la capellada son sometidas a un proceso como el nombre lo indica secado para luego pasar a una zona donde la energía eléctrica es transformada en energía calorífica obteniendo una temperatura adecuada al material con el cual se está elaborando el calzado, reactivando la pega o el adhesivo para su armado definitivo. (Chisaguano Rodríguez, 2017)

Entonces dichos hornos cumplen un papel muy importante en la industria del calzado es por ello que las temperaturas, tiempo y dimensiones de las máquinas deben adaptarse al tipo de calzado que se está fabricando garantizando así un producto de primera calidad. Al trabajar con diferentes estilos de calzado cada uno lleva un tipo de material ya sea en la suela o capellada, por tanto, es necesario que las máquinas secadoras y reactivadoras cuenten con características y estructura adecuada para no dañar la producción ya que dependiendo de los distintos modelos de zapatos se modificarán las variables que intervienen en el sistema con el propósito de optimizar tiempos de producción y tener un control eficiente de la reactivación de los adhesivos del calzado.

Al hablar de los hornos reactivadores se puede decir que existen muchas formas para generar temperatura, entre las fuentes de calor más conocidas se hallan: resistencias, luz fluorescente y una nueva tecnología que utiliza luz infrarroja, estas deben trabajar dependiendo también de las características del adhesivo que se está utilizando, aunque hay algunos casos en donde se presenta algunos defectos porque la fuente de calor no es la adecuada haciendo que el calentamiento sea más lento. Es preciso mencionar que si la estructura del horno tiene una mala condición y no es la apropiada puede existir pérdidas de calor y con ello los tiempos de reactivación van a ser más grandes.

Dentro de los talleres artesanales de calzado muchas veces se puede ver que algunos aspectos como la estructura, eficiencia energética, seguridad y calidad pueden ser obsoletos o deficientes haciendo que el proceso de reactivación de calzado no sea el adecuado o no se apliquen las técnicas correctas, provocando que el producto no cumpla con los estándares de calidad, además que se dé una pérdida de recursos materiales y económicos que afectarían a la empresa. Según Caisaguano Vega (2019) afirma que “Así se produce una brecha entre los productores de calzado: el artesanal, las fábricas medianamente con tecnología moderna y las altamente modernizadas siendo este último el de menor porcentaje” (pág. 29).

También menciona Caisaguano Vega (2019) que en los talleres artesanales todavía se utilizan equipos y herramientas rudimentarias, pero existen fábricas que ya han incorporado a su línea de producción maquinaria automatizada en mayor cantidad para el proceso de aparado produciendo calzado de mejor calidad, pero para el manejo de esta maquinaria aún hace falta la presencia del hombre que debe operar e inspeccionar el rendimiento del mismo así como también ver que todo el proceso de producción se desarrolle adecuadamente (págs. 29-31). A continuación, se detalla uno de los sistemas secadores – reactivadores de calzado que es muy conocido a nivel mundial.

Secador y reactivador NIR modelo. 742

Figura 4

Secador y reactivador del Grupo SAZI modelo. 742



Nota. Maquinaria enfocada en el secado y reactivación del calzado. Tomado de (GRUPO SAZI, 2022)

La empresa brasileña, ubicada en Rio Grande do Sul, exporta su maquinaria para la industria del calzado a varios países del mundo, conectando personas y culturas a través de la innovación y la tecnología. Una de ellas es la máquina Secador y Reactivador NIR Modelo. 742 que se visualiza en la Figura 4.

Este tipo de máquina posee un sistema de control híbrido de ventilación forzada y PWM (Pulse Width Modulation) procesado vía PLC que modula la potencia de las lámparas para un mayor uso, un sensor de presencia que garantiza que las lámparas NIR (Near Infrared) solo funcionen con presencia de zapatos, eliminando la pérdida de energía, además cuenta con sensores de temperatura infrarrojos que ajustan automáticamente la potencia de la máquina y controlan instantáneamente la temperatura a pie, según lo informado por la HMI. (PROMAOSA Promotora de Maquinaria S.A, 2021)

Características Técnicas

- Consumo eléctrico medio 4400 W
- Potencia eléctrica instalada 30220 W
- Rango de temperatura de trabajo hasta 300 ° C
- Peso neto 485 kilogramos
- Peso bruto 556 kilogramos
- Dimensiones de la máquina: 955 x 2787 x h1504 mm
- Dimensiones de la caja: 1000 x 3000 x h1730 mm

Adhesivos para el calzado

Para el reactivado del calzado se utilizan diferentes tipos de adhesivos y según QUI-PA (2009) se debe considerar algunos factores para el pegado.

Materiales para pegar

Dentro de la elaboración del calzado se combinan materiales de diferentes características y propiedades, es por ello que en el mercado se puede encontrar una variedad de adhesivos los cuales se recomiendan ser utilizados dependiendo del material tanto de suelas como de capelladas, la Figura 5 presenta una clasificación entre los elementos de fabricación más comunes con los tipos de adhesivo.

Figura 5

Tipos de adhesivos y de materiales para calzado

Capellada → ----- ↓ Suela ↓	CUERO	PVC	URETANO	TELA	NYLON
CUERO	Neoprene + R o (PVC)	PVC / PU	PVC / PU	Neoprene + R o (PVC)	PVC + R
URETANO	PVC / PU	PVC / PU	PVC / PU	PVC / PU	PVC + R
PVC	PVC / PU	PVC / PU	PVC / PU	PVC / PU	PVC + R
CREPE Caucho Natural	Neoprene + R o (PVC + A)	PVC + A	PVC + A + R	Neoprene + R o (PVC + A + R)	PVC + A + R
GOMAS	Neoprene + R o (PVC + A)	PVC + A	PVC + A + R	Neoprene + R o (PVC + A + R)	PVC + A + R
CAUCHO TR	PVC o (Neoprene)	PVC + A	PVC + A	PVC + A o (Neoprene)	PVC + A + R
EVA	PVC o (Neoprene)	PVC	PVC	Neoprene o (PVC)	PVC + A + R
NYLON	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC + A + R

Nota. Esta tabla muestra los diversos tipos de adhesivos utilizados en la confección de calzado, así como también una segunda alternativa a utilizar dependiendo del tipo de material entre paréntesis, otra especificación que se puede observar en la tabla es +R que indica el uso de reticulante y +A el uso de Halogenación previa. Tomado de *El pegado en el calzado*, por QUI-PA (2009).

Requerimientos para la unión

Con el tipo de adhesivo seleccionado el próximo paso que ayudará en la selección es tener en cuenta algunas características y requerimientos al momento de realizar el pegado, condiciones del uso del zapato y los materiales utilizados, pues dependiendo de estas

condiciones se analizará si es necesario el uso de reticulantes durante este proceso. Estos requerimientos según QUI-PA (2009) son “la resistencia de la unión a la tracción, al pelado, a la temperatura, a la humedad, etc., y a veces otras como simplicidad, economía, color, velocidad, etc.”

Tratamiento de superficies

En la fabricación de calzado la mayor parte de los materiales utilizados normalmente deben tener algún tipo de tratamiento antes del proceso de aplicación del adhesivo previo al pegado, este paso juega un papel muy importante y también es necesario tenerlo en cuenta para la selección del adhesivo, aunque también existen materiales que no necesitan un tratamiento previo como lo indica la Figura 6.

Figura 6

Tratamiento de superficies según el material

	MATERIAL	RECOMENDACION
CAPELLADA	CUERO	Raspado
	PVC	Sin tratamiento / Lavado con solv. Adecuado
	URETANO	Sin tratamiento / Raspado hasta el soporte de fibras
	TELA	Sin tratamiento
SUELAS	NYLON	Imprimación
	CUERO	Raspado e imprimación
	URETANO	Raspado
	PVC	Raspado / Lavado con solv. Adecuado
	CREPE	Imprimación (neo) / Halogenación (pvc)
	GOMAS	Raspado (neo) / Halogenación (pvc)
	GOMAS ya halogenadas	Sin tratamiento (pvc)
	CAUCHO TR	Raspado (neo) / Halogenación (pvc)
	EVA	Raspado / o imprimación
NYLON	Raspado e imprimación	

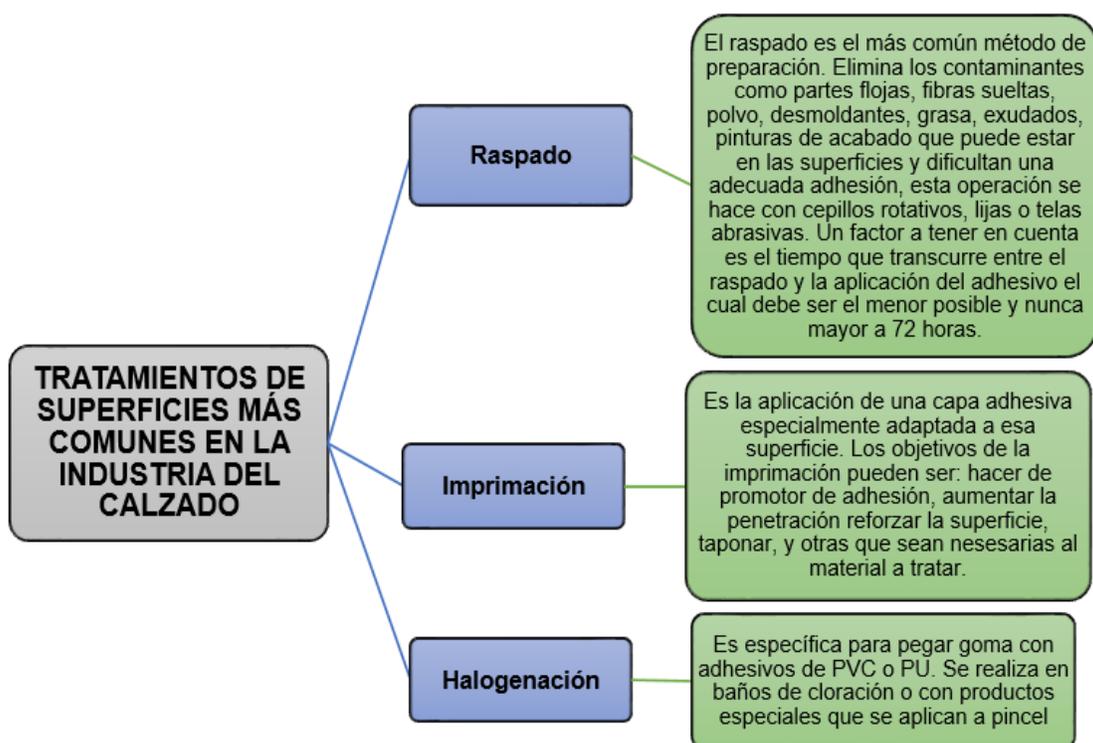
Nota. Se puede observar en la tabla que según el material utilizado para suelas y capelladas será el tratamiento que se le dé a la superficie, así como no puede haber tratamiento, por esto se especifica el tipo de adhesivo (neo para pegado con adhesivo basado en Neoprene y PVC

para pegado con adhesivo basado en PVC o Pu). Tomado de *El pegado en el calzado*, por QUI-PA (2009).

La Figura 6 expone la variedad existente de los diversos tipos de tratamiento que se le da a las superficies, mientras que en la Figura 7 se observa dichos tratamientos un poco más detallados en un cuadro sinóptico.

Figura 7

Tipos de tratamientos de superficies de calzado

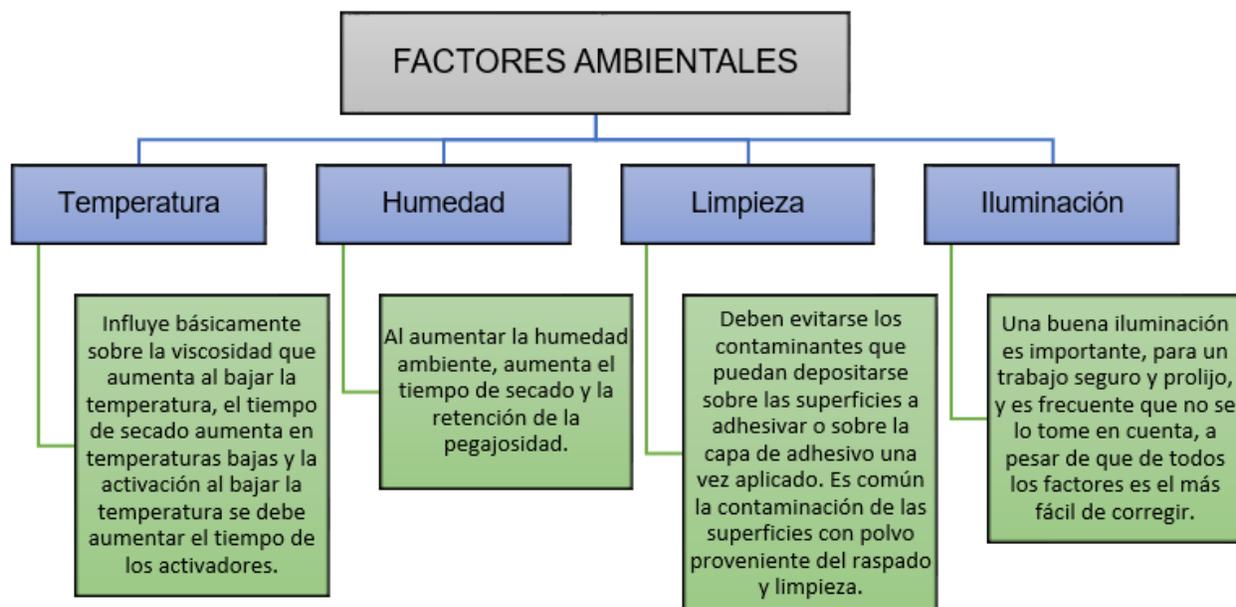


Condiciones ambientales

También se debe considerar las condiciones ambientales que pueden afectar al adhesivo durante el proceso de pegado en las superficies del zapato, en la Figura 8 se puede observar los factores ambientales más importantes que se deben tener en cuenta al momento de la confección.

Figura 8

Condiciones ambientales a tener en cuenta durante el pegado



Proceso de pegado del calzado

Para el pegado de calzado existe un proceso estándar que a continuación se explica detalladamente cada uno de los pasos a seguir.

Aplicación del Adhesivo. Dependiendo del material utilizado en la fabricación del calzado habrá que aplicar diferentes manos de adhesivo, en donde el secado será intermedio e incompleto. La primera capa ayuda a impermeabilizar el material y la segunda permite que la superficie quede adhesiva y activa, en materiales fibrosos y porosos permite mejorar las características de los materiales como la resistencia mecánica y ayuda a ligar las fibras superiores con las inferiores.

El adhesivo debe ser almacenado en lugares templados dado que por temperaturas bajas o por evaporización la viscosidad del adhesivo es excesiva, una forma de solucionarlo es

agregando poco a poco el diluyente junto con el adhesivo. Este al ser aplicado con un pincel se debe tener en cuenta que el tamaño de brocha sea adecuado y estar en buenas condiciones para garantizar que el adhesivo sea puesto en la zona correcta y evitar el desperdicio del mismo.

Secado. El secado del adhesivo se lo puede realizar de dos formas; a temperatura ambiente o por calefacción, esta última permite disminuir los tiempos de secado y evitar problemas por frío y humedad, por esta razón es aconsejable utilizar siempre la segunda opción. Los tiempos de secado también dependen del tipo de pegado pues si el pegado es por contacto este se realiza por lo general una vez secado el adhesivo y el tiempo de secado es de 30 minutos, luego se juntan las partes mientras se mantenga la adherencia del adhesivo, aunque este tiempo puede variar según las condiciones ambientales y el tipo de material a unir. Para el pegado por reactivación se deja secar por completo el adhesivo durante un periodo prologando, si es posible el mayor tiempo que se pueda (40 a 60 minutos), luego de ello se activa el tack del adhesivo por calentamiento.

Reactivación. Este método es muy recomendado, además es más efectivo y confiable debido a que el pegado por contacto puede presentar algunas dificultades para la unión de las partes del calzado. Cuando se emplea este proceso por lo general se debe tener temperaturas entre 55° a 90° dependiendo de los materiales. Una vez reactivado el adhesivo debe ser sacado del equipo y ser unido inmediatamente antes de que transcurran 10 segundos, finalmente entra en la prensadora.

Prensado. Ya reactivados los materiales deben ingresar en una prensa en donde la presión de la misma se aplica distribuidamente sobre toda la superficie por lo menos durante 15 segundos. La Tabla 4 presenta las diferentes presiones que pueden ser aplicadas.

Tabla 4*Presiones aplicadas en el prensado*

Material	Presiones
Suelas rígidas: (plásticos robustos, cueros, madera)	6Kgr/cm ²
Suelas de goma: mayor dureza (de 75 shore A)	4Kgr/cm ²
Suelas de goma: menor dureza (de 75 shore A)	2Kgr/cm ²

Nota. En la tabla se puede ver que, dependiendo de los materiales la presión que se debe aplicar varía. Tomado de *El pegado en el calzado* por QUI-PA (2009).

La presión que se debe ejercer en los materiales es mayor cuando la dureza es más grande porque necesitan adaptarse y entrar en contacto para quedar perfectamente acoplados. En los materiales suaves en cambio no deben aplicarse presiones altas porque se pueden deformar y al recuperarse generar tensiones que van a producir fallas en el pegado.

Adhesivo para EVA

Estos adhesivos tienen características que los diferencian de los otros pegamentos, según SERMA (2021) una de las propiedades del adhesivo a base de poliuretano es que son activados a temperaturas no muy elevadas y de esa manera se evita deformaciones en el calzado, además que en la preparación de los sustratos antes del pegado es necesario desinfectar la superficie con un limpiador especialmente para EVA.

También existe un tratamiento para la aplicación del adhesivo dependiendo de los materiales los cuales se pueden visualizar en la Tabla 5.

Tabla 5

Tratamientos para aplicación del adhesivo según el material

Material	Tratamiento
Capellada (textil)	Primera mano con reticulante y adhesivo poliuretano
Capellada (cuero)	Raspado, primera mano con reticulante y adhesivo poliuretano
Capellada (sintético)	Limpieza y aplicación adhesivo poliuretano

Es necesario mencionar que para lograr el reactivado de este tipo de adhesivos es recomendado utilizar temperaturas entre 55°C a 65°C pues si es mayor la temperatura corre el riesgo de deformar las suelas.

Reactivado

El proceso de reactivado del adhesivo se efectúa una vez que este ha sido aplicado sobre la suela y capellada, ahí es donde primero se efectúa el secado del adhesivo para que empiece a evaporarse y pasar de un estado líquido a formar una capa sólida, brillante y sin tack. Cabezas (2011) dice que el tack (nivel de adhesión) se genera al aplicar una temperatura adecuada a la película del adhesivo que se encuentra sobre suelas y capelladas, este proceso es conocido como reactivación y una vez terminado las superficies pueden ser unidas inmediatamente, además se debe tener en cuenta ciertos factores que no tengan un efecto negativo en la calidad del calzado, los cuales se detallan a continuación:

- No debe existir obstáculo alguno entre la fuente de calor y el adhesivo aplicado en suelas y capelladas, ya que puede interferir con la transmisión de calor y se alargará el proceso de reactivación.
- Se debe tener en cuenta el tiempo de reactivación ya que este dependerá de los materiales utilizados en la elaboración de calzado.

- Durante el proceso de reactivado el calor generado debe aplicarse en su mayoría a la zona donde se encuentra la capa del adhesivo, pues el calor puede afectar las características de los materiales y deteriorar estructuralmente al producto.
- La temperatura de reactivación no debe sobrepasar los 120 grados centígrados según Cabezas (2011) si la temperatura es muy elevada se produce burbujas sobre la capa de adhesivo haciendo que este se descomponga y disminuya su fijación.
- El calor distribuido sobre las superficies tanto de suelas y capelladas debe ser uniforme, esto garantizará que la reactivación ocurra en todo el adhesivo aplicado.

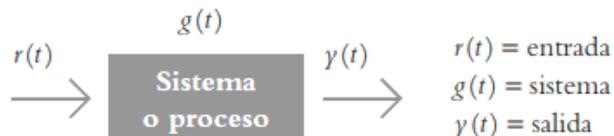
Actualmente la maquinaria para procesos de reactivación existente abarca a todos los diferentes tipos de calzado que se producen, adicionalmente son equipos que trabajan de forma automática o semiautomática, pero en algunos casos esta maquinaria resulta ser costosa para una producción artesanal, en donde la reactivación se la realiza de forma manual, en este caso la etapa de calentamiento dependerá de la experiencia empírica y destreza del operario pues debe estar seguro de cuál es el tiempo adecuado para que el adhesivo este reactivado. Por lo general, para el proceso de reactivado de forma manual se utilizan hornos a gas, con generadores de calor por resistencia eléctrica, estas tienen excelentes resultados y la reactivación se realiza de forma uniforme sobre todo el adhesivo, y en pocos casos emplean lámparas emisoras de luz.

Sistemas de control

Los sistemas de control están definidos como sistemas de regulación automática en el que la salida es comúnmente una variable referente a temperatura, presión, fuerza, velocidad, entre otras. Esta se comporta de acuerdo a las órdenes de la variable de entrada. En otras palabras, el vínculo entre ambas es una relación de causa y efecto con todo el sistema (planta) con el objeto de controlarse a sí mismo. (Gaviño, 2010)

Figura 9

Interacción entre la salida - entrada del sistema



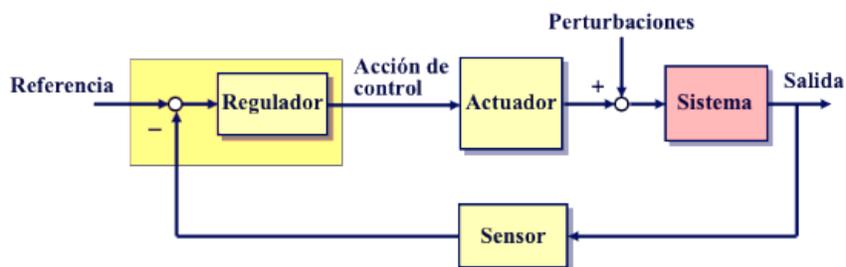
Nota. El gráfico ilustra la entrada $r(t)$ al sistema para conseguir una salida $y(t)$. Tomado de *Introducción a los Sistemas de Control*, por Gaviño, R. (2010)

Sistema de control en lazo cerrado

Este tipo de sistema se caracteriza porque la señal de salida tiene un efecto directo sobre la acción de control. Es decir, se establece una recepción de información en las variables de entrada sobre un valor de control, por ende, es un sistema automático realimentado. La señal de error resultante, es la diferencia entre la señal de entrada y la de realimentación (ya sea la variable de salida o una función de la misma), ingresa al regulador a fin de reducir el error y llevar la salida del sistema al valor deseado, tal como se ilustra en la Figura 10.

Figura 10

Sistema de control en bucle cerrado



Nota. El gráfico ilustra el diagrama de bloques de un sistema de control en lazo cerrado.

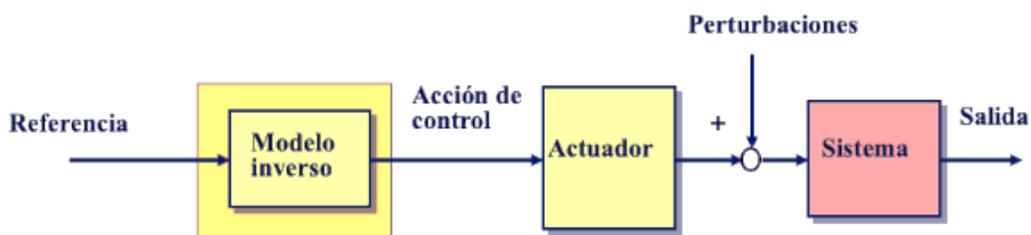
Tomado de (Mandado y otros, 2009)

Sistema de control en lazo abierto

Este tipo de sistema se caracteriza porque la señal de salida no tiene un efecto directo sobre la acción de control. Es decir, no se recepta información acerca del valor final, por ende, no se realimenta para su comparación con la señal de entrada, tal como se representa en la Figura 11.

Figura 11

Sistema de control en bucle abierto



Nota. El gráfico ilustra el diagrama de bloques de un sistema de control en lazo abierto.

Tomado de (Mandado y otros, 2009)

Control proporcional

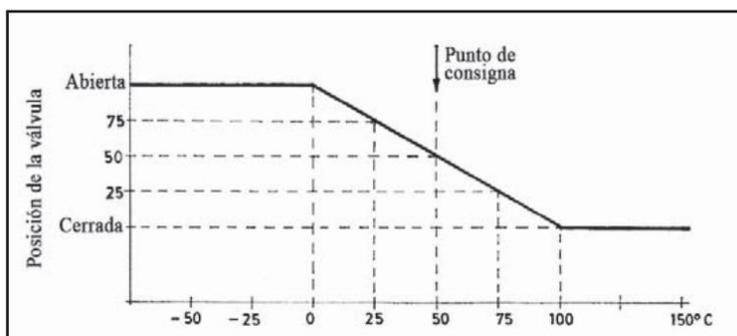
Antonio Creus afirma que en el sistema de control proporcional existe una relación continua entre el valor de consigna de la señal controlada y la posición del elemento final de control. De modo que ejemplificando una válvula (variable controlada) se moverá el mismo valor por cada unidad de desviación. La Figura 12 sintetiza la acción de un control proporcional cuyo punto de consigna es 50 °C y el rango de operación es de 0 a 100 °C. Si la variable controlada está a 0 °C, la válvula se abre totalmente, mientras que a 100 °C se cierra completamente, entre 0 y 100°C la posición de la válvula es proporcional al valor de la variable controlada (a 25 °C se abre un 75%).

El grado de ajuste del controlador proporcional está definido por:

Ganancia. Es la relación entre la variación de la señal de salida del controlador hacia la válvula y la variación de la señal de entrada originaria del elemento primario o transmisor. Por ejemplo, se designa una ganancia de 2 en el controlador de temperatura dispuesto en el proyecto, con la señal de entrada de la termocupla Tipo K (rango de medición 0 a 1000 °C), y generando un aumento de temperatura de 400 °C hasta los 600 °C, equivalente al 20% de la escala de 0 a 1000 °C, la señal de salida cambiaría un 40% ($2 \times 20\%$), en otras palabras, si una válvula está abierta un 60% pasará a un 20%.

Figura 12

Control proporcional



Nota. El gráfico representa la acción del control proporcional en función a la posición de una válvula con respecto a la temperatura. Obtenido de *Instrumentación industrial*, por Creus, A. (pág. 508)

Banda proporcional. Es el porcentaje del campo de medida de la variable que (en el caso anterior se ejemplificó una válvula) necesitaría para realizar un recorrido completo, es decir abrirla desde su posición inicial hasta cerrarla completamente. Esto significa, si una banda proporcional del 50% en el control de las niquelinas de cuarzo con el rango de medición de 0 a 1000 °C, con su punto de consigna en 500 °C, indica que la

temperatura debe variar desde los 250°C hasta los 750 °C para cerrar toda la válvula.

Es la forma inversa de la ganancia, ya que con una ganancia de 2 equivaldría al 50%.

(Creus Solé, 2010)

Sensores y actuadores

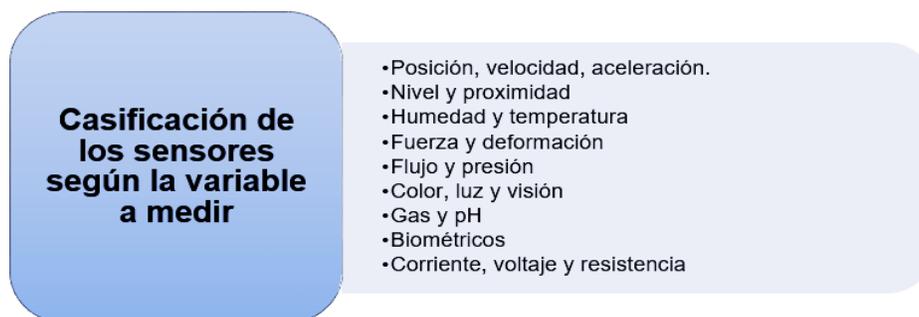
Sensores

Según Wendling (2010) en una automatización de cualquier naturaleza existen elementos que ejercen una acción para que en un ambiente controlado cumpla con la función para la cual está diseñada, estos elementos principalmente son sensores y actuadores. Un sensor es un dispositivo que sirve para medir señales físicas de un entorno y genera una señal traducible la cual debe ser entendida por el sistema de control para establecer una acción, los sensores permiten tener el conocimiento de ciertas señales físicas las cuales por su tamaño o naturaleza no logran ser percibidas por los sentidos (Areny, 2003).

Los sensores pueden clasificarse de diferentes formas, pero las más comunes son por el tipo de variable a medir mostrado en la Figura 13 y por el principio de transducción del sensor como lo indica la Figura 14.

Figura 13

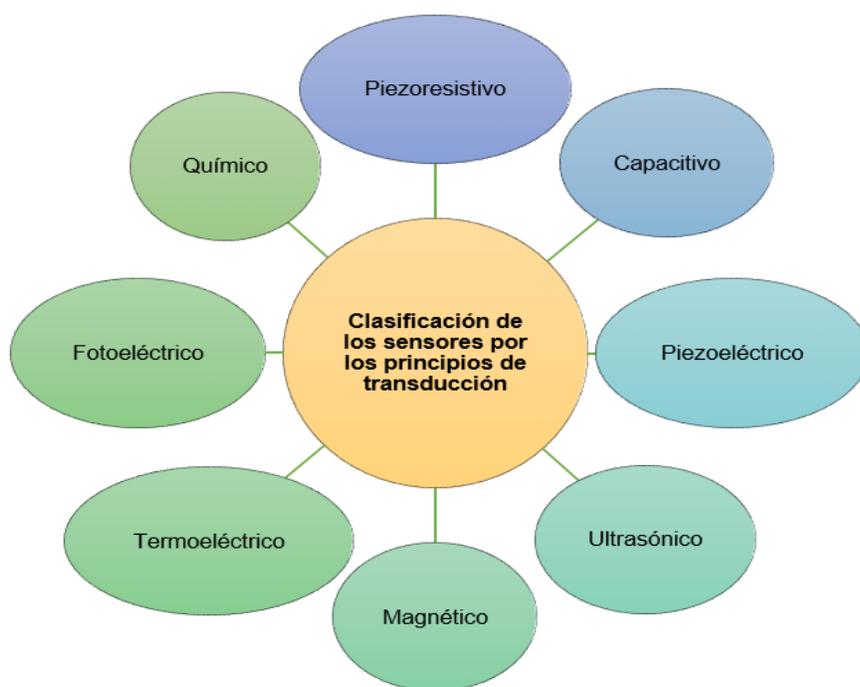
Clasificación de los sensores según la variable física a medir



Nota. La figura muestra las diferentes variables físicas de medición para los que se utiliza un sensor, el principio de funcionamiento de todos los sensores es el mismo, pero cada uno tiene su propio tipo de configuración e interpretación de la señal de salida. Tomado de *Sensores y actuadores aplicaciones con Arduino*, por Ramírez. C, Jiménez. A, & Carreño. M, (2014, pág. 18).

Figura 14

Clasificación de los sensores según el principio de transducción



Nota. El diagrama de la figura muestra los diferentes principios de transducción que tienen los sensores. Tomado de *Sensores y actuadores aplicaciones con Arduino*, por Ramírez. C, Jiménez. A, & Carreño. M, (2014, pág. 18).

Sensores de temperatura. Es un dispositivo que detecta cambios en la temperatura ya sea del aire, agua o del medio ambiente en donde se encuentre instalado, este sensor

convierte los cambios ambientales en una señal que es llevada a un sistema electrónico que lo codifica para tomar las acciones necesarias para la regulación de temperatura. Con la innovación y el avance de la tecnología existen diferentes formas de medir esta variable y por ello también hay varios tipos de sensores como se muestra en la siguiente Figura 15.

Figura 15

Tipos de sensores de temperatura

Clases de sensores de temperatura			
Eléctricos <ul style="list-style-type: none"> •Termocuplas •Termorresistencias •Termistores •Diodos •Sensores de silicio 	Mecánicos <ul style="list-style-type: none"> •Sistemas de dilatación •Termómetros de vidrio con líquidos •Termómetros bimetalicos 	Radiación térmica <ul style="list-style-type: none"> •Pirómetros de radiación •Óptico •Pasabanda •Termómetros infrarrojos 	Varios <ul style="list-style-type: none"> •Indicadores de color •Lápices •Pinturas •Sondas neumáticas •Sensores ultrasónicos •Indicadores pirométricos •Termómetros acústicos •Cristales líquidos •Sensores fluídicos •Indicadores de luminiscencia

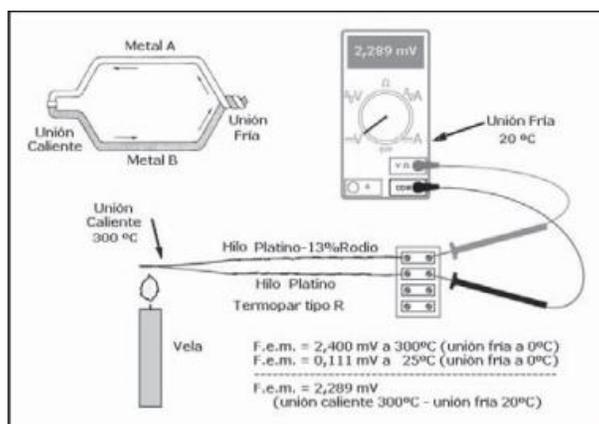
Nota. La figura explica los distintos de sensores de temperatura. Tomado de *Sensores de Temperatura* por Bausa Aragonés, García Gómez, Zaragozaí Zaragozaí, Gil Martínez, Moreno Campos, Galiana Llinares (2003, pág. 4).

Termopares. Un termopar o también conocido como termocupla es un dispositivo de medida que permite detectar cambios en la temperatura, según Creus Solé (2010) los termopares están basados en el efecto Seebeck el cual explica que dentro de un circuito cerrado el cual está formado por dos metales diferentes crea un voltaje cuando hay un cambio de temperatura en cada lado y por el contrario si se aplica voltaje crea una diferencia de

temperatura. El termopar tiene dos uniones una conocida como unión de medida o unión caliente y la otra unión de referencia o unión fría, esto se puede entender de mejor manera en la Figura 16.

Figura 16

Termopar y uniones del termopar



Nota. En la figura se puede observar que la termocupla está formada por dos metales así también se pueden ver las uniones que existen en el termopar y como son utilizadas para tomar medidas y como evidenciar el cambio de temperatura al cual está sometido el termopar. Tomado de *Instrumentación Industrial*, por Creus Solé (2010, pág. 255).

Durante la medición puede existir una circulación de corriente en el circuito eléctrico que está cerrando para alimentar el termopar, esta corriente puede producir un calentamiento y la exactitud en la medición de temperatura se puede ver afectada, es por ello que debe hacerse mínimo el valor de la corriente. También hay que tener en cuenta que el tipo de alambres para los termopares deben ser seleccionados bajo ciertas características que permitirán una correcta detección de la variación que produce la temperatura del medio a la cual estará en contacto. Estas características asegurarán que el sensor termopar funcione adecuadamente y tenga una apropiada resistencia a la corrosión, oxidación, reducción y cristalización, deben ser

estables, de bajo costo y de resistencia eléctrica baja, además que la f.e.m. desarrollada debe ser relativamente alta y paralela al aumento de temperatura. (Creus Solé, 2010)

Existen también algunos tipos de termopares, pero los más comunes se detallan a continuación.

Tabla 6

Descripción de los tipos de termopares y sus características

Tipo	Material	Rango de temperatura	Aplicación
E	Níquel-Cromo (cromel)/Cobre-Níquel (constantan)	-200 °C y +900 °C. Alta sensibilidad (68 μ V/°C).	Puede usarse en vacío o en atmósfera inerte o medianamente oxidante o reductora.
T	Cobre/Cobre-Níquel (constantán)	-200 °C y +260 °C	Tiene una elevada resistencia a la corrosión por humedad atmosférica o condensación y puede utilizarse en atmósferas oxidantes o reductoras.
J	Hierro/Cobre-Níquel (constantan)	-200 °C y 1.200 °C.	Es adecuado en atmósferas inertes. Condensación del agua sobre el hierro.
K	Níquel-Cromo (cromel) /Níquel-Aluminio (alumel).	-40 °C y 1.100 °C.	Se recomienda en atmósferas oxidantes, no debe ser utilizado en atmósferas reductoras ni sulfurosas, a menos que esté protegido con un tubo de protección.
R	Platino-13% Rodio/Platino	Temperaturas de trabajo de hasta 1.500 °C. Poca sensibilidad (10 μ V/°C).	Se emplea en atmósferas oxidantes, es más estable y produce una f.e.m. mayor que el tipo S. Es de los más costosos. No deber ser insertado en tubos metálicos.

Tipo	Material	Rango de temperatura	Aplicación
S	Platino-10% Rodio/Platino	Temperaturas de trabajo de hasta 1.500 °C. Poca sensibilidad (10µV/°C).	Características similares al tipo R no debe insertarse en tubos metálicos y está diseñado para altas temperaturas.
B	Platino-30% Rodio/Platino-6% Rodio	Adecuado para altas temperaturas hasta los 1.800 °C. Poca sensibilidad (10µV/°C).	No debe ser insertado en tubos metálicos. Su uso más común es en la industria del vidrio.
N	84,6% Níquel-14% Cromo-1,4% Silicio/95,6% Níquel- 0,4% Silicio	0 °C a 2316 °C	Se utiliza, cada vez con mayor frecuencia, para sustituir al tipo K, presentando una mejor estabilidad y una mejor resistencia a la oxidación a altas temperaturas.
C	Tungsteno-5% Renio/Tungsteno-26% Renio	0 °C y 2320 °C	Su uso se recomienda únicamente para temperaturas muy altas y en atmósferas no oxidantes.
D	Tungsteno-3% Renio/Tungsteno-25% Renio	0 °C y 2495 °C	
G	Tungsteno/Tungsteno- 26% Renio	0 °C y 2320 °C	Se debe tener cuidado en su uso, puesto que sus materiales son frágiles. No es muy práctico para temperaturas menores a 399° C y no es apto para su uso en atmósferas oxidantes.
L	(Hierro/Cobre-Níquel	-200 °C y +900 °C	
U	Cobre/Cobre-Níquel	-200 °C y +600 °C	Cuenta con un cable de conexión de grado de extensión para termopares tipo R y tipo S.

Nota. La tabla muestra los diferentes tipos de termopares y los materiales de los que están hechos, así como el rango de trabajo de cada uno de ellos y la aplicación que tienen. Tomado de *Instrumentación Industrial*, por Creus Solé (2010, pág. 257).

Se puede percibir que algunas clases dependiendo del tipo de termopar tienen su propio intervalo de temperatura de trabajo, como se observa en la Figura 17.

Figura 17

Tolerancias y temperaturas de trabajo de termopares

TERMOPAR	CLASE 1	CLASE 2	CLASE 3	Temperaturas de trabajo
Tipo E Ni Cr/Cu Ni	$\pm 1.5^{\circ}\text{C} \text{ ó } \pm(0.004 \times t)$ -40°C a 800°C	$\pm 2.5^{\circ}\text{C} \text{ ó } \pm(0.0075 \times t)$ -40°C a 900°C	$\pm 2.5^{\circ}\text{C} \text{ ó } \pm(0.0015 \times t)$ -200°C a 40°C	-200 a 915 °C
Tipo T Cu/Cu Ni	$\pm 0.5^{\circ}\text{C} \text{ ó } \pm(0.004 \times t)$ -40°C a 350°C	$\pm 1^{\circ}\text{C} \text{ ó } \pm(0.0075 \times t)$ -40°C a 350°C	$\pm 1^{\circ}\text{C} \text{ ó } \pm(0.0015 \times t)$ -200°C a 40°C	-200 a +400 °C
Tipo J Fe/Cu Ni	$\pm 1.5^{\circ}\text{C} \text{ ó } \pm(0.004 \times t)$ -40°C a 750°C	$\pm 2.5^{\circ}\text{C} \text{ ó } \pm(0.0075 \times t)$ -40°C a 750°C	-----	-200 a +1200 °C
Tipo K Ni Cr/Ni Al	$\pm 1.5^{\circ}\text{C} \text{ ó } \pm(0.004 \times t)$ -40°C a 1000°C	$\pm 2.5^{\circ}\text{C} \text{ ó } \pm(0.0075 \times t)$ -40°C a 1200°C	$\pm 2.5^{\circ}\text{C} \text{ ó } \pm(0.0015 \times t)$ -200°C a 40°C	-200 a +1372 °C
Tipo R Pt13%Rh/Pt	$\pm 1^{\circ}\text{C} \text{ ó } (1+0.003(t-1100))$ 0°C a 1600°C	$\pm 1.5^{\circ}\text{C} \text{ ó } \pm(0.0025 \times t)$ 0°C a 1600°C	-----	-50 a +1768 °C
Tipo S Pt10%Rh/Pt	$\pm 1^{\circ}\text{C} \text{ ó } (1+0.003(t-1100))$ 0°C a 1600°C	$\pm 1.5^{\circ}\text{C} \text{ ó } \pm(0.0025 \times t)$ 0°C a 1600°C	-----	-50 a +1768 °C
Tipo B Pt30%Rh/Pt6%Rh	-----	$\pm 1.5^{\circ}\text{C} \text{ ó } \pm(0.0025 \times t)$ 600°C a 1700°C	$\pm 4^{\circ}\text{C} \text{ ó } \pm(0.005 \times t)$ 600°C a 1700°C	0 a 1820 °C
Tipo N Ni Cr Si/Ni Si Mg	$\pm 1.5^{\circ}\text{C} \text{ ó } \pm(0.004 \times t)$ 40°C a 1000°C	$\pm 2.5^{\circ}\text{C} \text{ ó } \pm(0.0075 \times t)$ -40°C a 1200°C	$\pm 2.5^{\circ}\text{C} \text{ ó } \pm(0.0015 \times t)$ -200°C a 40°C	-270 a 1300 °C

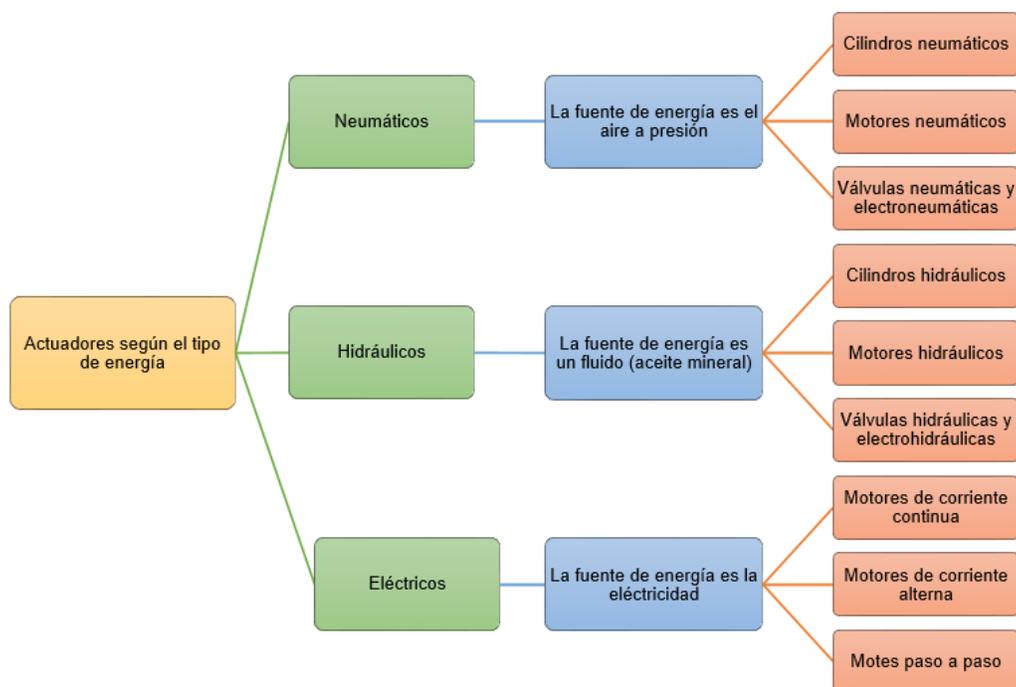
Nota. En la tabla se puede observar los diferentes intervalos de temperaturas de acuerdo al tipo y clases de termopares según la norma IEC 584-1. Tomado de *Instrumentación Industrial*, por Creus Solé (2010, pág. 258).

Actuadores

Un actuador es un dispositivo que transforma un tipo de energía en otra totalmente diferente y ayuda a generar una fuerza la cual ejerce un cambio de posición, velocidad o estado sobre algún tipo de elemento mecánico. (Corona Ramírez y otros, 2014) El actuador se clasifica según el tipo de energía utilizada tal como se muestra a continuación.

Figura 18

Clasificación de los actuadores según el tipo de energía que utilizan



Nota. Se muestra en la figura la clasificación de los motores según el tipo de energía que utiliza y se presenta tres ejemplos de cada tipo. Tomado de *Sensores y actuadores aplicaciones con Arduino*, por Corona Ramírez, Abarca Jiménez, & Mares Carreño (2014, pág. 26).

También Corona Ramírez et al. (2014) afirma que hay otra clasificación de motores según el tipo de movimiento que estos producen como lo son actuadores lineales y actuadores rotativos.

Actuadores Lineales. Según CLR (2018) los actuadores lineales son aquellos que su carrera final es un movimiento en línea recta permitiendo elevar, ajustar, inclinar o halar objetos. Aunque también existen dispositivos que convierten el movimiento de rotación en movimiento lineal, estos ayudan a aumentar la fuerza o torque y dimensiones de movimiento

haciendo más fácil el traslado de objetos pesados o difíciles de alcanzar, es por ello que son utilizados ampliamente para generar la acción de hale o empuje.

Actuadores Rotativos. Los actuadores rotativos tienen como recorrido final un movimiento circular o de rotación y son utilizados para equipos que necesitan una fuerza de giro. Al igual que los actuadores lineales estos también disponen de dispositivos que permiten aumentar y disminuir su velocidad, aceleración o torque.

Motores Eléctricos. Un motor es una máquina que transforma un tipo de energía en energía mecánica para producir movimiento, según Chapman (2012) cuando en la entrada se aplica energía eléctrica se conoce como motor eléctrico y transforma esa energía mediante la aplicación de campos magnéticos, si la máquina es utilizada en forma inversa, es decir, aplicar energía mecánica para obtener energía eléctrica se conoce como generador.

Vaquero (2019) en su artículo publicado en la revista El Salvador Ahorra Energía menciona que los motores se clasifican en:

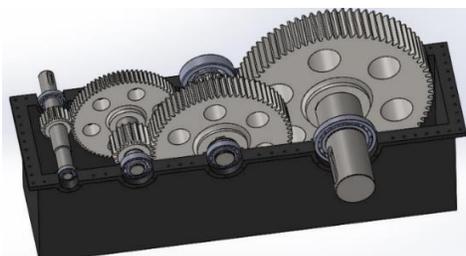
- Motores de corriente continua
- Motores de corriente alterna
- Síncronos
- Asíncronos o de inducción

Hoy en día el uso de motores eléctricos en la industria representa una gran alternativa en cuanto se habla de cuidado del medio ambiente, economía y eficiencia, es por ello que son los más utilizados. Vaquero (2019) afirma que más del 60% de energía eléctrica consumida por las industrias está destinada a convertirse en energía mecánica para motores eléctricos, por este motivo hoy en día hay investigaciones destinadas a conseguir una elevada eficiencia en estas máquinas para lograr una reducción de consumo energético y económico.

Caja Reductora. Una caja reductora es un conjunto de engranajes que permite aumentar el par de un motor a velocidades bajas. Para esta reducción se considera una relación de transmisión, que es el cociente entre la velocidad angular de salida y la de entrada, cuando esta relación es mayor a 1 se habla de un multiplicador y si es menor a 1 es un reductor. (Balén Valerio, 2015)

Figura 19

Caja reductora



El uso de cajas reductoras en la industria es indispensable pues permiten solucionar problemas referentes al uso de motores, ya que estos son construidos de forma que sus velocidades son estandarizadas, en otras palabras, vienen ya con un número determinado de revoluciones por minuto, también se puede mandar a construir un motor con las características específicas a nuestra necesidad lo que resultaría más costoso. Este tipo de mecanismo representa una solución para conseguir que los motores reduzcan su velocidad y aumenten su torque. Las cajas reductoras tienen algunas ventajas como:

- Regular la velocidad y la potencia transmitida.
- Mayor seguridad de transmisión.
- Reducen el costo de mantenimiento.
- Buena rigidez en su montaje.
- Corto tiempo de instalación.

- Incremento del par de torsión.
- Gran número de relación de transmisión o lo que significa un gran número de velocidades de salida.

Motor SESAME. Los motores de la marca SESAME son motores monofásicos que están diseñados con un controlador de velocidad y tienen un circuito electrónico para un frenado instantáneo. SESAME MOTOR CORP (2022) ofrece un tamaño compacto lo que facilita el cableado además que son diseñados para ser acoplados en reductores de velocidad de la misma marca como lo indica la Figura 20. Dependiendo del modelo tanto del motor como de la caja reductora, se dispone de una amplia gama de velocidades haciendo que se adapte fácilmente a las necesidades de las industrias.

Figura 20

Motor y caja reductora SESAME acoplados



Nota. En la figura se observa el motor acoplado a la caja reductora de la marca SESAME.

Tomado de *Variable Speed Control Gear Motors for Label - Packaging Machinery*, por SESAME MOTOR CORP (2022).

Ventiladores. Un ventilador es una máquina rotativa que mediante la revolución de aspas producida por un motor permite generar una transmisión de flujo constante de una masa de aire, también es considerada una turbo máquina que transforma la energía para suministrar una corriente continua de aire. (S&P, 2016)

No hay una clasificación única de los ventiladores, pero según la trayectoria de aire se pueden clasificar en dos tipos:

- **Ventiladores Centrífugos:** estos ventiladores cambian el ángulo de salida en 90° con respecto a la entrada, existe una subclasificación de estos ventiladores.
 - **Ventiladores Centrífugos con álabes curvados hacia adelante:** es utilizado en aplicaciones que requieren un caudal bajo y elevada presión, su característica principal es que tienen un gran número de álabes inclinados hacia adelante con poca separación.
 - **Ventiladores Centrífugos radiales con álabes rectos:** este tipo de ventiladores mecánicamente tienen una resistencia y robustez muy alta, su diseño es sencillo y generalmente es utilizado en el transporte de materiales.
 - **Ventiladores Centrífugos con álabes curvados hacia atrás:** Su característica principal son los álabes grandes inclinados para atrás a diferencia de los curvados hacia adelante no tienen el riesgo de sobrecarga de motor. Según el punto de funcionamiento son aplicados como extractores de campana, de cocina e incluso para contener polvo.
- **Ventiladores Axiales:** En estos ventiladores el flujo de aire sigue la dirección del eje de rotor, se clasifican según su envolvente y son adecuados para mover grandes caudales a presiones bajas.

- **Ventiladores Helicoidales:** su nombre se debe a que el flujo de salida tiene una trayectoria helicoidal, son utilizados para aportación y extracción de aire en naves industriales, habitualmente se utilizan como extractores en baños y su instalación se la realiza en paredes, encanastados o vidrios.
- **Ventiladores Tubulares:** Los álabes de su hélice son orientables, mueve el aire con resistencia moderada y es utilizado como ventilador de aportación, en cabinas de pintura y extracciones localizadas de humos.

Elementos de calentamiento

Resistencias eléctricas (niquelinas)

La resistencia eléctrica conocida comúnmente como niquelina es un elemento que permite convertir la energía eléctrica en energía calorífica, estas pueden ser diseñadas a medida según la aplicación que se les vaya a dar y son fabricadas con elementos tubulares blindados, aletados helicoidales, rectangulares o con hilo bobinado.

Por lo general, las resistencias eléctricas utilizadas en la industria tienen una larga duración y trabajan a altas temperaturas, proporcionan una transferencia de calor uniforme, son construidas herméticamente para que el hilo calefactor que se encuentra en el núcleo tenga un periodo de vida útil largo y evitar la oxidación incluso si trabaja a temperaturas altas. Los fabricantes de resistencias conocen las características que deben poseer para un trabajo eficaz, por este motivo las niquelinas son diseñadas y fabricadas bajo cualquier especificación y modelo a conveniencia de los usuarios, como la diversidad de materiales, diámetros y potencias para que se pueda adaptar y cumplir con la función para la que fueron diseñadas.

Figura 21

Modelos de niquelinas para diferentes funciones



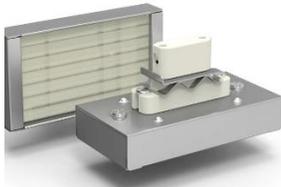
Nota. La imagen demuestra los diferentes modelos de niquelinas. Tomado de *Resistencias Eléctricas.* (2019)

Techno Injection & Tools (2019) muestra algunos tipos de resistencias con sus características respectivas, las mismas que se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7

Tipos de resistencias

Tipo de resistencia	Características	Imagen
Resistencia de Inmersión	Son diseñadas para estar en contacto directo con fluidos como aceite, agua, material viscoso o disoluciones ácidas y básicas, etc. Por estar dentro del líquido alcanza su rendimiento energético máximo.	
Resistencias de aire y cable	Estos son empleados en conductos, autoclaves, hornos y soldadoras.	
Resistencia de banda cerámica	Pueden ser fabricadas con diámetros similares a las bandas mica debido a la forma de la cerámica que la constituyen, su durabilidad es mayor y pueden trabajar hasta los 700 °C. Son aplicadas en procesos de inyección, extrusión, soplado, etc.	

Tipo de resistencia	Características	Imagen
Resistencias tipo tira mica y tira pasta	Son fabricadas en acero inoxidable, gracias a su forma el calentamiento en superficies planas es uniforme	
Resistencias de cuarzo	Son utilizadas en procesos muy concretos como tostadoras industriales, calefacción y secado industrial. Están dirigidas a procesos que requieran una rápida respuesta pues en tan solo 30 segundos puede alcanzar temperaturas de filamento de 500°C a 1000°C.	
Resistencias infrarrojas	Son empleadas comúnmente para curado de pintura, termoencofrado, impresión o secado y puede operar en un rango entre 250°C y 750°C.	
Resistencia de silicón	Son fiables, robustas, precisas, resistentes a la humedad y productos químicos. Pueden ser fácilmente unidos o adheridos en sistemas donde vayan a ser aplicados.	

Tipo de resistencia	Características	Imagen
Resistencias de carburo de silicio	Elementos no metálicos que son utilizados en la industria de la metalurgia, cerámica y vidriería. Generan temperaturas entre los 600°C a 1600°C.	
Resistencias tubulares	Son las resistencias más utilizadas en aplicaciones industriales por su gran resistencia mecánica y a la corrosión se fabrican en tubería de incoyol o acero inoxidable. Se manufacturan para entregar altas temperaturas y según sea la necesidad, sus formas y diámetros pueden variar.	
Resistencia tipo mufila	Son aplicadas en superficies ya que ofrecen una mínima pérdida de temperatura. Además, tiene un mínimo de consumo eléctrico gracias a su gran capacidad de aislamiento y bajo almacenamiento de temperatura. Pueden llegar hasta los 1700°C.	

Nota. Las características son presentadas en función a los modelos de las resistencias más comunes en el mercado. Tomado de *RESISTENCIAS INDUSTRIALES PARA CALENTAMIENTO*, por Techno Injection & Tools (2019).

Lámparas infrarrojas

Los sistemas infrarrojos utilizados tanto en cocinas como en hornos funcionan bajo el principio de energía térmica o por radiación como la energía del Sol. Jeanty (2021) afirma que al igual que todos los tipos de energía, la energía infrarroja se transforma en longitudes de onda las cuales se mueven con una frecuencia. Si se habla del espectro electromagnético esta energía está por debajo del rojo. Al igual que la energía del sol la energía infrarroja es transferida en forma de calor a las células que están en contacto con ella. En hornos que utilizan esta tecnología la energía es transportada mediante ondas producidas por la radiación, generada por lámparas infrarrojas las mismas que se pueden apreciar en la Figura 22. (Ortega Sanchez, 2016)

Figura 22

Lámpara infrarroja



Nota. La figura muestra una lámpara infrarroja. Tomada de *Diseño, construcción e implementación de un prototipo de un horno de secado (curado) de pintura automotriz y pruebas de pintura en las probetas al final del proceso* (pág. 34), por Ortega Sanchez (2016).

Sistema de convección forzada

Se denomina convección al movimiento del calor cuando las partículas con una densidad alta (partículas frías) que están la parte superior de una región se desplazan a las zonas que tienen una densidad baja, es decir, las zonas calientes o la parte inferior. Domingo (2011) explica un ejemplo de un radiador en donde dice que si las partículas del fluido en este caso el aire al tener una temperatura elevada asciende y al tener una temperatura baja desciende produciendo así un desplazamiento en el aire. Este proceso de transferencia de calor es la convección y está dado por el movimiento de temperaturas alrededor del material. Entonces se puede decir que la convección forzada a diferencia de la natural es generada por un actuador el cual permite el desplazamiento de esta temperatura lo que permite que la transferencia de calor sea más eficiente.

Este sistema de convección forzada está siendo utilizado en algunos equipos como en hornos y según Cerquera Peña et al. (2010) “Con la utilización del intercambiador de calor por convección forzada se elimina el problema de las fluctuaciones de temperatura tan drásticas que se presentan en hornos tradicionales”.

Controladores

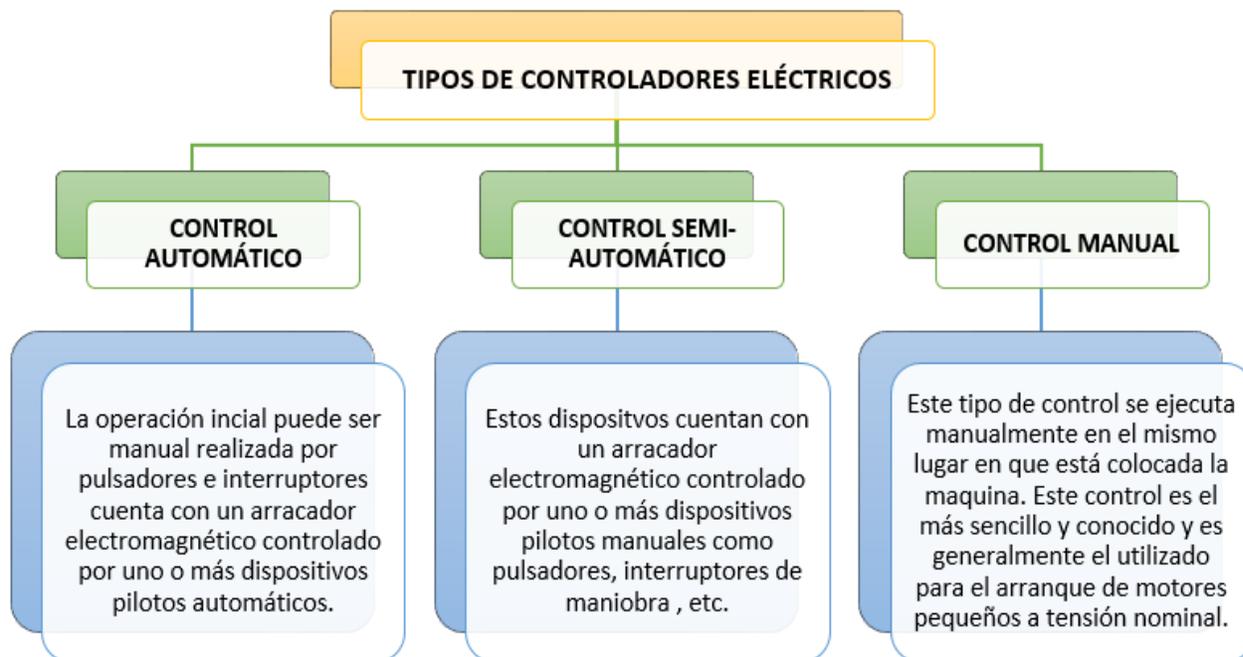
Los controladores son dispositivos que permiten supervisar un proceso y controlar una variable de salida de manera que se pueda poner en marcha o suspender un grupo de elementos que provocan el cambio en la variable de interés, para ello se utiliza un valor de trabajo el cual será ingresado al controlador y es conocido como SETPOINT que viene hacer un punto fijo y es comparado con la señal de entrada para dicho control.

WR AUTOMATIZACIONES INDUSTRIALES (2021) afirma que los controladores eléctricos permiten el control y proceso de impulsos eléctricos de entrada y son utilizados en el arranque de equipos como motores u otros aparatos tanto eléctricos como mecánicos que son

empleados en la industria y en los hogares, estos controladores tienen una clasificación como lo muestra la Figura 23.

Figura 23

Tipos de controladores eléctricos



Un sistema de control por lo general mantiene la variable controlada de forma estacionaria siempre y cuando no sea afectado por ruido o perturbaciones producidas por el medio que lo rodea. Cosco Grimaney (2011) afirma que también existe otras clasificaciones de los sistemas de control las cuales dependen de ciertas características como:

- **Acción de Control:** según esta clasificación las señales dependen de la variable que controla y es la misma que activa el sistema de control, como se visualiza en la Figura 24.

Figura 24

Clasificación de los sistemas de control según la acción de control

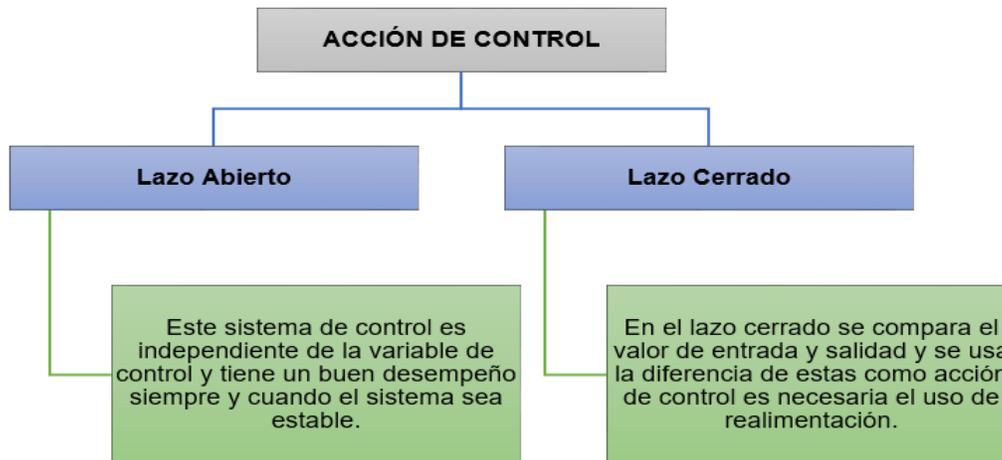
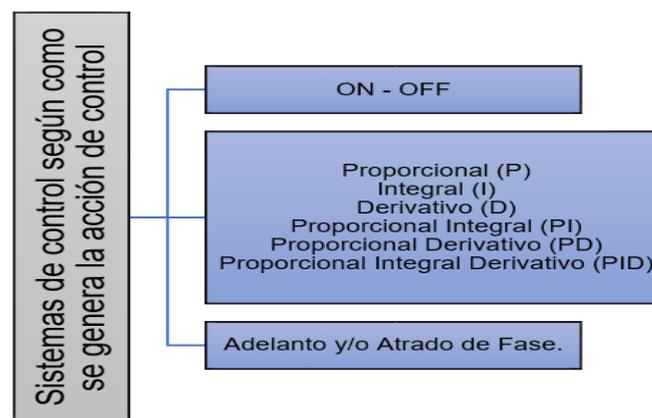


Figura 25

Clasificación de los controladores según como se genera la acción de control

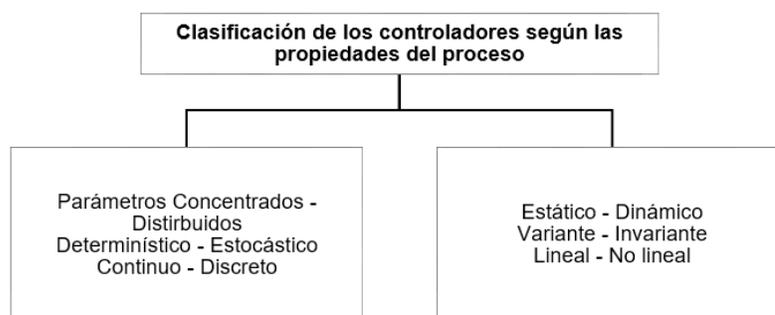


- **Como se genera la acción de control:** Estos controladores utilizan la diferencia entre la señal de entrada y la señal de salida llamada error, los tipos de controladores se muestran en la Figura 25.
- **Según la fuente de energía:** De acuerdo con el tipo de energía los sistemas de control son eléctricos, hidráulicos y neumáticos.

- **Según la función:** Existe dos tipos de controladores según la función como argumenta Cosco Grimaney (2011) el primero de ellos es un controlador el cual siguen una entrada variante y como salida se tiene una posición o su derivada este controlador es conocido como servomecanismo y el segundo es un controlador conocido con el nombre de regulador el cual trata de mantener la salida estable o constante especialmente frente a disturbios.
- **Propiedades del proceso:** En la Figura 26 se puede observar los tipos de sistemas de control según las propiedades que tenga el proceso.

Figura 26

Clasificación de controladores según propiedades del proceso



- **Según la estrategia de control:** esta clasificación se puede ver en la Figura 27.

Figura 27

Clasificación de los controladores según la estrategia de control

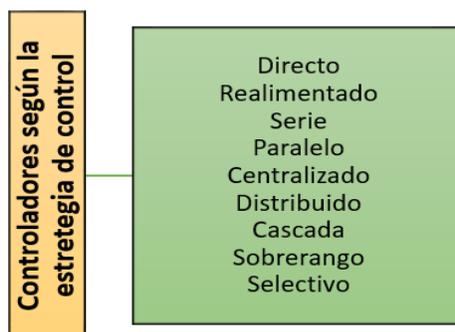
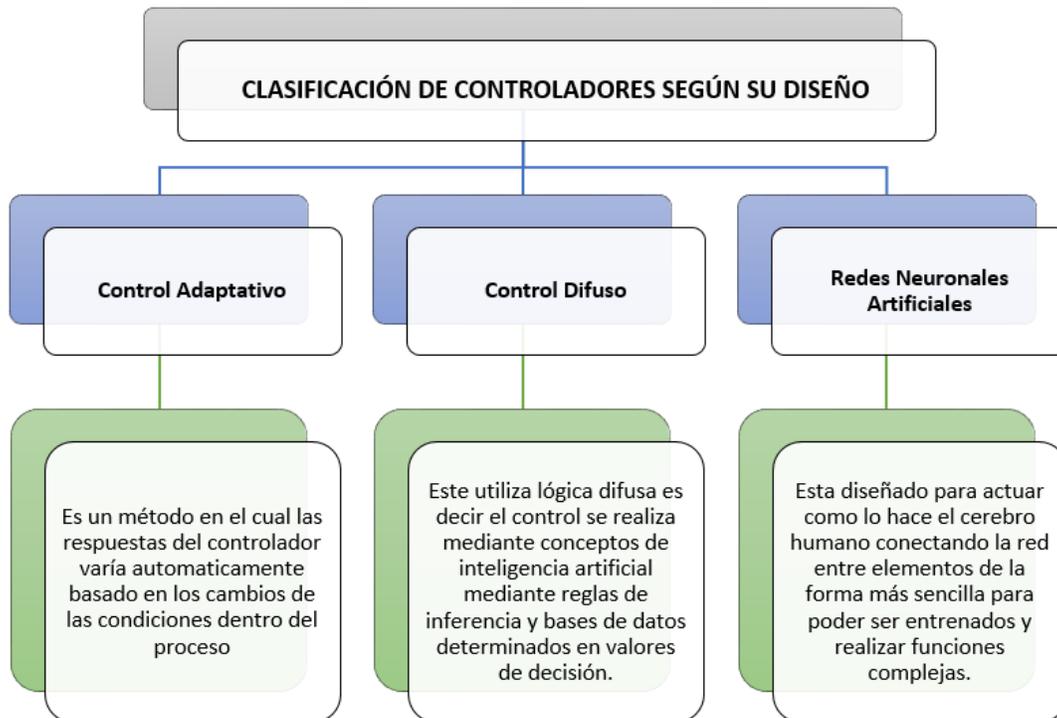


Figura 28

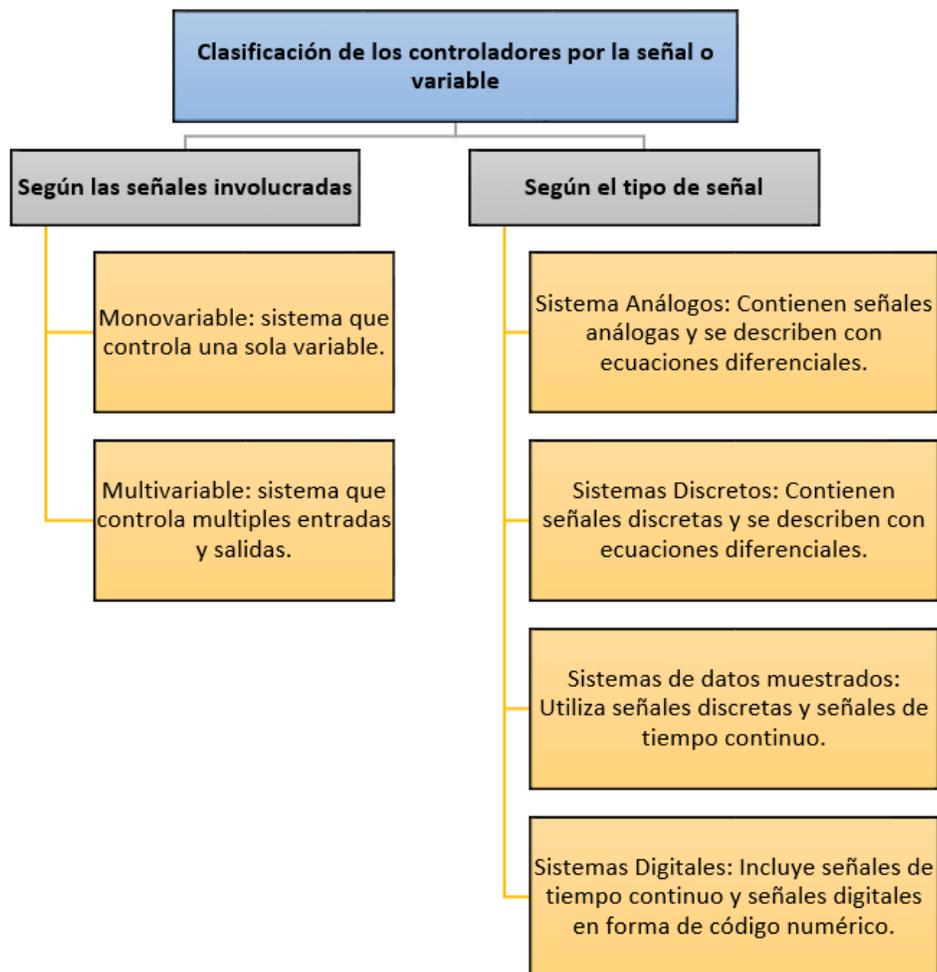
Clasificación de los controlares según su diseño



- **Según el diseño de sistema de control:** esta se clasifica como lo muestra la Figura 28.
- **Según las señales:** En esta parte se tiene que los controladores se subclasifican por el número de señales o variables que intervienen en el proceso, en la Figura 29 se puede observar claramente esta clasificación.

Figura 29

Clasificación de los controladores según las señales



Pirómetro CH102 REX 100

Para el proyecto del sistema automático de secado y reactivado, el controlador utilizado es un pirómetro digital modelo CH102. Este controlador está diseñado para medir temperaturas y no, precisamente debe estar presente en el proceso o con el material al cual se desee hacer la medida, según ADAJUSA (2021) el pirómetro CH102 puede utilizar diferentes sensores y captadores de temperatura y es por ello que la medición de la temperatura es altamente precisa y en tiempo real. Su uso habitual es para procesos industriales y domésticos que

requieren una precisión en el control de temperatura. Las características del mismo se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8

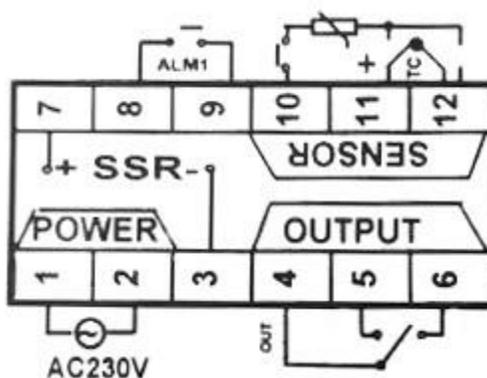
Características del pirómetro digital CH102

Características del Pirómetro CH102 REX 100	
Modelo	CH102
Tensión de trabajo	85 VAC a 265 VAC
Frecuencia	50Hz / 60Hz
Consumo de Corriente	10 A
Dimensiones	48 mm X 48 mm
Indicación	Mediante 2 líneas de displays led de 7 segmentos, rojos y verdes.
Sensores de temperatura	<ul style="list-style-type: none"> - Termopares: K, J, R, S, B, E, N, T. - RTD platina: Pt100, CU50.
Métodos de control	PID, ON / OFF, Manual
Tipo de Salida	Relé 230 VAC 5A
Tasa de Muestreo	0,5 segundos
Salidas	<ul style="list-style-type: none"> 1 salida de relé de control 1 salida a relé de alarma
Rango de medición	K (0 a 1372 °C), S (0 a 1769 °C), R (0 a 1769 °C), T (-199.9 a 400 °C), E (0 a 1000 °C), J (0 a 1200 °C), B (0 a 1820 °C), N (0 a 1300 °C), Pt100 (-199.9 a 649 °C)
Precisión de medición	<ul style="list-style-type: none"> 0,2% FS + 0,1 °C (compensación de resistencia de cobre Cu50 o compensación de punto de hielo) 0,2% FS + 0,2 °C (entrada TC y compensación interna)
Resolución	0,1 °C o 1 °C seleccionable (cambia automáticamente a 1 °C cuando la temperatura es superior a 999,9 °C)

Estos dispositivos son totalmente compatibles con el estándar de los controladores de temperatura disponibles en el mercado, es por ello que su instalación es muy fácil además el diagrama de conexión del controlador que se muestra en la Figura 30 es sencillo de interpretar y realizar la conexión de los diferentes dispositivos para el control de temperatura.

Figura 30

Esquema de conexión del pirómetro digital CH102



Nota. En la figura se puede observar el esquema de conexión del pirómetro CH102, una de las especificaciones que nos da el manual del sensor es que no se puede usar las salidas SSR y las salidas relé simultáneamente solo se debe usar una salida a la vez. Obtenido de *Controlador de temperatura digital CH102 48X48*, por (ADAJUSA, 2021).

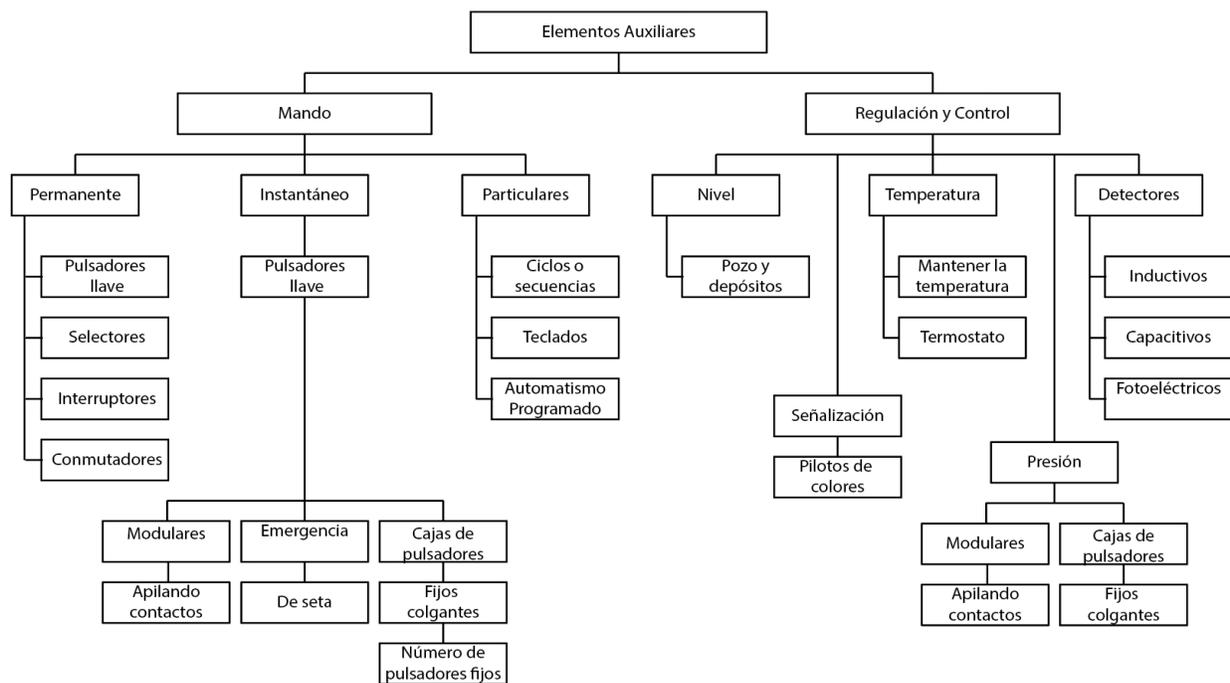
Dispositivos de mando, control y protección

Según Mora García (2018) los dispositivos para el control, mando y protección de los equipos industriales y domésticos que funcionan con energía eléctrica tienen la función de controlar, distribuir y proteger a los operarios y el sistema eléctrico, entre estos dispositivos se encuentran contactores, pulsadores, interruptores, relés, etc. Por lo general se utilizan para que los actuadores cumplan adecuadamente con una función dentro de un proceso.

Existen elementos dentro de los gabinetes de control y son conocidos como elementos auxiliares los cuales aseguran que la maquinaria, equipos y dispositivos que forman parte de la industria funcionen adecuadamente y el sistema de control sea el correcto además asegurar la integridad del personal que opera la maquinaria en la Figura 31 se puede observar que existe una serie de dispositivos de mando, control y protección, así como la clasificación de los mismos.

Figura 31

Clasificación de los elementos de mando, control y protección



Interruptor termo-magnético.

Un breaker o interruptor termo-magnético según López Fuentes & Viteri Morales (2010) es un dispositivo de seguridad que corta el paso de energía eléctrica cuando en un circuito eléctrico se producen situaciones donde por ciertos factores sobrepasan los valores máximos permitidos, este dispositivo funciona bajo dos efectos como son el térmico y el magnético

combinados en un solo aparato, además que el sistema de conexión y desconexión puede ser de tres formas, cada una independiente la una de la otra estas formas son manual, magnética y térmica.

Contactor

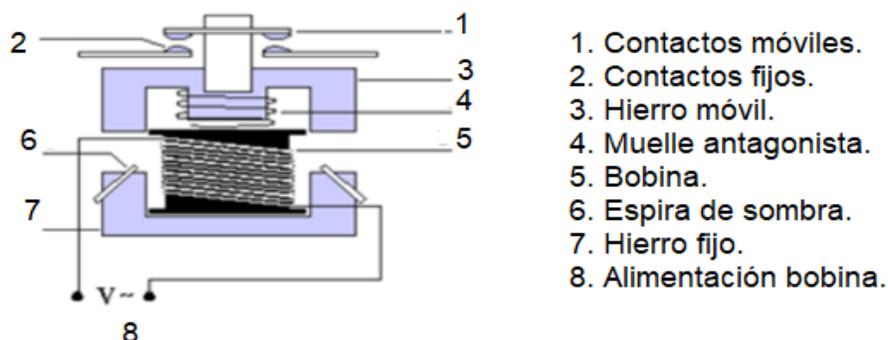
Un contactor es definido como un interruptor el cual es accionado por la alimentación de un electroimán. (Roldán Vilorio, 2003)

Según Brito Saldarriaga & Giraldo Betancourt (2010) una de las características principales de los contactores según los fabricantes son la tensión, intensidad o potencia de accionamiento de la bobina, también pueden estar diseñados para trabajar con una corriente alterna (AC) o corriente directa (DC), adicionalmente dependiendo del modelo del contactor y de su tensión máxima se dimensionará el tamaño, y el número de contactos que dispondrá el mismo.

El contactor es un bloque formado por diferentes partes, como lo indica la Figura 32.

Figura 32

Partes principales de un contactor



1. Contactos móviles.
2. Contactos fijos.
3. Hierro móvil.
4. Muelle antagonista.
5. Bobina.
6. Espira de sombra.
7. Hierro fijo.
8. Alimentación bobina.

Nota. La figura muestra el contactor con sus diferentes partes. Tomado de *METODOLOGÍAS PARA DISEÑO DE CIRCUITOS LADDER CON BASE EN SISTEMAS SECUENCIALES Y COMBINACIONALES*, por Brito Saldarriaga & Giraldo Betancourt (2010, pág. 79).

Los contactores contienen contactos Normalmente Abierto y contactos Normalmente Cerrados y su número depende de la aplicación en la que se vaya a utilizar.

Pulsadores

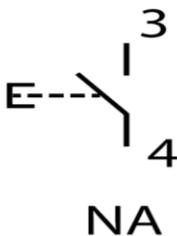
Un pulsador es un elemento de mando manual el cual permite controlar el paso de la energía eléctrica en un sistema. Brito Saldarriaga & Giraldo Betancourt (2010) argumenta que los pulsadores cumplen su acción mientras están accionados, es decir, si se actúa sobre él se energiza el sistema y al volver a su posición inicial se desenergiza el sistema.

Estos elementos pueden ser de dos tipos dependiendo de los contactos:

Pulsador normalmente abierto. Un pulsador normalmente abierto (NA) tiene la función de cerrar un circuito y permitir el paso de corriente cuando este es accionado. Es utilizado en múltiples aplicaciones como la electrónica y en electricidad, en resumen, todo lo que se relaciona con la automatización industrial. Si se habla de electricidad su simbología es la que se muestra en la Figura 33.

Figura 33

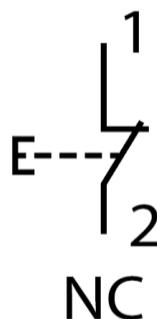
Símbolo eléctrico pulsador normalmente abierto (NA)



Pulsador normalmente cerrado. El pulsador normalmente cerrado (NC) al contrario del pulsador normalmente abierto corta el paso de energía cuando es accionado y su simbología eléctrica es la que se muestra en la Figura 34.

Figura 34

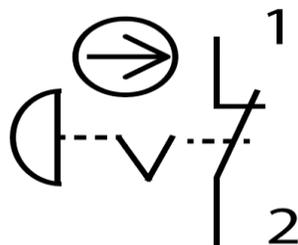
Símbolo eléctrico pulsador normalmente cerrado (NC)



Pulsador paro de emergencia. Este pulsador es utilizado para cortar la energía en el circuito principal y es accionado siempre y cuando se identifique una situación peligrosa que comprometa la integridad física del personal y también pueda dañar las instalaciones de la industria y por lo general se utilizan elementos eléctricos cuya forma es similar a un hongo, al igual que los pulsadores NA y NC este tipo de pulsadores aplicados para el paro de emergencia también tiene una simbología que lo identifica dentro de un esquema eléctrico.

Figura 35

Símbolo eléctrico pulsador paro de emergencia

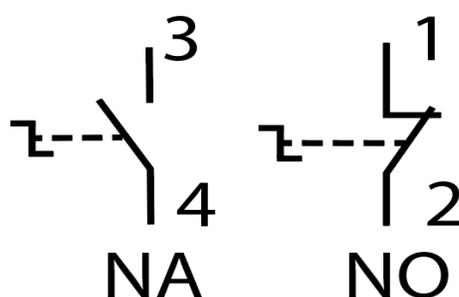


Interruptor

A diferencia de un pulsador un interruptor tiene dos estados ON/OFF el estado de reposo que es el estado inicial u OFF y cuando es accionado este se queda enclavado en el estado ON, a diferencia del pulsador que funciona solamente cuando es accionado el interruptor debe ser cambiado manualmente a su posición inicial, al igual que los pulsadores este elemento también tiene su propia simbología eléctrica la cual se muestra en la Figura 36.

Figura 36

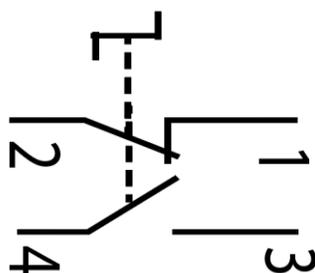
Simbología interruptores NA y NC



Selector. Un switch seleccionador permite elegir entre diferentes opciones dentro de un circuito eléctrico dependiendo de las necesidades del usuario el número de opciones o contactos va a ser diferente. Su simbología eléctrica se puede observar en la Figura 37.

Figura 37

Simbología eléctrica switch seleccionador de dos posiciones NA y NC



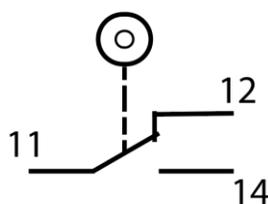
Pedal eléctrico. Un pedal eléctrico es un interruptor que sirve para accionar actuadores con ayuda del pie, esto se utiliza en máquinas y herramientas que tienen una aplicación en donde el usuario no tiene las manos disponibles para accionar el mecanismo. Su simbología eléctrica es la misma que la de un interruptor dependiendo del tipo de contacto y la aplicación en la que se utilice, este elemento puede ser normalmente abierto (NA) o normalmente cerrado (NC).

Final de carrera

Un final de carrera es un tipo de sensor que permite conocer el límite de alcance o la posición que tiene un actuador o un objeto dentro de un sistema, según LAUMAYER (2020) los finales de carrera en muchas ocasiones suelen jugar un papel importante dentro de la automatización de las industrias y sus procesos. También lo define como un elemento electromecánico que detecta la posición de objetos y es un sensor que necesita estar en contacto con el objeto de interés. Su simbología se puede observar en la Figura 38.

Figura 38

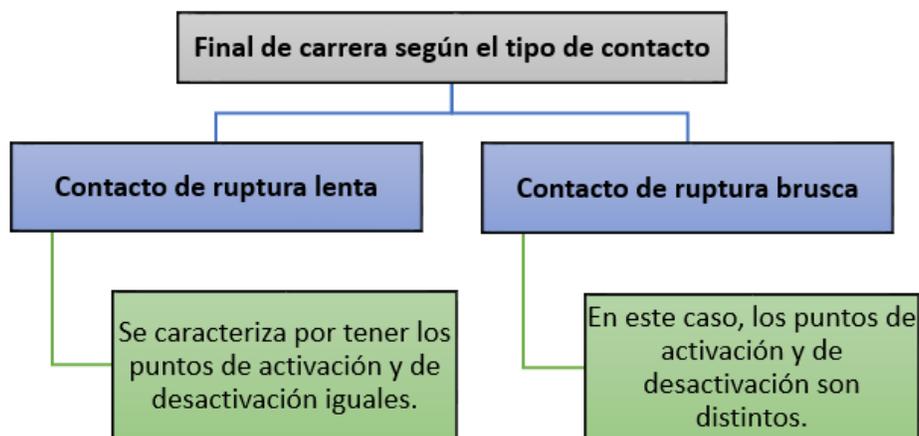
Simbología eléctrica final de carrera



Existen dos tipos de finales de carrera, estos se clasifican según el tipo de contacto como se puede ver en la Figura 39. (LAUMAYER, 2020)

Figura 39

Clasificación de los finales de carrera según el tipo de contacto

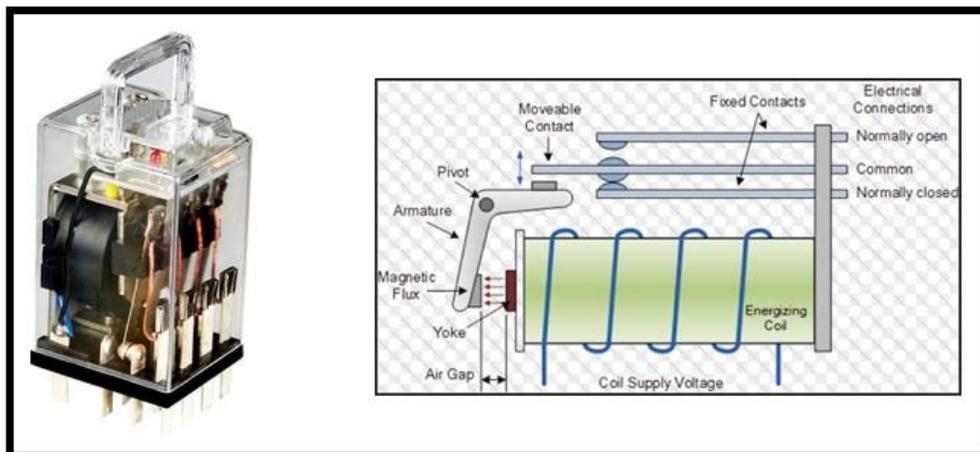


Relés

Un relé es un dispositivo que permite el cambio de estado en elementos de gran potencia, este componente puede funcionar de puente entre una tarjeta controladora y el sistema de potencia cuando esta no puede controlar directamente el actuador debido a sus características como pueden ser tensión, amperaje y potencia. Según Brito Saldarriaga & Giraldo Betancourt (2010) afirma que el relé tiene un funcionamiento “similar al de un contactor, la diferencia radica en que, en el relé, todos sus contactos son auxiliares por lo que se emplea en el control de circuitos que requieran auto-mantenimiento, enclavamiento de contactos, protección y señalización”, también como en el caso del contactor este necesita un mecanismo que permita su activación, en los relés electromecánicos es una bobina como lo indica en la Figura 40. Esta bobina se activa con una señal eléctrica y permite que sus contactos cambien de estado. El relé necesita recibir una señal que energice y active el estado del mismo y una vez desenergizado sus contactos vuelven a la posición original.

Figura 40

Diagrama de relé electromecánico y sus piezas móviles

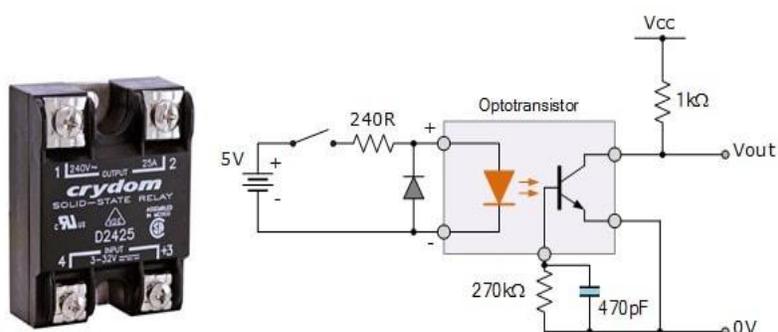


Nota. La Figura indica el relé electromecánico y sus partes. Tomado de *Relés de estado sólido y relés electromecánicos*, por Wendt (2017).

Relé de estado sólido. Un relé de estado sólido como lo afirma Wendt (2017) es un dispositivo que a diferencia del relé electromecánico para su activación utiliza un mecanismo que tiene un optoacoplador para la activación de sus contactos como se ve en la Figura 41.

Figura 41

Relé de estado sólido y su diagrama



Nota. La figura indica el relé de estado sólido y el circuito en donde se puede ver el opto transistor que ayuda a la activación de los contactos del relé. Tomado de *Relés de estado sólido y relés electromecánicos*, por Wendt (2017).

Relé de tiempo. Los relés de tiempo o relés temporizadores son dispositivos que ejecutan una acción después de un tiempo programado previamente en estos. Brito Saldarriaga & Giraldo Betancourt (2010) afirma que estos elementos cambian el estado de sus contactos, es decir, activan o desactivan sus contactos los cuales, una vez transcurrido el tiempo configurado en él, al igual que los contactores, este elemento de control tiene contactos normalmente abiertos y contactos normalmente cerrados los mismos que son de gran ayuda dentro de la automatización de procesos.

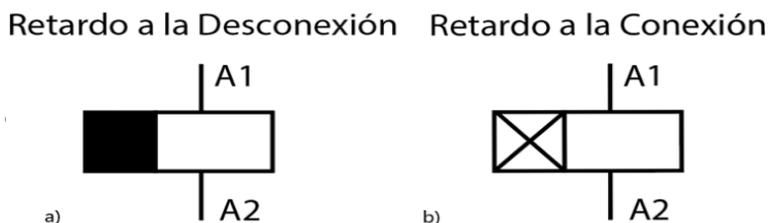
Existen dos tipos de temporizadores, los cuales son:

Con retardo a la conexión: Esto quiere decir que en el temporizador luego de recibir la alimentación necesaria para su activación el tiempo programado empieza a correr y una vez transcurrido ese tiempo los contactos cambian de posición Figura 42 b.

Con retardo a la desconexión: Este tipo de temporizador activa sus contactos una vez que llega la alimentación, una vez que el tiempo programado a transcurrido sus contactos se desactivan Figura 42 a.

Figura 42

Simbología relés temporizadores



Nota. La simbología de la figura representa los relés temporizadores a) retardo a la desconexión y b) retardo a la conexión.

Elementos y software red IoT

Plataforma Arduino IoT Cloud

La plataforma Arduino IoT Cloud es una herramienta en línea que permite crear fácilmente aplicaciones orientadas al internet de las cosas (Inthernet of Things). Como argumenta Söderby (2022) en su publicación la plataforma presenta algunas ventajas como “una interfaz fácil de usar y una solución todo en uno para configuración, escritura de código, carga y visualización”.

Además, que esta plataforma brinda la creación de un tablero en donde se puede colocar diversos widgets los cuales permitirán el monitoreo y sincronización de datos, los mismos que pueden ser programados con comandos, librerías y código de programa utilizado en las Placas de Arduino.

Módulo ESP8266

El módulo ESP8266 es una placa controladora basado en microchip la cual tiene integrado conexión WiFi y es compatible también con los protocolos de comunicación TCP/IP. (Del Valle Hernandez, 2016)

Figura 43*Placa módulo ESP8266*

Esta placa controladora tiene algunas aplicaciones como automatizaciones dentro de casas, cámaras IP, monitoreo de temperatura, control de luces, etc. Hay que tener en cuenta que para las aplicaciones el contar con una adecuada conexión a internet es muy importante pues así se asegurará que la sincronización de datos no se retarde y en el peor de los casos no se pierda.

En la siguiente Tabla se puede observar las características del módulo.

Tabla 9*Características módulo ESP8266*

	Características	Dato
Hardware	CPU	L106 32-BIT
	Alimentación eléctrica	3 V – 3.6 V aunque la empresa Espressif asegura que puede operar con 5 V
	Corriente de trabajo	80 mA
	Temperatura	-40°C – 125°C
	Puerto	Serial UART 2
Conectividad	Soporta IPv4 y protocolos TCP/UDP/HTTP/FTP	

Nota. Las características de la placa ESP8266 fueron obtenidas de la hoja de datos proporcionada de “ESP8266EX Datasheet”, (págs. 7-13), por Espressif Systems (2022)

Pintura electroestática

La pintura electroestática es conocida como un revestimiento epóxido el cual permite dar un acabado que tiene mayor resistencia que la pintura normal, además, es aplicado en materiales ferrosos para dar una protección a las superficies de dichos materiales. Esta pintura presenta varias características que la hacen apropiada para la industria metal metálica, entre estas características se puede resaltar la resistencia que tiene a la corrosión, abrasión, impacto y deformación lenta. El acabado que se obtiene luego de aplicar esta pintura es muy bueno ya que en el proceso de elaboración de esta pintura no se utiliza solventes. (Quijia Gualoto, 2017)

Actualmente el uso de esta pintura en el país ha aumentado debido a los beneficios que traen consigo y por el tipo de acabado que ofrece la misma.

Material aislante y de protección

Dentro del campo productivo correspondiente a Filtración Industrial se elaboran varios tipos de tela No Tejida (Non-Woven) en base a una amplia gama de materiales como el Poliéster, Polipropileno y Nomex, mencionando algunos de los más frecuentes para la fabricación de mangas filtrantes utilizadas en industrias metalúrgicas, cementeras, mineras, alimenticias, de pintura, plantas químicas, entre otras.

Cabe recalcar, que la aplicación de los materiales anteriormente expuestos puede ser explotada dentro de la Industria del Calzado, especialmente para el actual caso de estudio, la etapa de Reactivado, actuando como un agente de protección térmica tanto para los operarios como para el producto mismo evitando así, el contacto directo con la estructura metálica que gradualmente se va calentando.

Filtro no tejido Nomex

Material laminado flexible compuesto de fibras de naturaleza sintética llamada aramida, manufacturadas a partir de un polímero hilado de poliamidas que le otorgan excelentes

propiedades estructurales tales como una elevada estabilidad térmica, estabilidad química, aislamiento eléctrico, resistencia a la radiación, bajo rendimiento a la contracción y retardante a la llama.

La fabricación de este tipo de fibras contempla un proceso mucho más complejo que el poliéster, en consecuencia, se obtiene un incremento en la capacidad de retener polvos, no es tóxico, es inodoro, es capaz de trabajar a mucha mayor temperatura que la mayoría de las otras fibras, posee una alta permeabilidad al aire, una excelente resistencia a la flexión y al desgaste, de igual modo resiste muy efectivamente a la hidrólisis, álcalis, ácidos débiles y solventes orgánicos. La textura de la tela filtrante se puede visualizar en la Figura 44.

(Polímeros y Derivados, 2020)

Figura 44

Tela de filtro no tejido Nomex



Nota. Ilustración del material de la tela no tejida Nomex, filtro de polvo de fieltro punteado.

Tomado de (Anhui Yuanchen Environmental Protection Science & Technology Co., Ltd., 2022)

Concretamente las características específicas que otorga este material se detallan en la Tabla 10, ante todo el punto de interés se centra en su propiedad de resistencia térmica, la cual tras adquirir el material se pudo estudiar su comportamiento a alta temperatura, por medio de una pistola de calor se comprobó que la información de su resistencia a una temperatura pico excede satisfactoriamente los 300 °C, dejando una leve marca del punto de calor.

Tabla 10

Características técnicas del filtro Nomex

Especificación	Unidad	Parámetro
Material	Cara: 100% Nomex	Malla: 100% Nomex
Gramos por metro cuadrado	550g ± 5% g	
Permeabilidad al aire (200 Pa)	20-50 L/dm ³	
Espesor	3,8 ± 0,1mm	
Resistencia a la temperatura	Continua	≤ 204 °C
	Instantáneo	250 °C
Mínimo de resistencia a la rotura	N/50*200mm	Urdimbre: ≥ 800
		Trama: ≥ 1000
Alargamiento a la rotura	%	Urdimbre: ≤ 35
		Trama: ≤ 55
Fuerza de ruptura	2.35 MPa/min	
Tratamiento de superficie	Membrana de PTFE calandrado, chamuscado, térmico	
Resistencia a los ácidos	Buena	
Resistencia a los álcalis	Excelente	
Resistencia a la abrasión	Excelente	
Estabilidad hidrolítica	Buena	
Aplicaciones Industriales	Secado de cemento, polvo de escoria, metal, gas de alto horno en fábrica de acero	

Nota. Las características técnicas se recopilieron acorde al espesor obtenido dentro del mercado nacional. Tomado de (Hangzhou Philis Filter Technology Co., Ltd., 2020)

Capítulo III: Diseño y construcción

Diseño del sistema

El presente capítulo reúne e identifica las características técnicas que debe tener el diseño y construcción del sistema, para lo cual se ha contemplado las necesidades del cliente y los requerimientos técnicos que son necesarios para la solución de problemas como lo sugiere la metodología que se encuentra en la quinta edición del libro “Diseño y desarrollo de productos” de Karl T. Ulrich y Steven D. Eppinger que mezcla puntos claves del marketing, diseño y manufactura con el fin de convertir el problema de un cliente en un producto desarrollado que cubra sus necesidades. El fin de aplicar la metodología de Ulrich & Eppinger (2013) es la de estructurar el proceso de desarrollo de productos para facilitarlos mejorando la toma de decisiones y evitando que se olviden aspectos importantes que se deben tener en cuenta para cumplir satisfactoriamente las necesidades de los clientes.

Necesidad del cliente

Para identificar las necesidades del cliente se realizó una entrevista con el gerente propietario de la empresa Ciara el cual está también encargado del área de producción del calzado y nos supo manifestar cada una de las necesidades primordiales a considerar en la realización del sistema automático de secado y reactivado de calzado. El propósito de esta entrevista fue la búsqueda de información valiosa que permita que el desarrollo del proyecto sea más sencillo y se reconozcan las características técnicas que debe poseer el sistema para cumplir adecuadamente con su función dentro del proceso productivo de la empresa.

Cada una de estas necesidades han sido recopiladas y se muestran en la Tabla 11, a estas también se les ha asignado un valor según su grado de importancia en la escala de 1 a 5 según Ulrich & Eppinger (2013) 1 la necesidad que tiene menos importancia y 5 la necesidad

de más importancia, por lo general las necesidades que tienen un grado más alto son consideradas las más importantes y que se deben analizar críticamente para el desarrollo del producto.

Tabla 11

Necesidades del cliente

Núm.	Necesidad	Imp.
1	El sistema Tamaño reducido	5
2	El sistema Materiales resistentes al calor	4
3	El sistema Distancia de calentamiento adaptable	3
4	El sistema Ajuste y monitoreo de temperatura	5
5	El sistema Económico	5
6	El sistema Modelo ergonómico	3
7	El sistema Monitoreo de producción	3
8	El sistema Diseño multifuncional para todas las tallas	5
9	El sistema Facilidad de operación	3
10	El sistema Fácil Mantenimiento	3
11	El sistema Bajo consumo energético	2
12	El sistema Cuidado de la integridad física del personal	5
13	El sistema Cuidado de la calidad del producto	5
14	El sistema Correcta ubicación de elementos eléctricos y electrónicos	3
15	El sistema Repuestos accesibles dentro del mercado	5
16	El sistema Ventilación focalizada y adecuada a cada fase	5
17	El sistema Adaptación a IoT	4

Nota. La Tabla muestra las necesidades del cliente y el grado de importancia para ser considerada en el diseño del sistema automático de secado y reactivado, estas necesidades están cuantificadas en una escala del 1 al 5.

Adicional a ello existen varios aspectos puntuales a destacar por parte del propietario de la empresa las cuales se enlistan a continuación:

- El espacio que dispone la empresa para la implementación de la máquina es de 1.5 m * 1.5 m.
- La tensión de red eléctrica que debe manejar la máquina es de 220V.
- El operario debe permanecer de pie en un sitio fijo para la acción de carga y descarga del producto, puesto que la máquina prensadora está situada a las espaldas del trabajador, la cual marca el inicio de la siguiente etapa del proceso de fabricación del calzado.
- El accionamiento para la carga y descarga del producto se debe efectuar por medio del pie, debido a que ambas manos siempre se encuentran en actividad, ya sea juntando ambas partes del calzado o colocando el producto unido en la prensa, es decir, tendrá el uso de un pedal eléctrico.
- El cambio entre la etapa de Secado y la de Reactivado, debe realizarse de manera automática, con el fin de que el operario se enfoque solamente en cargar y descargar ambas partes del calzado.
- El tiempo de Secado y de Reactivado debe ser posible de variar de forma independiente acorde a las necesidades de producción.
- El mecanismo porta-hormas y porta-suelas debe poseer la capacidad de ajustar su altura hacia el sistema de calentamiento y de ventilación.

Especificaciones técnicas del sistema

Ya con las necesidades del cliente se procede a utilizar las métricas como se muestra en la Tabla 12. Las métricas son especificaciones en lenguaje de ingeniería que intenta reflejar el grado al cual el producto satisface al cliente, estas especificaciones deben ser precisas y medibles.

Tabla 12*Especificaciones técnicas del sistema*

Núm.	Métricas
1	Estructura mecánica adecuada
2	Mantenimiento sencillo y eficaz
3	Material termorresistente y aislante
4	Manual de operación
5	Componentes eléctricos, electrónicos y mecánicos comunes en el mercado
6	Bajo costo de manufactura
7	Implementación de una plataforma web
8	Optimización de Diseño CAD
9	Correcto sistema de ventilación
10	Controladores de temperatura
11	Distribución y consumo eléctrico eficiente
12	Cumplimiento de la Normativa de Seguridad
13	Tiempo adecuado de reactivación y secado
14	Registro de los datos de producción
15	Valores de temperatura

Nota. Las especificaciones técnicas son las necesidades del cliente mostradas en la Tabla 12 traducidas a un lenguaje técnico.

Desarrollo de la función de calidad o QFD

El siguiente paso es realizar el análisis entre las necesidades del cliente y las especificaciones técnicas; se utiliza la herramienta gráfica conocida como QFD. Según Gómez Villoldo (2017) la matriz QFD es una herramienta que permite tomar decisiones sobre el diseño de un determinado producto, servicio o una mejora que está en desarrollo este proceso analiza e identifica las características técnicas que se debe cumplir para la satisfacción del cliente.

Otro autor afirma lo siguiente:

La matriz QFD aporta una visión objetiva a la hora de diseñar un producto, prioriza las características necesarias que se deben cumplir e identifica los aspectos que deben mejorar para hacerle frente a la competencia. (Bernal, 2012)

La QFD según Yacuzzi & Martín (2003) es una matriz de relación entre las necesidades del cliente (QUÉ) y las características técnicas (CÓMO) para ello se identifica en qué nivel cada una de estas características técnicas ayuda a satisfacer las necesidades del cliente en la Tabla 13 se muestra la simbología utilizada por este método y el valor asignado dependiendo del nivel de relación que tiene.

Tabla 13

Valores de relación entre qué y cómo

Relación	Símbolo	Valor
Fuerte	●	9
Media	○	3
Débil	△	1

Nota. La tabla muestra el valor cuantitativo que existe entre la relación necesidad y especificación técnicas, así como también el símbolo que representa a cada una.

También existe una relación que se da entre los CÓMO menciona VILLAROEL DUQUE (2015) que existen 4 niveles según el nivel de impacto que tenga una acción sobre otra en la Tabla 14 se muestra su simbología y significado.

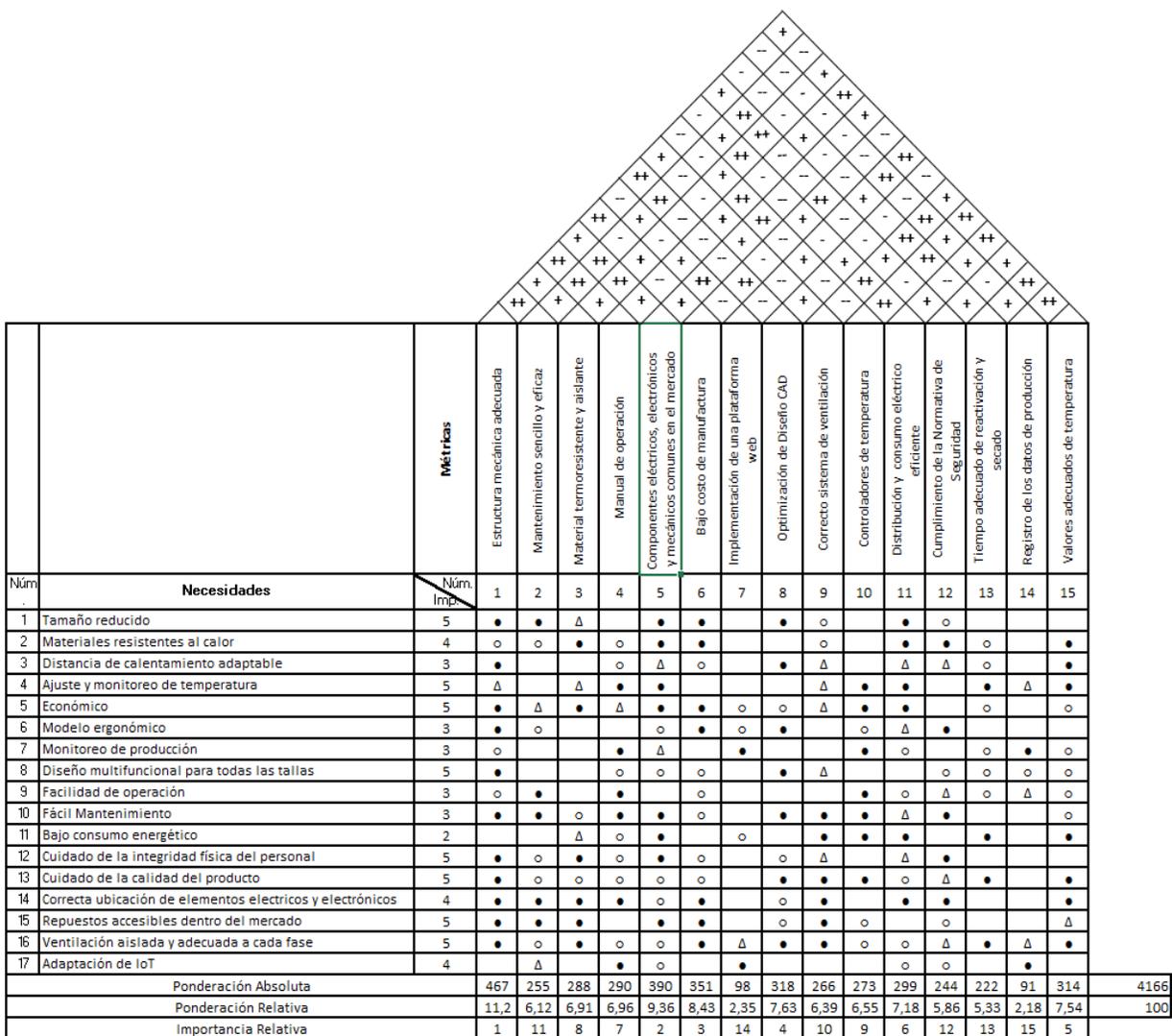
Tabla 14

Relación entre cómo y cómo

Símbolo	Significado
++	Fuertemente positiva
+	Positiva
-	Negativa
--	Fuertemente Negativa

Figura 45

Matriz QFD o casa de la calidad



Nota. La figura representa la casa de la calidad para el diseño, construcción e implementación de un sistema automático de secado y reactivado de suelas y capellada de calzado en el mismo se puede observar las relaciones entre las necesidades de la empresa Ciara y las especificaciones técnicas para el desarrollo del sistema.

Análisis de los resultados obtenidos con la casa de la calidad

Una vez realizada la matriz QFD y analizado el grado de relación QUÉ-CÓMO se puede identificar los requerimientos técnicos que tienen mayor impacto dentro del proyecto estos requerimientos se consideraran los más importantes y los que se deben cumplir para satisfacer las necesidades del cliente.

- Estructura mecánica adecuada
- Uso de componentes eléctricos, electrónicos y mecánicos comunes en el mercado
- Bajo costo de manufactura
- Optimización del diseño CAD

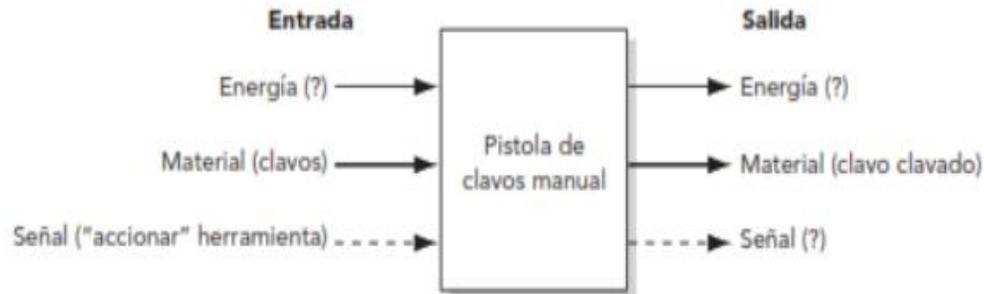
Estructura funcional del sistema

Con el fin de garantizar la satisfacción del cliente se procede a diseñar un producto; durante este proceso se puede identificar retos que son demasiado complejos y no se los puede considerar como un solo problema con el fin de facilitar el desarrollo de los productos se divide en subproblemas que son más sencillos de solucionar.

“El primer paso para descomponer un problema funcionalmente es representarlo como una caja negra que opera en flujos de material, energía y señales, como se ve en la Figura 46. Las líneas continuas finas denotan la transferencia y conversión de energía, las continuas gruesas representan el movimiento de material dentro del sistema y las líneas discontinuas son las señales de flujos de control y retroalimentación dentro del sistema. Esta caja negra representa la función general del producto.” Ulrich & Eppinger (2013)

Figura 46

Diagrama funcional de una pistola de clavos manual



Nota. Ejemplo de descomposición de un problema funcional en subproblemas. Tomado del libro *Diseño y desarrollo de producto*, por Ulrich & Eppinger (2013) página 124.

“El siguiente paso es dividir la caja en subfunciones para crear una descripción más específica de lo que los elementos del producto podrían hacer para implementar la función general del producto, cada subfunción puede dividirse en otras subfunciones más sencillas”
Ulrich & Eppinger (2013)

El sistema automático de secado y reactivado de suelas y capellada de calzado tiene las siguientes funciones principales:

- Facilidad de carga y descarga de suelas y capelladas en horma.
- Calentamiento de las resistencias eléctricas.
- Control de movimiento de porta-suelas y porta-hormas.
- Reactivar el adhesivo del calzado.
- Control de ventiladores.
- Controlar la temperatura adecuada de reactivación.
- Monitorear la producción mediante IoT.

Función global y despliegue de estructura funcional

La función global del sistema de secado y reactivado es la reactivación del adhesivo utilizado en las suelas y la capellada del calzado para posteriormente pasar a la prensa para su unión. En la Figura 47 se muestra la función global del sistema automático de secado y reactivado de suelas y capellada de calzado.

Figura 47

Función global del sistema



Una vez establecida la función global del sistema automático de secado y reactivado de suelas y capellada se puede desglosar las siguientes subfunciones:

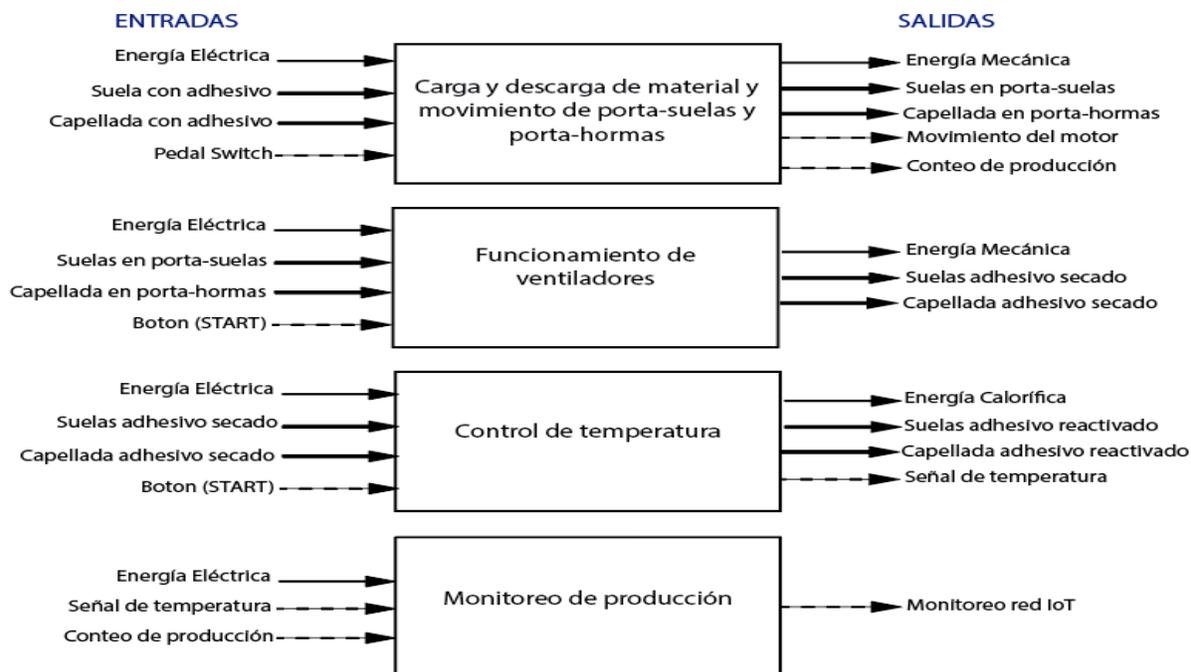
1. Carga y descarga de material y movimiento de porta-suelas y porta-hormas
2. Funcionamiento de ventiladores
3. Control de temperatura
4. Monitoreo de producción

En la Figura 48 se puede observar cada una de las subfunciones con sus respectivas entradas y salidas, se puede ver que las primeras tres están coordinadas y deben funcionar de forma secuencial, pues el primer módulo hace que el producto (suelas y capelladas) sean cargados y descargados al horno mediante el pedal para posteriormente pasar a la etapa de secado, seguido de la etapa de reactivado, conjuntamente las señales generadas por el pedal

switch como del valor de la temperatura que marcan los controladores servirán para el monitoreo mediante la red IoT.

Figura 48

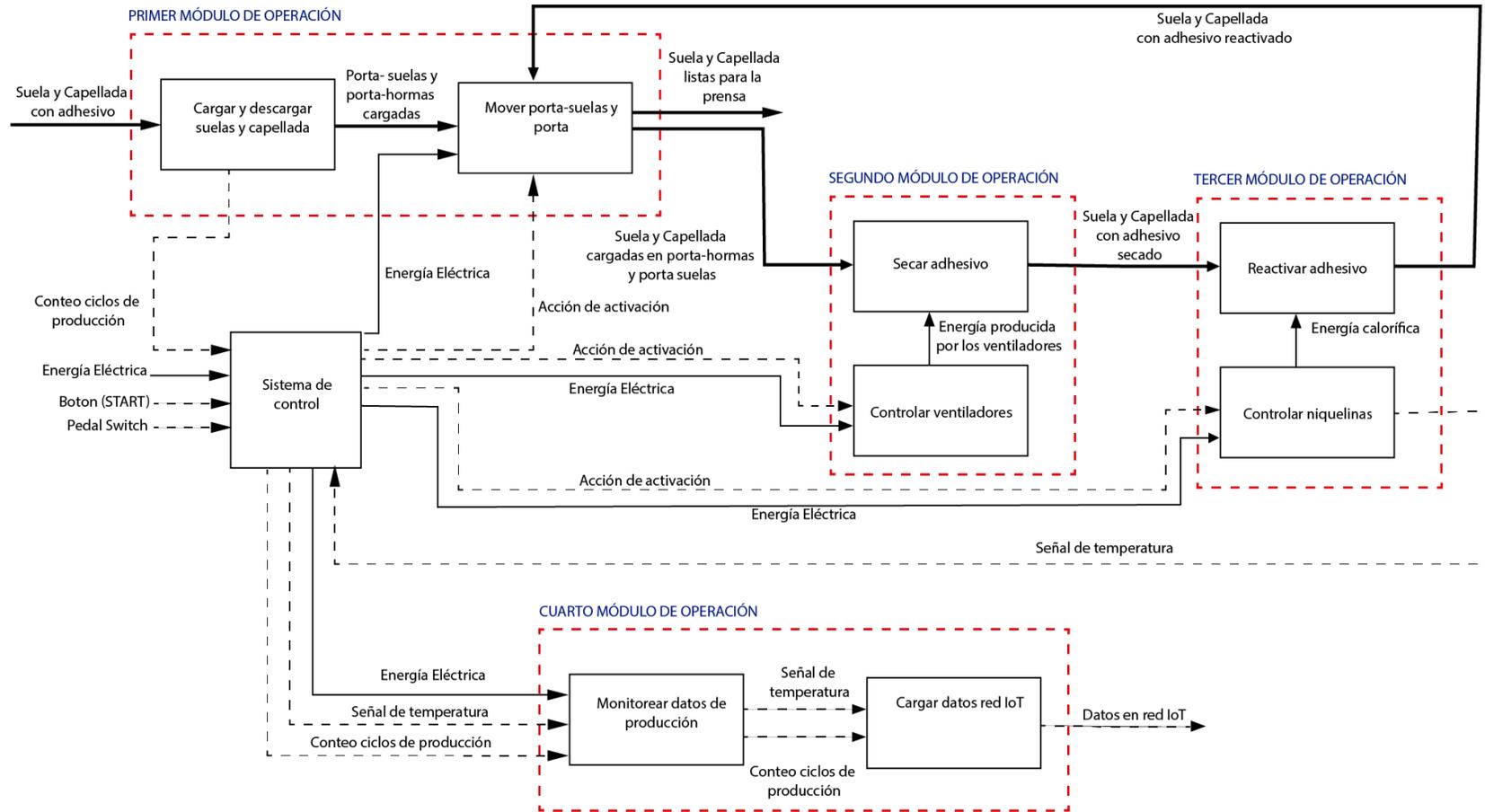
Módulos principales del sistema



Cada uno de los módulos principales del sistema tienen una interconexión, las mismas que se pueden observar en la Figura 49, igualmente la caja de control desde donde se va a controlar el funcionamiento coordinado de cada función, así como las señales que son utilizadas para el monitoreo mediante IoT.

Figura 49

Estructura funcional del sistema



Selección de conceptos

Para cada uno de los módulos que permiten que el sistema funcione correctamente se debe realizar un filtrado y una evaluación de conceptos de cada elemento a utilizar en el sistema para establecer la solución de los problemas y a su vez disponer de varias opciones, cada elemento se debe analizar técnicamente para elegir la opción que mejor se acople a solucionar el problema y satisfacer al cliente.

Módulo 1. Movimiento de porta-suelas y porta-hormas

El módulo 1 se centra en la carga de las suelas y las capelladas del calzado que ingresan al horno y una vez reactivado, se realiza la descarga y nuevamente la carga de suelas y capelladas en el segundo cargamento, y así sucesivamente. Para ello se debe producir un movimiento rotativo en las porta-suelas y porta-hormas el cual se lo realiza con un motor de la marca SESAME que tiene una caja reductora, el cual fue proporcionado por la empresa, no obstante, se hace un filtrado de conceptos para conocer otro tipo de actuador que podría funcionar como una opción B para el sistema, mismo que será seleccionado entre varias alternativas y bajo ciertos criterios de acuerdo a las necesidades del cliente.

Filtrado de conceptos. Según Ulrich & Eppinger (2013) el filtrado de conceptos es un análisis rápido y ayuda a seleccionar las alternativas más viables para solucionar un problema o cumplir con una función dentro de un sistema; el propósito es tener el concepto individual que haga que un proyecto sea exitoso. Para el filtrado se utiliza códigos que ayudan a identificar conceptos potenciales que se detallan a continuación:

- + “Mejor que”
- 0 “Igual a”
- “Peor que”

Evaluación de conceptos. Según Ulrich & Eppinger (2013) la evaluación de conceptos es utilizada cuando una mayor resolución debe tener una mejor diferencia entre los conceptos que se están analizando. Esta etapa es un análisis cuantitativo en donde se pondera en una escala de 1 a 5 la importancia de los criterios de selección y se determina el concepto a utilizar según el resultado obtenido por la suma de las calificaciones.

Filtrado de conceptos actuadores para movimiento de suelas y capellada. En la Tabla 15 se puede observar el proceso de filtrado de conceptos de los actuadores que se pueden utilizar para el movimiento de suelas y capelladas.

Tabla 15

Evaluación de conceptos actuador movimiento de suelas y capelladas

Criterios de Selección	Conceptos						
	Actuador movimiento de suelas y capelladas						
	Motor		Banda transportadora			Pistón	
	Peso	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada
Costo	20%	4	0,8	2	0,4	3	0,6
Pequeño	15%	5	0,75	2	0,3	2	0,3
Fácil Instalación	5%	3	0,15	3	0,15	4	0,2
Disponibilidad en el mercado	20%	5	1	3	0,6	3	0,6
Fácil de controlar	10%	3	0,3	5	0,5	1	0,1
Facilidad de mantenimiento	10%	3	0,3	4	0,4	2	0,2
Robustez	20%	4	0,8	4	0,8	5	1
Total, Puntos	100%		4,1		3,15		3
Lugar			1		2		3
Resultado			Desarrollar		No		No

Una vez realizado el análisis que se muestra en la Tabla 15 se puede ver que la mejor opción en cuanto al actuador que ayudará con el movimiento tanto para carga como para descarga de suelas y capelladas dentro del sistema es el Motor. Como la empresa Ciara disponía de un motor con una caja reductora que es utilizado normalmente para un horno asador de pollos industrial, éste fue utilizado en el presente sistema.

Por otro lado, la segunda opción que se estima como actuador es la banda transportadora ya que también se acerca en gran medida a cumplir con las necesidades del cliente. Incluso la tercera opción del pistón puede resultar viable dependiendo del tipo de estructura que se vaya a diseñar ya que puede aportar un movimiento de entrada y salida para varias bandejas.

Módulo 2. Secado del adhesivo y ventilación

El módulo 2 corresponde al secado del adhesivo, y adicional a ello la función de ventilación de las cámaras que conforman el horno Secador-Reactivador, para ello se ha considerado la selección de varias alternativas de acuerdo a las características específicas que presentan las mismas y el grado de utilidad que aportan a cumplir con el objetivo de esta etapa en el sistema.

Filtrado de conceptos actuadores para el secado del adhesivo y ventilación. En la selección de conceptos presente en la Tabla 16 que se muestra a continuación se puede ver las diversas alternativas en actuadores que podrán ser utilizados para la ventilación del módulo actual.

Tabla 16

Filtrado de conceptos módulo 2 secado del adhesivo y ventilación

Criterios de Selección	Conceptos				
	Actuadores módulo 2				
	Ventilador Extractor CENTURY	Ventilador COMMONWEA LTH	Ventilador SUNON	Ventilador MGR	Ventilador BLOWER
Económico	-	+	+	+	-
Facilidad de instalación	-	+	0	0	-
Tamaño	-	+	-	-	-
Fuente de alimentación	0	0	-	-	0
Facilidad de manejo	0	0	+	+	0
Robustez Industrial	+	0	-	-	+
Suma +	1	3	2	2	1
Suma 0	2	3	1	1	2
Suma -	3	0	3	3	3
Evaluación Neta	-2	3	-1	-1	-2
Lugar	5	1	2	3	4
¿Continuar?	No	Si	Revisar	Revisar	No

Para el módulo 2 que corresponde a la etapa de Secado del adhesivo y Ventilación del horno secador-reactivador luego del filtrado de conceptos se obtiene tres opciones para un mayor análisis y se procede a la siguiente etapa, la evaluación de conceptos como se muestra en la Tabla 17.

Evaluación de conceptos actuadores para el secado del adhesivo y ventilación.

Una vez obtenido los resultados del filtrado se realiza una evaluación cuantitativa de los tres conceptos finales, para ello se le asigna una ponderación de 1 al 5 a cada concepto y según cada criterio.

Tabla 17

Evaluación de conceptos módulo 2 secado del adhesivo y ventilación

Criterios de Selección	Conceptos						
	Actuador módulo 2						
	Ventilador COMMONWEALTH			Ventilador SUNON		Ventilador MGR	
	Peso	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada
Disponibilidad en el mercado	15%	5	0,75	5	0,75	5	0,75
Económico	15%	4	0,6	5	0,75	5	0,75
Facilidad de instalación	20%	5	1	3	0,6	2	0,4
Tamaño	20%	5	1	2	0,4	2	0,4
Fuente de alimentación	10%	5	0,5	3	0,3	3	0,3
Facilidad de manejo	5%	4	0,2	4	0,2	4	0,2
Robustez Industrial	15%	3	0,45	2	0,3	3	0,45
Total, Puntos	100%		3,75		2,55		2,50
Lugar			1		2		3
Resultado			Desarrollar		No		No

Luego de la evaluación cuantitativa se obtiene como resultado que el concepto que satisface todas las necesidades en el módulo 2 es el ventilador COMMONWEALTH.

Módulo 3. Reactivado del adhesivo

El módulo 3 se trata del control de temperatura del sistema, este módulo es el punto primordial del proyecto y corresponde a la etapa de reactivado de la capa de adhesivo aplicado en suelas y capelladas, por ende, se efectuará un filtrado y evaluación de conceptos tanto de los controladores como del sistema de calentamiento que va a poseer el horno secador-reactivador.

Filtrado de conceptos actuadores para el reactivado del adhesivo. En la Tabla 18 se puede observar el proceso de filtrado de conceptos de los actuadores a utilizar para el proceso de reactivado del adhesivo de suelas y capelladas.

Tabla 18

Filtrado de conceptos actuadores de reactivado del adhesivo

Criterios de Selección	Conceptos				
	Actuador reactivado de adhesivo				
	Lámpara de calor	Lámpara infrarroja	Sistema de convección forzada	Niquelina de Cuarzo	Niquelina Metálica
Costo	+	-	-	+	+
Fácil Manejo	+	-	-	+	+
Fácil Instalación	-	-	-	0	0
Disponibilidad en el mercado	0	0	-	+	+
Fácil de controlar	+	-	-	0	0
Facilidad de mantenimiento	-	+	0	+	+
Durabilidad	+	+	+	0	+
Eficiencia	-	0	+	0	0
Tamaño	0	-	-	+	-
Suma +	4	2	2	5	5
Suma 0	2	2	1	4	3
Suma -	3	5	6	0	1
Evaluación Neta	1	-3	-4	5	4
Lugar	3	4	5	1	2
¿Continuar?	Revisar	No	No	Si	Revisar

Para el módulo 3 que corresponde a la etapa de reactivación del sistema luego del filtrado de conceptos se obtiene tres opciones para un mayor análisis y se procede a la etapa de evaluación de conceptos.

Evaluación de conceptos actuadores para el reactivado del adhesivo. Una vez terminada la etapa de filtrado de conceptos se procede a la evaluación de conceptos de los actuadores para el reactivado del adhesivo como se muestra en la Tabla 19. Se utiliza la escala del 1 a 5 antes mencionada.

Tabla 19

Evaluación de conceptos actuadores de reactivado del adhesivo

Criterios de Selección	Conceptos						
	Actuador reactivado de adhesivo						
	Lámpara de calor			Niquelina de Cuarzo		Niquelina Metálica	
	Peso	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada
Costo	20%	4	0,8	4	0,8	4	0,8
Fácil Manejo	10%	3	0,3	4	0,4	4	0,4
Fácil Instalación	5%	5	0,25	5	0,25	4	0,2
Disponibilidad en el mercado	15%	5	0,75	5	0,75	5	0,75
Fácil de controlar	5%	3	0,15	4	0,2	4	0,2
Facilidad de mantenimiento	5%	2	0,1	4	0,2	4	0,2
Durabilidad	10%	4	0,4	4	0,4	5	0,5
Eficiencia	20%	3	0,6	5	1	3	0,6
Tamaño	10%	2	0,2	4	0,4	4	0,4
Total, Puntos	100%		3,55		4,40		4,05
Lugar			3		1		2
Resultado			No		Desarrollar		No

Luego de la evaluación cuantitativa se obtiene como resultado que el mejor actuador para el reactivado del adhesivo del calzado son las niquelinas de cuarzo.

Filtrado de conceptos controladores para los actuadores del sistema de reactivación. En la etapa de reactivado será necesario el uso de unos controladores que permitan la manipulación de la temperatura, para ello se consideraron algunos conceptos de los controladores que existen en el mercado y se realizó el filtrado de conceptos bajo los criterios de la Tabla 20.

Tabla 20

Filtrado de conceptos controladores del sistema de reactivación

Criterios de Selección	Conceptos					
	Controlador reactivado de adhesivo					
	Termostato Digital Incubadora STC1000	Termostato Digital STC3028	Sensor Temperatura Termostato W1209	Pirómetro Digital CH102	Termostato Control de Temperatura a Rainbow	Termostato Digital Incubadora STC3008
Costo	0	0	0	0	0	0
Fácil Manejo	+	+	0	+	-	+
Fácil Instalación	-	+	-	+	-	+
Disponibilidad en el mercado	0	0	0	0	0	0
Rango de temperatura	-	0	0	+	-	0
Durabilidad	0	+	-	+	0	+
Alimentación	0	0	-	0	0	0
Tipo de controlador	-	-	-	+	-	-
Precisión	+	-	0	0	-	0
Entrada de Sensor	-	0	-	+	-	0
Salidas	0	0	-	+	0	+
Tamaño	-	0	-	+	+	+
Suma +	2	3	0	8	1	5
Suma 0	5	7	5	4	5	6
Suma -	5	2	7	0	6	1
Evaluación Neta	-3	1	-7	8	-5	4
Lugar	4	3	6	1	5	2
¿Continuar?	Revisar	Revisar	No	Si	No	Revisar

Ya realizado el filtrado de conceptos de los controladores se obtiene tres posibles resultados que serán analizados más profundamente para elegir la opción que tiene las mejores especificaciones.

Evaluación de conceptos controladores para los actuadores del sistema de reactivación. Una vez elegidos los tres posibles controladores que se apegan más a los criterios de selección se realiza una evaluación de conceptos para elegir el que mejor cumple con las especificaciones técnicas del sistema automático de secado y reactivado. En la Tabla 21 se observa la evaluación cuantitativa para ello también se utiliza la escala de 1 al 5 para este análisis cuantitativo.

Tabla 21

Evaluación de conceptos controladores del sistema de reactivación

Criterios de Selección	Conceptos						
	Controlador reactivado de adhesivo						
	Termostato Digital STC3028			Pirómetro Digital CH102		Termostato Digital Incubadora STC3008	
	Peso	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada
Costo	5%	5	0,25	5	0,25	4	0,2
Fácil Manejo	20%	3	0,6	4	0,8	4	0,8
Fácil Instalación	10%	2	0,2	5	0,5	2	0,2
Disponibilidad en el mercado	10%	4	0,4	4	0,4	4	0,4
Rango de temperatura	20%	2	0,4	5	1	2	0,4
Durabilidad	5%	4	0,2	4	0,2	4	0,2
Alimentación	3%	4	0,12	4	0,12	4	0,12
Tipo de controlador	5%	2	0,1	5	0,25	2	0,1
Precisión	5%	4	0,2	3	0,15	3	0,15
Entrada de Sensor	5%	2	0,1	5	0,25	2	0,1
Salidas	10%	3	0,3	5	0,5	3	0,3
Tamaño	2%	2	0,04	5	0,1	2	0,04
Total, Puntos	100%		2,91		4,52		3,01
Lugar			3		1		2
Resultado			No		Desarrollar		No

Ya realizado el filtrado de conceptos se obtiene que el controlador con una mejor relación costo - beneficio es el pirómetro digital CH102.

Módulo 4. Red IoT

El módulo 4 trata del diseño y desarrollo de la red IoT, este módulo permitirá que se monitoree en tiempo real y mediante una red de internet algunos datos del sistema como la temperatura que alcanzan los actuadores en las cámaras de suelas y capelladas, también contabilizar los ciclos de producción del sistema automático de secado y reactivado, para ello se realiza un filtrado y evaluación de conceptos de los dispositivos disponibles en el mercado que permitirán la creación de la red IoT.

Filtrado de conceptos placa para la red IoT. En el desarrollo de proyecto un punto que se debe tener en cuenta es el diseño y desarrollo de una red IoT la cual servirá para el monitoreo de algunos datos del sistema como son la temperatura y los ciclos de producción, para ello se buscó dentro del mercado electrónico y a través de la web diferentes placas que permitan realizar una conexión a internet y subir los datos a una plataforma IoT.

También se buscaron las características de dichas placas con la intención de facilitar un filtrado de conceptos bajo los criterios de selección detallados en la Tabla 22 a fin de obtener el modelo que más se adapte con el propósito del sistema.

Tabla 22

Filtrado de conceptos placa para la red IoT

Criterios de Selección	Conceptos					
	Placa para red IoT					
	SmartEverything	ESP8266	ESP32	Placa WeMos D1 R2 Wifi Uno	MÓDULOS IOT DE MICROCHIP	Raspberry Pi 3
Económico	-	+	+	-	-	-
Fácil programación	-	+	+	0	-	0
Fácil Instalación	0	0	0	0	0	0
Disponibilidad en el mercado	-	+	+	-	-	+
Compatibilidad	-	+	+	0	-	+
Alimentación	0	0	0	0	0	+
Entradas	-	0	-	+	-	+
Salidas	-	+	-	+	-	+
Tamaño	0	0	0	0	0	-
Suma +	0	5	4	2	0	5
Suma 0	3	4	3	5	3	2
Suma -	6	0	2	2	6	2
Evaluación Neta	-6	5	2	0	-6	3
Lugar	6	1	3	4	5	2
¿Continuar?	No	SI	Revisar	No	No	Revisar

Ya realizado el filtrado de conceptos de las placas que pueden aportar en el desarrollo de la red IoT se obtienen tres posibles resultados que serán analizados más profundamente para elegir la opción que tiene las mejores especificaciones.

Evaluación de conceptos placa para la red IoT. Ya realizado el filtrado de conceptos de las placas que se pueden utilizar para la red IoT se procede con la evaluación de conceptos la misma que se observa en la Tabla 23 que es una evaluación cuantitativa para ello también se utiliza la escala de 1 al 5.

Tabla 23

Evaluación de conceptos placa para la red IoT

Criterios de Selección	Conceptos						
	Controlador placa para red IoT						
	ESP8266		ESP32		Raspberry Pi 3		
	Peso	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada
Económico	25%	5	1,25	5	1,25	2	0,5
Fácil programación	10%	5	0,5	5	0,5	4	0,4
Fácil Instalación	5%	4	0,2	4	0,2	3	0,15
Disponibilidad en el mercado	25%	4	1	4	1	4	1
Compatibilidad	5%	3	0,15	3	0,15	4	0,2
Alimentación	5%	5	0,25	5	0,25	5	0,25
Entradas	5%	4	0,2	3	0,15	5	0,25
Salidas	5%	4	0,2	3	0,15	5	0,25
Tamaño	15%	5	0,75	4	0,6	3	0,45
Total, Puntos	100%		4,50		4,25		3,45
Lugar			1		2		3
Resultado			Desarrollar		No		No

Luego de la evaluación de conceptos se obtiene que la mejor opción para la elaboración de la red IoT es la placa ESP8266.

Selección del material termorresistente

Filtrado de conceptos material termorresistente. El uso de un adecuado recubrimiento a los sistemas porta-hormas y porta-suelas con un material termorresistente otorgará una mayor seguridad al operario evitando el contacto físico con la estructura metálica caliente, además las propiedades específicas del material deben proteger la integridad del calzado, es decir, cuidar a la capellada de marcas, quemaduras o manchas. Por ello la Tabla 24 expone los criterios de selección para varias opciones de materiales especiales.

Tabla 24

Filtrado de conceptos material termorresistente

Criterios de Selección	Conceptos					
	Material Termorresistente					
	Plancha Celfil	Filtro Nomex	Silicona de alta temperatura	Elastómeros Termoplásticos	Plancha Asbesto	Caucho Neolite
Económico	+	0	-	+	-	0
Resistencia a alta temperatura (>150°C)	-	+	+	0	+	0
Flexibilidad	0	+	-	+	-	0
Dureza	0	0	+	-	+	0
Espesor	-	+	+	-	+	+
Peso	+	+	-	+	-	0
Disponibilidad nacional	+	+	-	+	0	+
No tóxico	0	+	0	0	-	0
Resistencia química	+	+	+	-	0	-
Suma +	4	7	4	4	3	2
Suma 0	3	2	1	2	1	6
Suma -	2	0	4	3	4	1
Evaluación Neta	2	7	0	1	-1	1
Lugar	2	1	5	4	6	3
¿Continuar?	Revisar	SI	No	No	No	Revisar

Al establecer las tres opciones más adecuadas para la finalidad antes mencionada dentro del proyecto, se procede a realizar la evaluación de conceptos correspondiente.

Evaluación de conceptos material termorresistente. Ya realizado el filtrado de las alternativas tentativas para el material termorresistente que se pueden emplear dentro de las cámaras de calentamiento se procede con la evaluación de conceptos de los mismos, en la Tabla 25 realiza una evaluación cuantitativa para ello también se utiliza la escala de 1 al 5.

Tabla 25

Evaluación de conceptos material termorresistente

Criterios de Selección	Conceptos						
	Material Termorresistente						
	Filtro Nomex			Plancha Celfil		Caucho Neolite	
	Peso	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada
Económico	15%	4	0.6	5	0.75	4	0,6
Resistencia a alta temperatura (>150°C)	25%	5	1.25	4	1	3	0,75
Flexibilidad	10%	5	0,5	3	0,5	3	0,3
Dureza	5%	4	0.2	4	0.2	4	0.2
Espesor	10%	5	0,5	3	0,3	4	0,4
Peso	10%	5	0,5	5	0,5	2	0,2
Disponibilidad nacional	15%	3	0,45	5	0,75	5	0,75
No tóxico	5%	5	0,25	4	0,2	3	0,15
Resistencia química	5%	5	0,25	4	0,2	2	0,1
Total, Puntos	100%		4,50		4,40		3,45
Lugar			1		2		3
Resultado			Desarrollar		No		No

La opción que mejores resultados promete, es el filtro Nomex, cuyas propiedades mecánicas son notablemente superior a todas las demás elecciones, gracias a que la empresa mexicana Polímeros y derivados que dispone de una oficina en el centro del país, se pudo adquirir este excelente material de manera muy accesible.

Diseño mecánico del sistema automático de secado y reactivado

Para el diseño del sistema automático de secado y reactivado es necesario conocer cómo es el funcionamiento del mismo, por consiguiente, se investigó algunos de los sistemas que existen en el mercado con el fin de obtener información del proceso de diseño, tales como dimensiones, actuadores y mecanismos que se pueden utilizar para el diseño e implementación del proyecto.

Principio de funcionamiento

El sistema automático de secado y reactivado de calzado propuesto funciona por medio de un actuador que mueve porta-suelas y porta-hormas simultáneamente en donde son colocadas las suelas y capelladas con el adhesivo, a través de aire generado por varios actuadores este adhesivo se seca para luego pasar a la siguiente etapa, la cual es el reactivado de dicho adhesivo mediante energía calorífica a una cierta temperatura durante un tiempo específico dependiendo desde luego del tipo de material que se utilice para la elaboración del calzado, posterior a ello el actuador inicial (motor) mueve suelas y hormas reactivadas que salen para ser unidas meticulosamente y así ser enviadas a la prensadora neumática.

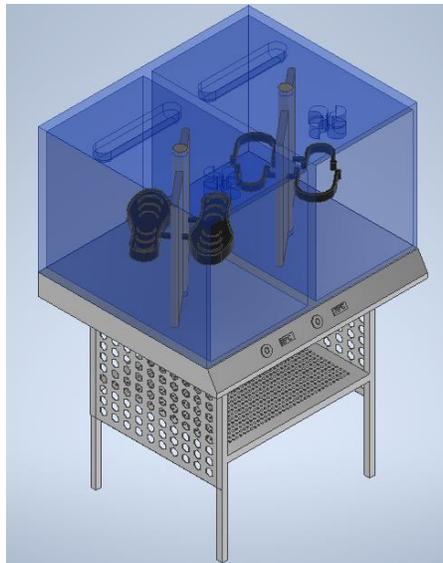
Diseño CAD del sistema automático de secado y reactivado

Al contemplar la disponibilidad de materia prima, componentes mecánicos, eléctricos y la capacidad tecnológica que otorga la sociedad ecuatoriana, se han llevado a cabo varias propuestas de diseño a través de bosquejos de diferentes prototipos modelados con la ayuda del Software Autodesk Inventor que se adecuan en menor y mayor medida a los requerimientos de la empresa Ciara, dichos puntos son detallados en el apartado de Necesidades del cliente.

Diseño del primer prototipo. En la Figura 50 se visualiza el boceto preliminar del primer prototipo, el cual se caracteriza por su tamaño reducido y gran comodidad para la carga y descarga del producto. Posee dos cámaras independientes cuya sección posterior está destinada a la etapa de Reactivado, mientras que la sección frontal se encarga de la etapa de Secado del adhesivo aplicado tanto en las capelladas en horma como en las suelas.

Figura 50

Modelo CAD del primer prototipo



Sin embargo, este modelo presenta varias desventajas y dificultades:

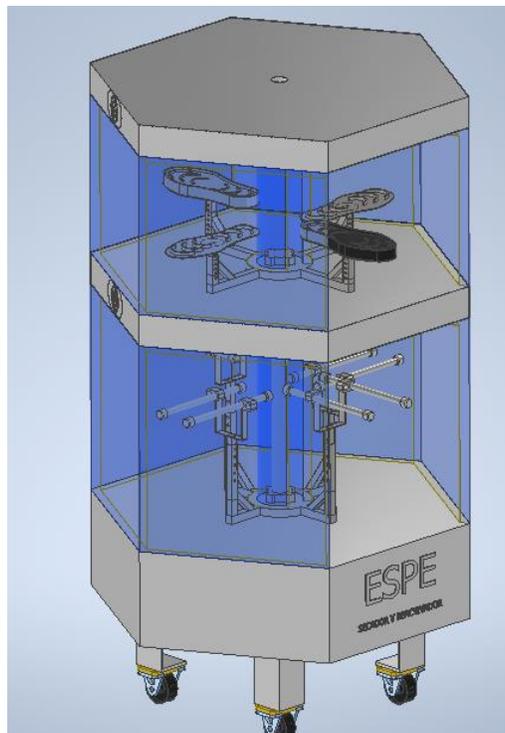
- Ausencia de un espacio aislado del ambiente exterior para la etapa de Secado, este problema provoca que el polvo u otras partículas del entorno se adhieran en el pegamento, reduciendo así su grado de fijación.
- Al ser un sistema compacto, la capacidad de producción es sumamente limitada, con la mínima cantidad de un par de zapatos durante cada etapa.
- Como el avance del proceso es consecutivo a su etapa complementaria, mientras el operario no culmine la unión de las piezas y cargue el siguiente lote, el producto que se

encuentra en la cámara de reactivado deberá permanecer allí con el riesgo a la acumulación de temperatura.

Diseño del segundo prototipo. La Figura 51 presenta un segundo modelo en función a una mejor producción, este diseño se destaca por disponer de dos pisos los cuales permiten el giro sincrónico de dos tipos de mecanismos en donde serán colocadas las suelas y las capelladas en horma, posee una capacidad para cuatro pares de zapatos, el sistema de secado y ventilación estará conectado al exterior por medio de un ducto hacia una de las paredes de la máquina con el objetivo de obtener un flujo de aire fresco y con la implementación de una puerta se obtendrá un sistema aislado del entorno, evitando así las fugas de calor y acumulación de polvo.

Figura 51

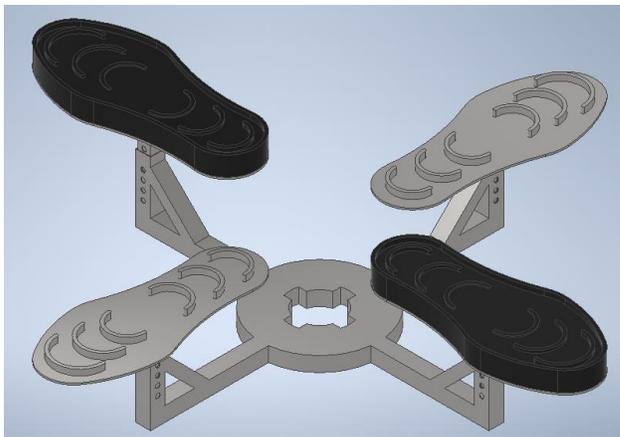
Modelo CAD del segundo prototipo



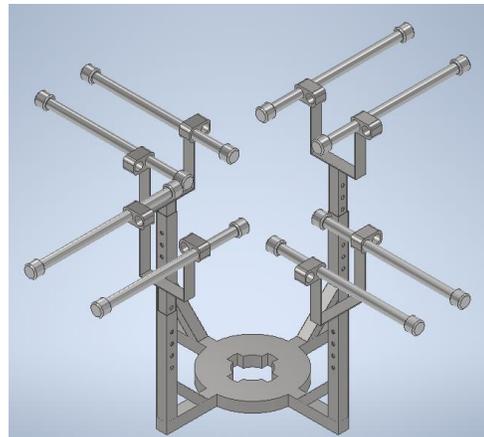
Para el requerimiento de la altura regulable, en el caso de que se pretenda acerca o alejar el producto del sistema de ventilación o calentamiento se planteaba diseñar un sistema ajustable con varios orificios en el tubo cuadrado que se encuentra acoplado con el subsistema de giro, tal como se muestra en la Figura 52.a para las suelas y en la Figura 52.b para las capelladas en horma.

Figura 52

Modelos de mecanismos para el movimiento del producto



52.a)



52.b)

Nota. 52.a) subsistema de giro para suelas 52.b) subsistema de giro para hormas

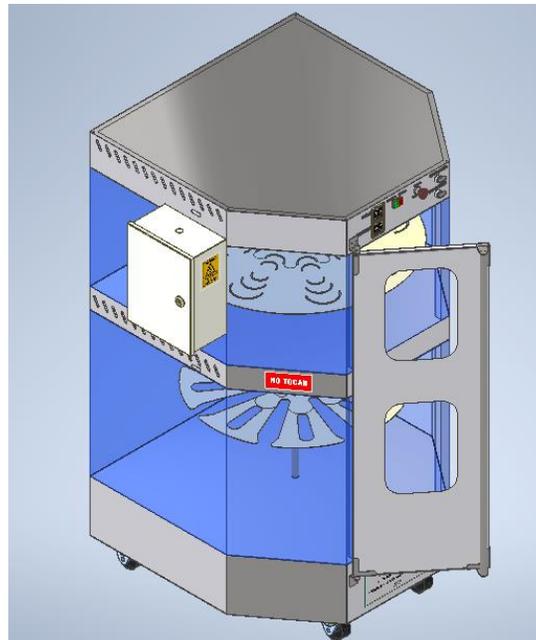
No obstante, las desventajas que posee este sistema son:

- El espacio de trabajo dentro de las cámaras de calentamiento no se aprovecha totalmente.
- Los subsistemas de giro demuestran un diseño obsoleto, además de que su manufactura representaría un gasto económico innecesario en comparación con producción generada.

Diseño del tercer prototipo. Tras una investigación de campo en diversas empresas dedicadas a la fabricación de hornos industriales, cocinas y equipos en acero inoxidable para la industria alimentaria, junto con los aspectos técnicos tratados por el talento humano de la empresa Ciara finalmente se obtuvo un diseño eficaz, adecuado y sobre todo en cumplimiento con todos los puntos de análisis, este modelo se muestra en la Figura 53.

Figura 53

Modelo CAD final del sistema



Las características generales que posee este modelo son:

- Mantiene una estructura de doble piso, el cual proporciona un giro simultaneo del mecanismo porta-horma con el mecanismo porta-suela que van sujetos a un eje central que está conectado a un motor eléctrico.
- Dos mecanismos en forma de disco rotativo para la carga y descarga del calzado.
- Los sistemas de calentamiento y de ventilación están situados en la pared superior de sus respectivas cámaras.

- La instrumentación industrial (pulsador doble de Encendido/Apagado, selectores de doble posición, paro de emergencia y controladores de temperatura) será colocada en la parte superior de la máquina.
- Un tablero de control que estará ubicado en la pared lateral izquierda de la estructura.
- La colocación de 4 garruchas en los bordes inferiores de la máquina, en donde las 2 ruedas giratorias frontales contarán con un freno industrial para una fácil movilización.

Al igual que el filtrado y evaluación de conceptos del sistema automático de secado y reactivado para el diseño mecánico se considerará la misma categorización en los módulos que se desglosan en la Figura 49.

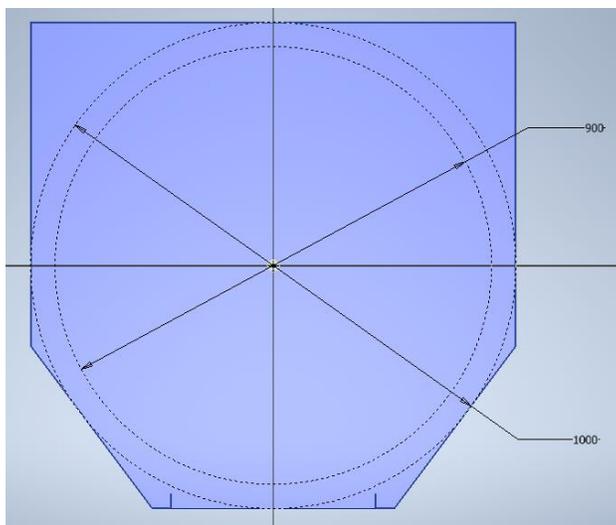
Módulo 1. Carga/Descarga de suelas y capellada y movimiento de porta-suelas y porta-hormas

El módulo 1 permitirá la rotación del producto a través de la concierne cámara de calentamiento, por lo tanto, se diseñó un mecanismo que se adapte a todos los tamaños y formas de suelas y hormas a trabajar, y que además aproveche al máximo el área de trabajo disponible dentro de las zonas de calor para que así ingrese una mayor cantidad de pares de zapatos y se pueda cumplir con el objetivo de aumentar la producción.

Diseño mecánico del sistema de giro porta-hormas. El diseño del mecanismo para situar las capelladas sobre horma contempló realizar primeramente una base circular que opere dentro de un área de 90 cm de diámetro, dejando un espacio libre de 5 cm hasta las paredes internas que conforman el marco de la estructura total de la máquina cuyo espacio de trabajo es de 1 metro de diámetro, tal como lo muestra la Figura 54, este espacio está destinado para la colocación del material de aislamiento térmico y para la libre traslación de la capellada alrededor de la cámara.

Figura 54

Dimensionamiento de la base circular para capelladas en horma



Nota. Las dimensiones del gráfico están representadas en milímetros.

Considerando que la dimensión radial de trabajo es de 45 cm se procede a sustraer el tamaño promedio del calzado con la talla más grande que se comercializa en el mercado nacional, los registros que otorgan tanto la página de Marathon Sports Ecuador en su Guía de tallas expuesta en la Figura 3 junto con la información de producción de la empresa Ciara se obtiene que;

$$D_c = r - l_g \quad (3.1)$$

Donde:

D_c = Distancia entre el centro del eje al extremo del calzado de mayor longitud.

r = Radio total del sistema porta-horma

l_g = Longitud del calzado con la talla más grande que se encuentra en el mercado nacional

Si la longitud de un zapato de talla 45, que equivale a 30 cm como la mayor medida de calzado elaborado en el mercado ecuatoriano, y que consta además dentro del historial de producción de la empresa, se calcula una distancia de;

$$D_c = 45 \text{ cm} - 30 \text{ cm}$$

$$D_c = 15 \text{ cm}$$

$$D_c = 150 \text{ mm}$$

En segundo lugar, se dimensionaron los diferentes modelos de hormas que se utiliza en la empresa Ciara, la Tabla 26 presenta las medidas y pesos generales que poseen varias de las tallas de calzado formal y zapato deportivo más usadas.

Tabla 26

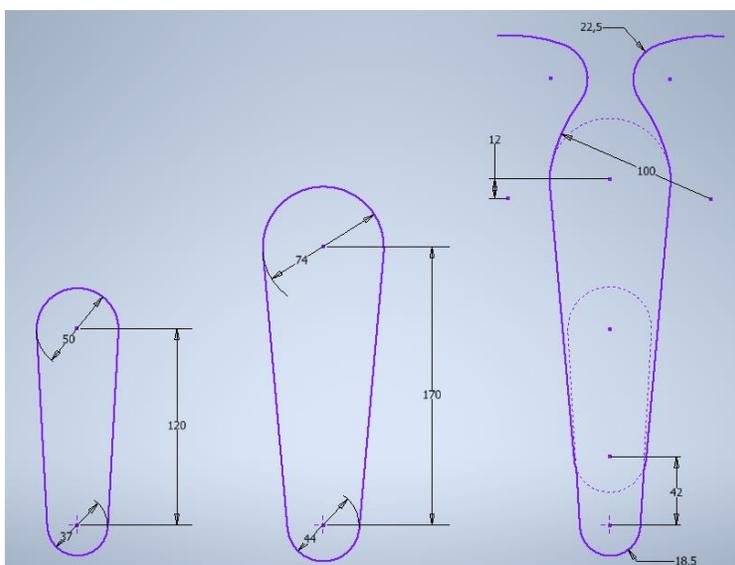
Características generales de las hormas que dispone la empresa Ciara

Número de talla	Peso (gr)	Dimensiones (mm)			
		Longitud	Anchura talón	Anchura plantar	Anchura tobillo
19	178	130	40	55	12
21	197	135	40	55	18
24	265	164	44	63	25
29	437	193	50	75	24
30	449	210	60	80	25
33	478	220	52	80	23
36	722	240	55	84	30
37	821	250	55	80	31
38	888	255	60	88	30
39	879	260	62	88	28
40	994	265	65	88	35
41	1043	270	63	94	37

Con los datos recopilados, se procede a realizar un diseño adaptable a la superficie de todas las tallas tabuladas. Por lo que en la Figura 55 se desglosan tres contornos diferentes, de manera que a la izquierda se visualiza la silueta para hormas pequeñas, concretamente desde la talla 19 hasta la 30, del mismo modo en el centro se muestra la silueta para las hormas más grandes, es decir, desde la talla 30 en adelante y como resultado a la derecha se observa la superposición de las dos formas anteriores para que así puedan calzar perfectamente todos los tamaños que se desee elaborar.

Figura 55

Diseño adaptable para todos los tamaños de calzado



Nota. Las dimensiones del gráfico están representadas en milímetros.

Tras obtener el contorno adaptable para todas las tallas, se procede a calcular el radio límite que alcanzará esta silueta con respecto al eje central, tomando varias de las mediciones que se muestran en la Figura 55.

$$R_l = D_c - (s_c - r_2) \quad (3.2)$$

Donde:

R_l = Límite del radio interior entre el centro del eje y el extremo del contorno para capelladas

D_c = Distancia entre el centro del eje al extremo del calzado de mayor longitud.

s_c = Distancia entre los centros inferiores del contorno para hormas pequeñas y grandes

r_2 = Radio inferior del contorno para hormas grandes

$$R_l = 150 \text{ mm} - (42 \text{ mm} - 22 \text{ mm})$$

$$R_l = 130 \text{ mm}$$

Con este resultado se pretende encontrar la cantidad máxima de capelladas en horma que contendrá el sistema de giro porta-hormas, ya que la orientación de las capelladas en horma está destinada a colocarse en forma inversa al disco, es decir, el perímetro del tobillo en dirección al piso y el talón hacia el eje central de la máquina debido a que su medida es menor en comparación al ancho plantar, permitiendo así una mejor distribución del calzado alrededor de la base circular.

A continuación, se determina el perímetro existente en el límite del radio interior;

$$P_1 = 2\pi * R_l \quad (3.3)$$

Donde:

P_1 = Perímetro de la circunferencia límite interna

R_l = Límite del radio interior entre el centro del eje y el extremo del contorno para capelladas

$$P_1 = 2\pi * (130mm)$$

$$P_1 = 816.814 mm$$

Un aspecto importante que se mencionó en la charla con el personal técnico de la empresa, es que entre cada capellada en horma debe existir una separación de 3 cm por lado, para evitar un posible contacto o choque con dos capelladas continuas, esto de manera preventiva ya que existe una extensa variedad de modelos de zapatos que se comercializan actualmente, entonces, se define la siguiente ecuación;

$$C_t * e + C_t * d_1 = P_1 \quad (3.4)$$

Donde:

C_t = Cantidad máxima de calzado

e = Separación estimada entre capelladas en horma

d_1 = Diámetro inferior del contorno para hormas pequeñas

P_1 = Perímetro de la circunferencia límite interna

$$C_t * (65 mm) + C_t * (37 mm) = 816.814 mm$$

$$102 C_t = 816.814$$

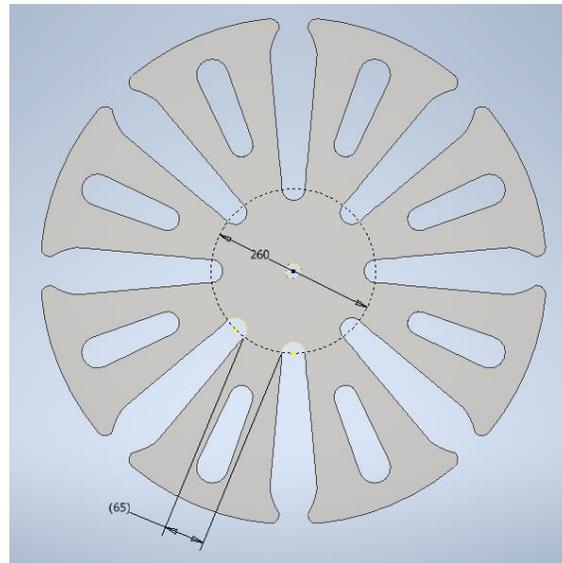
$$C_t = 8.008 \approx 8$$

El resultado de la ecuación anterior nos permite conocer la cantidad máxima de calzado que se puede cargar en el disco rotativo teniendo en cuenta la separación adecuada de 65 mm entre el producto. Dando como resultado el modelo de la Figura 56, la cual se exploró además la opción de añadir el contorno para hormas pequeñas en el espacio libre consiguiendo duplicar

la capacidad de carga, misma que será sometida a un análisis estructural, para determinar si el diseño es viable y seguro.

Figura 56

Sistema de giro porta-hormas

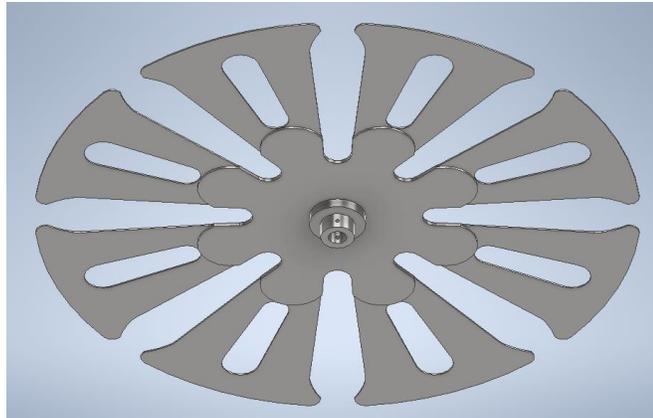


Nota. Las dimensiones del gráfico están representadas en milímetros.

Dado que el área total del disco rotativo es de una considerable dimensión (800 mm), se contempla reforzarlo con una pieza adicional en la parte inferior, fortaleciendo los puntos críticos de la estructura. Por último, tal como se distingue en la Figura 57 se coloca un elemento de fijación al eje central de tipo brida de acoplamiento, junto a un tornillo prisionero que otorgue el requerimiento de una altura regulable, con el objeto de acercarse o alejarse del sistema de calentamiento y ventilación de manera sencilla.

Figura 57

Elementos de fijación y refuerzo para el sistema de giro porta-hormas



Análisis estructural del sistema de giro porta-hormas. El análisis estático que se realizó en el sistema de giro porta-hormas contempla la acción de 16 fuerzas aplicadas a toda la estructura.

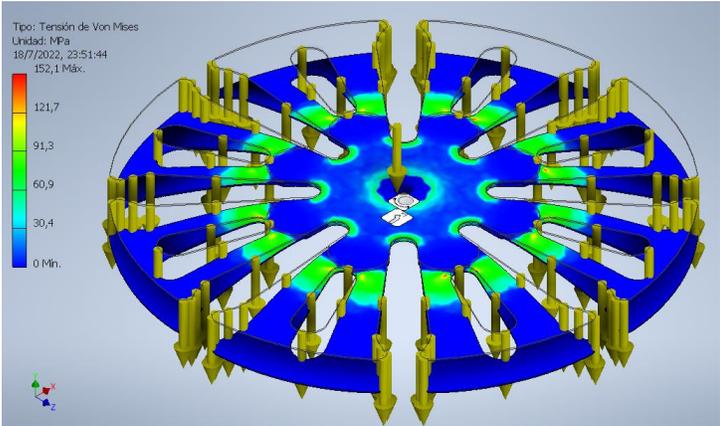
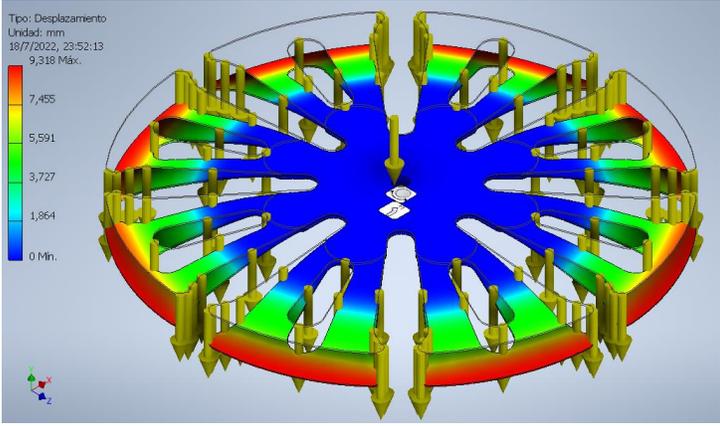
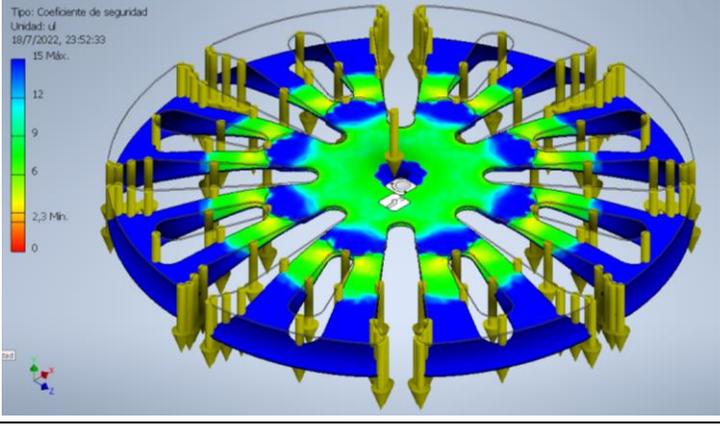
En el contorno adaptable general se está estimando el peso de la horma de mayor tamaño registrada en la Tabla 26, con un peso máximo de 1043 gramos para una talla 41, sumado el leve peso del armado del zapato y una presión inicial de aproximadamente 4 Kg por parte de operario al momento de cargar el producto, se obtiene una fuerza total de 60 N para cada uno de los 8 espacios que se dispone.

Adicional a ello, en el caso de que se utilice la capacidad máxima para 16 capelladas en horma, usando el perfil para las tallas pequeñas, se fija un peso máximo de 449 gramos correspondiente a una talla 30, añadiendo de igual manera el peso del armado y una menor presión inicial por parte del operario (en torno a los 2 Kg), se obtiene una fuerza total de 30 N para cada uno de los 8 espacios que se dispone.

De esta manera, la Tabla 27 presenta los resultados generados por el Análisis CAE.

Tabla 27

Resultado del análisis CAE en el software Autodesk Inventor

Descripción	Gráfico	Resultado
Tensión de Von Mises		Esfuerzo Máximo 152.1 MPa
Desplazamiento		Desplazamiento Máximo 9.318 mm
Factor de seguridad		$N = 2.3$

Cabe recalcar que el tipo de carga dispuesta sobre el disco rotativo es de forma estática, basada en que la fuerza al momento de ubicar el producto se aplica desde un valor inicial y su magnitud se mantiene constante durante el proceso de Secado y Reactivado.

Y gracias a los resultados conseguidos en la Tabla 27, se puede resolver que el sistema de giro porta-hormas es seguro, ya que con la vasta cantidad de cargas ejercidas a la estructura se obtuvo un factor de seguridad de 2.3 y un desplazamiento máximo de 9.318 milímetros.

Cumpliendo así, con el criterio de seguridad de diseño para cargas estáticas, expuesto en el libro Resistencia de Materiales por Robert L. Mott, de aquí que, en la Figura 58 se designó como apropiado coeficiente de diseño de módulo 2 o mayor.

Figura 58

Factor de diseño para cargas estáticas, repetidas y de impacto

Forma de carga	Factor de diseño	Esfuerzo cortante de diseño
Cargas estáticas	Use $N = 2$	$\tau_d = s_y/4$
Cargas repetidas	Use $N = 4$	$\tau_d = s_y/8$
Choque o impacto	Use $N = 6$	$\tau_d = s_y/12$

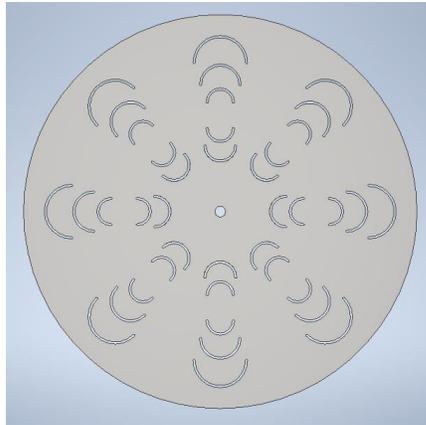
Nota. El gráfico muestra la selección del factor de diseño para cargas estáticas. Tomado de Resistencia de materiales (pág. 721), Mott, R. L., Salas, R. N., Flores, M. A. R., & Martínez, E. B, 2009, Pearson Educación.

Diseño mecánico del sistema de giro porta-suelas. El diseño del mecanismo para cargar las suelas se lleva a cabo de una manera más sencilla y efectiva, dado que las plantas de los zapatos serán únicamente colocadas ordenadamente acorde a los 8 contornos

distintivos mostrados en la Figura 59, ejerciendo una mínima cantidad de presión. Por ende, se utilizará la base circular entera operando dentro del área de 90 cm de diámetro.

Figura 59

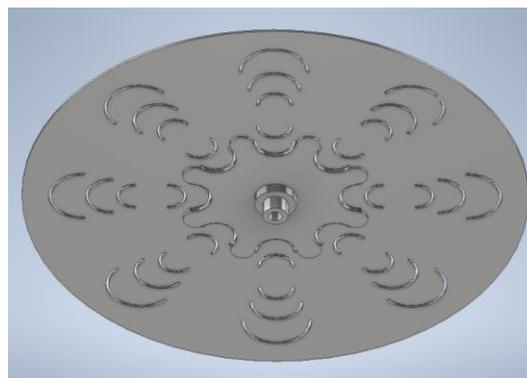
Sistema de giro porta-suelas



De manera semejante al sistema porta-hormas se reforzará el disco rotativo con una pieza adicional en la parte inferior, otorgando mayor robustez a la integridad de la estructura. Además, como se percibe en la Figura 60 se colocará un elemento de fijación al eje central de tipo brida de acoplamiento, el cual fue descrito anteriormente.

Figura 60

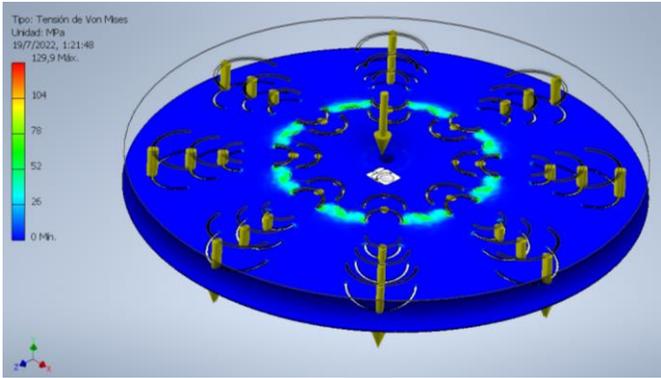
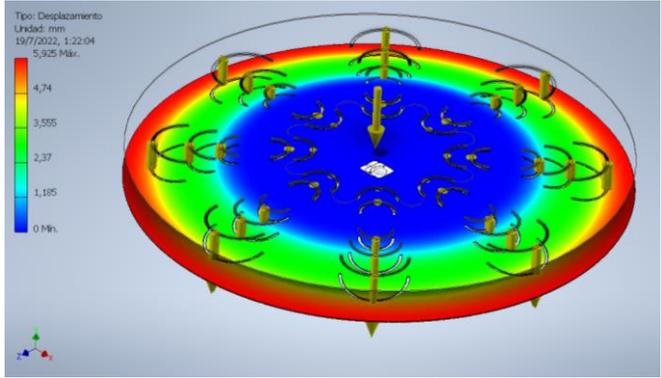
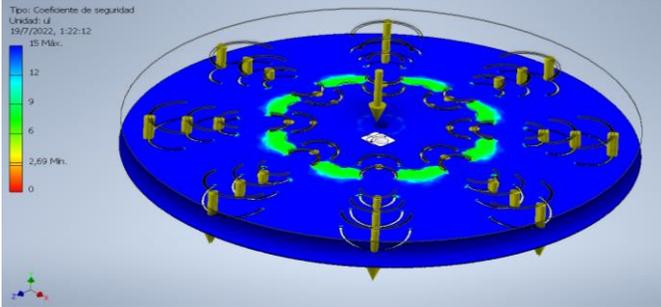
Elementos de fijación y refuerzo para el sistema de giro porta-suelas



Análisis estructural del sistema de giro porta-suelas. Para el análisis estático del sistema porta-suelas se considerará la aplicación de 8 fuerzas estáticas distribuidas en las zonas de carga, con un valor máximo de 50 N cada una, claramente tomando en cuenta un peso de suelas de gran magnitud.

Tabla 28

Resultado del análisis CAE en el software Autodesk Inventor

Descripción	Gráfico	Resultado
Tensión de Von Mises	 <p>Tipo: Tensión de Von Mises Unidad: MPa 19/7/2022, 1:21:48 129.9 M_{áx.} 104 78 52 26 0 M_{ín.}</p>	<p>Esfuerzo Máximo 129.9 MPa</p>
Desplazamiento	 <p>Tipo: Desplazamiento Unidad: mm 19/7/2022, 1:22:04 5.925 M_{áx.} 4.74 3.555 2.37 1.185 0 M_{ín.}</p>	<p>Desplazamiento Máximo 5.925 mm</p>
Factor de seguridad	 <p>Tipo: Coeficiente de seguridad Unidad: - 19/7/2022, 1:22:12 2.69 M_{áx.} 1.2 0.9 0.6 0.369 M_{ín.} 0</p>	<p>$N = 2.69$</p>

Conforme al criterio de seguridad para cargas estáticas presentado en la Figura 58, se obtiene también un diseño seguro para el sistema porta-suelas, con un factor de seguridad de 2.69, acatando reiteradamente un valor igual o mayor a un coeficiente de 2, según lo establece Robert L. Mott en el libro Resistencia de materiales.

Módulo 2 y 3. Ventilación - secado y reactivado de adhesivo

Ya que el módulo 2 y 3 contempla el diseño de la estructura mecánica general del sistema, se consideraron todos los aspectos puntuales detallados en la Tabla 11, correspondiente a las necesidades del cliente.

Con relación a la cámara de calentamiento para las suelas se tendrá una altura de 50 cm, los cuales estarán distribuidos de la siguiente manera:

- Los 10 cm superiores para los ventiladores y resistencias eléctricas
- Los 25 cm intermedios para regular el disco rotativo acorde a las necesidades del cliente
- Los 15 cm inferiores como espacio seguro para el ajuste o desmontaje del prisionero.

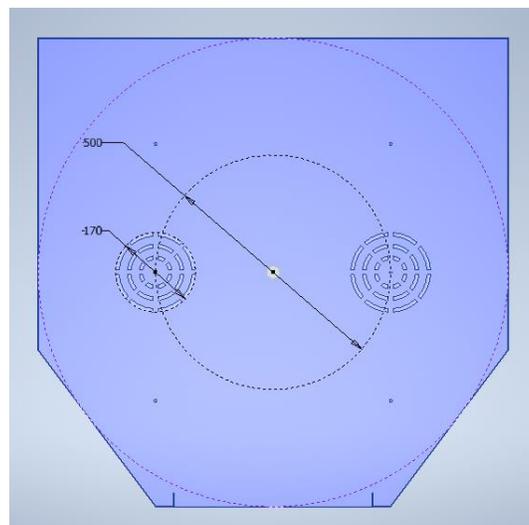
Con relación a la cámara de calentamiento para las hormas se tendrá una altura de 70 cm, los cuales estarán distribuidos de la siguiente manera:

- Los 10 cm superiores para los ventiladores y resistencias eléctricas
- Los 25 cm intermedios para regular el disco rotativo acorde a las necesidades del cliente
- Los 35 cm inferiores para que calzado de tipo bota cuyo largo no exceda dicha dimensión pueda circular de manera libre.

Diseño mecánico del sistema de ventilación y secado del adhesivo. Tras seleccionar y evaluar los conceptos para el actuador encargado de la etapa de Secado del adhesivo, se pretende colocar dos ventiladores modelo COMMONWEALTH en las paredes superiores de cada una de las cámaras de calentamiento debido al gran volumen de la estructura, la Figura 61 muestra el lugar en donde serán instalados, tomando la mitad del espacio de trabajo total, es decir, a los 25 cm desde el punto central del eje y en el material se cortará dos rendijas circulares de 17 cm de diámetro para la ventilación con la ayuda de una cortadora plasma CNC.

Figura 61

Dimensionamiento para la colocación de los ventiladores



Nota. Las dimensiones del gráfico están representadas en milímetros.

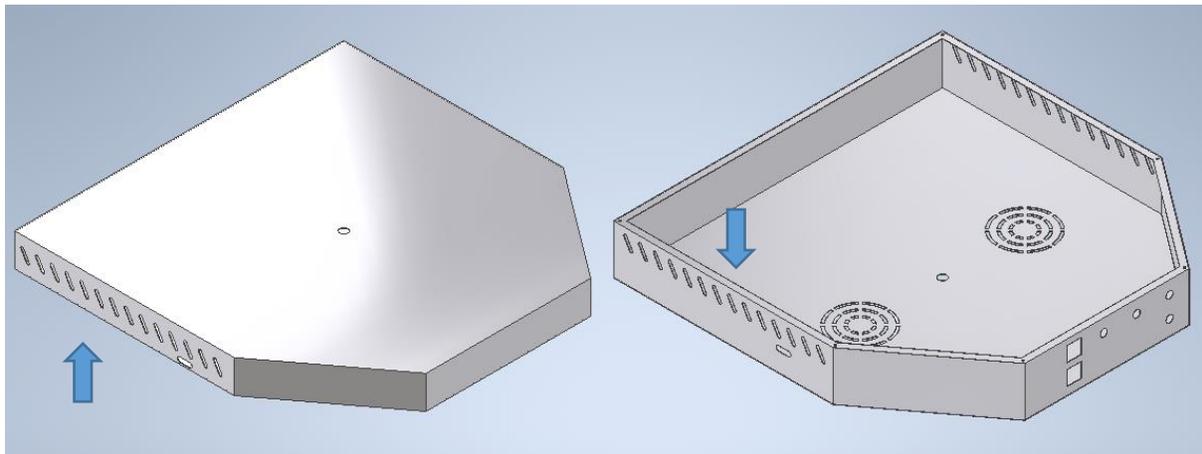
El objetivo de incorporar los dos ventiladores con sus respectivas rendijas circulares de ventilación para cada cámara de calentamiento es para cumplir con tres funciones simultaneas:

- La primera función es desempeñar de la mejor manera la etapa de secado, obteniendo aire fresco del exterior de la máquina por medio de varias rendijas de ventilación

situadas en las paredes laterales de las estructuras que conectan las cámaras 1 y 2, estas aberturas fueron diseñadas en forma de una matriz lineal y se observan en la Figura 62.

Figura 62

Modelado de las rendijas de ventilación



Además, con la ayuda de las rendijas circulares situadas en la parte inferior/superior del ventilador, se suministrará un flujo de aire frío tomado del entorno exterior, el cual es indispensable para secar el adhesivo aplicado en las suelas y capelladas en horma que se encuentran cargados en los discos rotativos porta-horma y porta-suela.

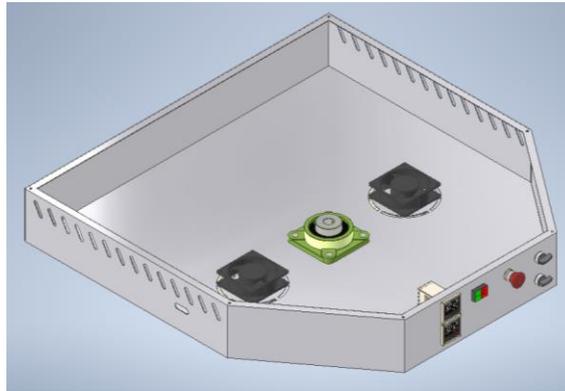
- La segunda función es la expulsión y disipación de la energía calorífica acumulada en la máquina tras varias horas ininterrumpidas de uso y como se dispusieron dos ventiladores, esto nos permite abarcar un mayor rango de aireación. Por consiguiente, se destinó un control manual para la activación y desactivación de estos actuadores, por medio de un selector de dos posiciones para cuando el operario crea conveniente utilizarlo.

- La tercera función es alargar la vida útil de las resistencias eléctricas y la estructura del horno como tal, ya que el constante flujo de aire producido por los ventiladores que están situados por encima de las niquelinas de cuarzo durante el proceso de Reactivado, en primera instancia impulsará el calor hacia la zona inferior de las cámaras en donde se halla el producto y en segundo lugar se mantendrá como un sistema de enfriamiento tanto para las resistencias eléctricas como para las paredes metálicas de sus alrededores.

La Figura 63, expone una vista final de cómo se instalarán los ventiladores a la estructura mecánica del horno secador – reactivador.

Figura 63

Vista del modelo CAD para la colocación de ventiladores



Diseño mecánico del sistema de calentamiento. Tras la obtención de las resistencias eléctricas de cuarzo para la red eléctrica de 220 V, adquiridas en TESLA Industrial, empresa ambateña dedicada a la comercialización de instrumentos eléctricos y electrónicos, las cuales se dimensionaron bajo las siguientes características técnicas:

- Diámetro del tubo de Cuarzo: 20 mm
- Longitud del tubo: 460 mm

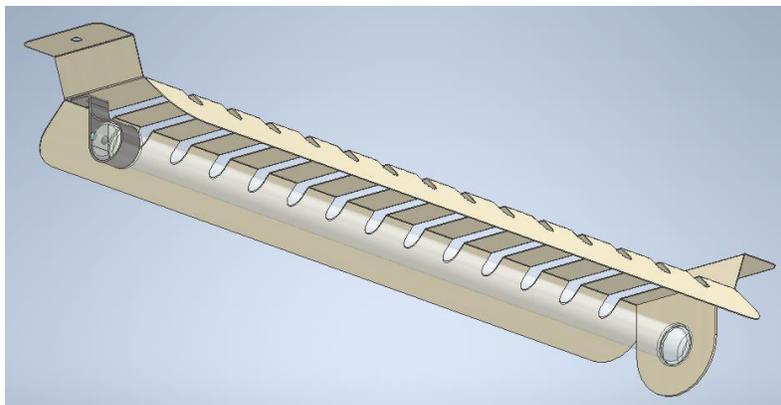
- Longitud total: 500 mm
- Potencia: 1100 watts (W)
- Voltaje: 220 VAC

Se procedió a diseñar una pieza que soporte la niquelina de cuarzo, denominado normalmente como deflector de calor, con ciertos aspectos clave para una correcta complementación con el sistema de ventilación.

- El deflector posee una serie lineal de aberturas que permiten a la niquelina recibir el flujo del aire generado por los ventiladores, situados por encima.
- El modo de sujeción para la niquelina, está dado por una pieza fija en su sección posterior, mientras que frente al operario se ensamblará una pequeña pieza semejante a un suncho o abrazadera metálica desmontable, la cual brindará un sencillo cambio de resistencias. Estas consideraciones se visualizan en la Figura 64.

Figura 64

Modelado del deflector para las resistencias eléctricas



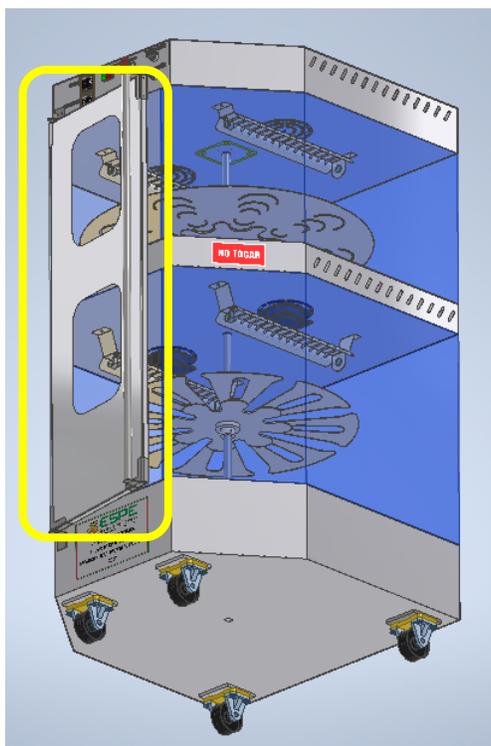
Para terminar, ya que el principio de funcionamiento del sistema es fundamentalmente la de un horno industrial se debe obtener una recirculación estable del flujo de aire caliente

emitido por la resistencia eléctrica y que, con la ayuda de los ventiladores este calor seco se distribuya uniformemente por todo el interior de la cámara de calentamiento.

Por ello se diseñó una única puerta metálica que cubre ambas cámaras y cuyos bordes internos serán recubiertos con una tira de caucho termoplástico cuyo apriete con del marco frontal del horno secador - reactivador permitirá un sellado térmico adecuado, y será reforzada con un vidrio templado de 6 mm de espesor, como se aprecia en la Figura 65.

Figura 65

Modelado CAD de la puerta metálica ensamblada al sistema



Diseño eléctrico y electrónico del sistema automático de secado y reactivado

Anteriormente se definieron los conceptos o elementos a utilizar en cada uno de los módulos del sistema automático de secado y reactivado de calzado, los mismos que fueron seleccionados según los requerimientos que necesita el equipo, por lo tanto, se concluyó que

es necesario utilizar una alimentación eléctrica monofásica y bifásica para asegurar el funcionamiento adecuado durante el ciclo de trabajo de la empresa.

En la Tabla 29 se puede observar los elementos eléctricos y electrónicos a utilizar en el sistema automático de secado y reactivado de calzado estos elementos fueron previamente seleccionados mediante el filtrado y evaluación de conceptos.

Tabla 29

Elementos eléctricos y electrónicos utilizados en el sistema

Elemento	Descripción	Cantidad	Voltaje	Potencia
Motor con caja reductora SESAME	Ayudará al movimiento simultáneo del eje central y del porta-suelas y porta-hormas del horno.	1	120V	90 W
Ventilador COMMONWEALTH	Mismo que permitirá la ventilación y secado del adhesivo de suelas y capelladas del calzado	4	120 V	45 W
Niquelinas de Cuarzo	Actuadores que permitirán el reactivado del adhesivo mediante la energía calorífica que producen	4	220V	1100 W
Pirómetro Digital CH102	Controladores de los actuadores de energía calorífica en este caso las niquelinas de cuarzo	2	85 V - 265 V	-
Lámparas	Iluminación de las cámaras de reactivación	2	120V	40 W

Elemento	Descripción	Cantidad	Voltaje	Potencia
Temporizadores CAMSCO	Controladores del tiempo de ventilación y reactivado en las cámaras de suelas y capelladas	2	AC 110V, 220V, 380V, 440V / DC 12V, 24V	-
Relés de estado sólido Maxwell	Ayudan al control de las niquelinas de cuarzo	2	AC 90V - 280V	-
Contactor bifásico	Permitirá el enclavamiento del sistema para encendido y apagado del mismo	1	AC 110 V	-

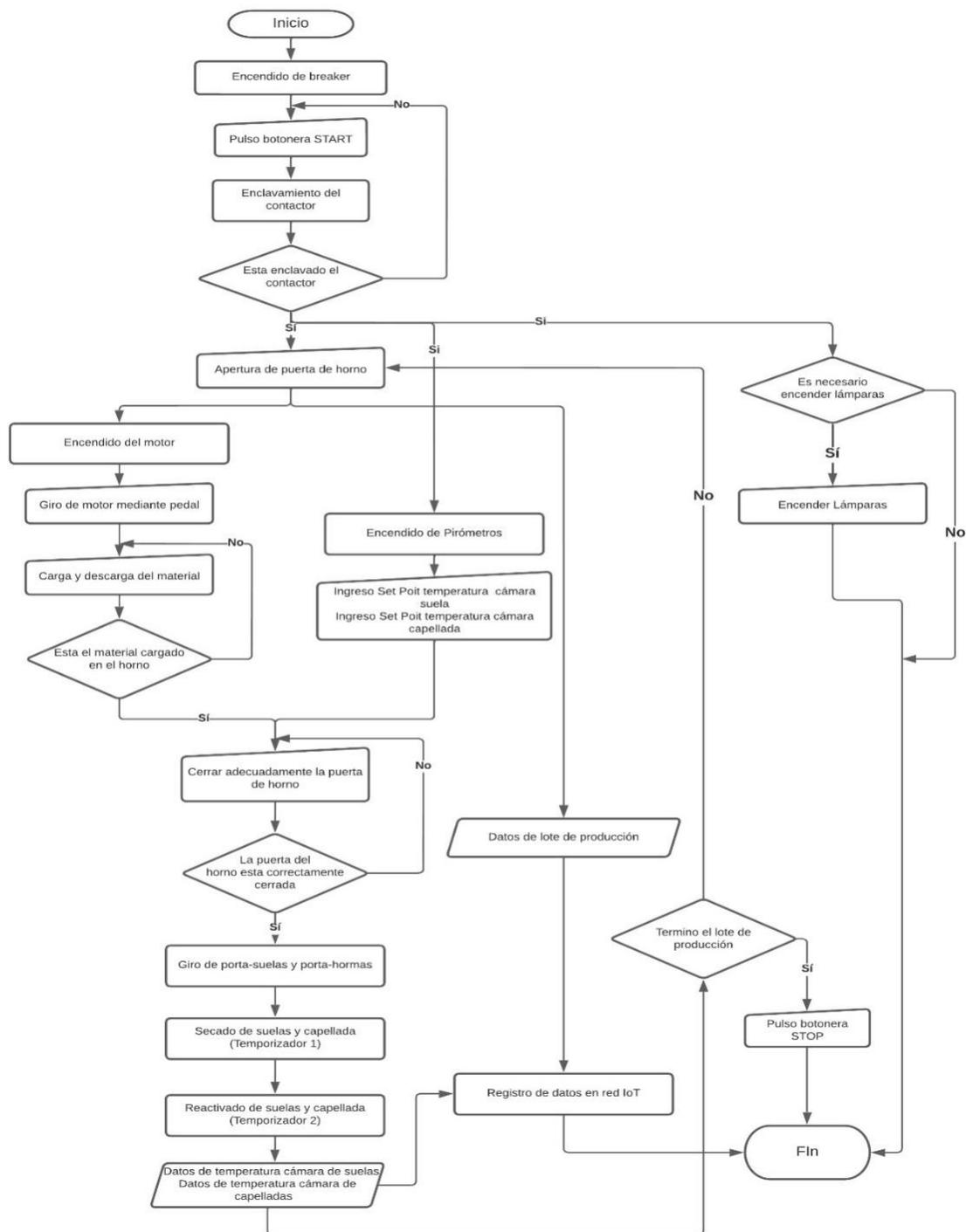
Algoritmo de control eléctrico para la máquina

Luego de haber seleccionado los elementos eléctricos y electrónicos que se van a emplear en sistema automático de secado y reactivado de calzado se describe mediante un diagrama de flujo el proceso que va a cumplir la máquina y las funciones que ejercerán cada uno de los elementos dentro del sistema.

El objetivo del diagrama de flujo es tener claro el funcionamiento general del equipo y que, además, la ejecución de todas las etapas (Ventilación, Secado, Reactivación, Iluminación y Monitoreo) sea de forma apropiada pudiendo garantizar la calidad del producto y evitar errores en el sistema.

Figura 66

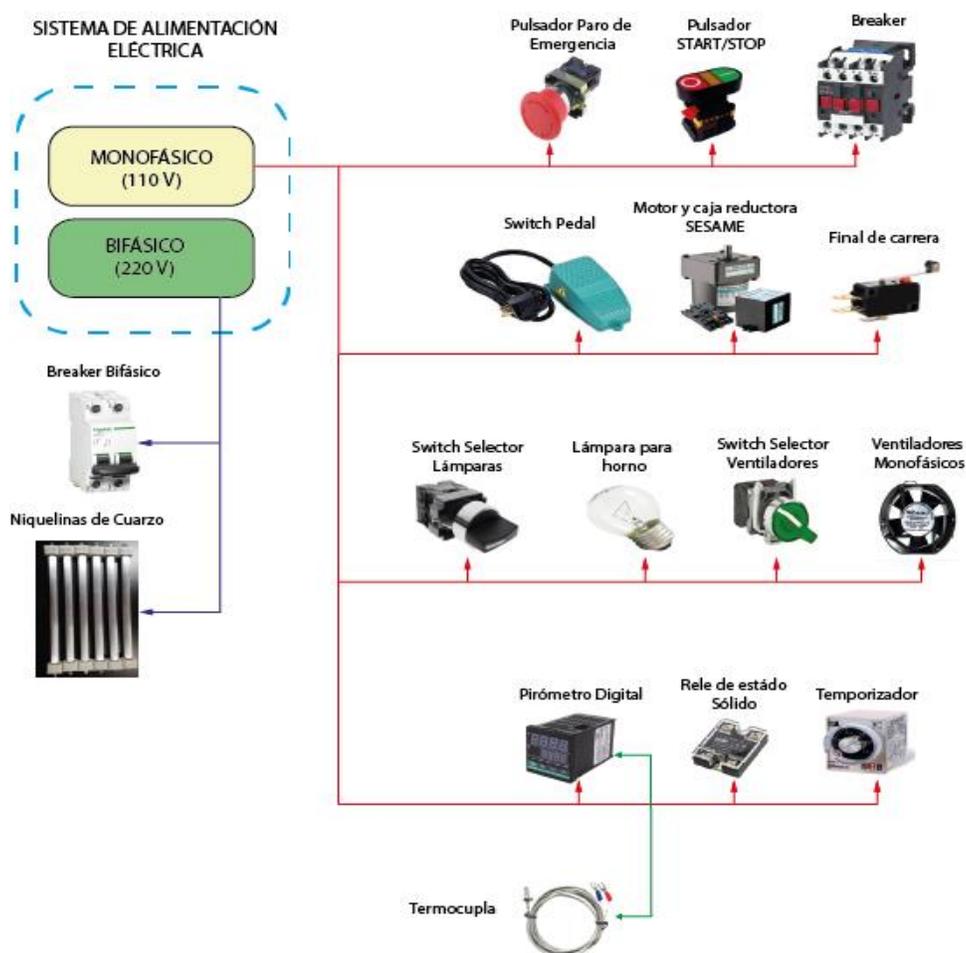
Diagrama de flujo del sistema



La Figura 67 presenta un diagrama en donde se detalla cada uno de los elementos eléctricos y electrónicos que se van a utilizar en el sistema de secado y reactivado de calzado, en el mismo se puede identificar la utilización de los dos sistemas de alimentación y distribución de energía eléctrica como son: monofásico (110V) y bifásico (220V), en donde se tomó en cuenta la alimentación que poseen todos los elementos al momento de realizar el filtrado de conceptos y la adquisición de los mismos en el mercado.

Figura 67

Diagrama sistema de alimentación eléctrica



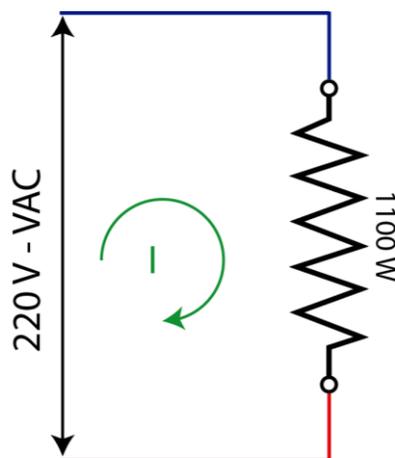
Ya con el análisis de los elementos y la distribución energética que tendrá el sistema automático de secado y reactivado de calzado se procede con el cálculo de la intensidad que consumen las niquelinas de cuarzo, como se había mencionado en la empresa Ciara se dispone de una red eléctrica bifásica (220V), otro dato que nos ayudará es la potencia que maneja las niquelinas adquiridas (1100 W) y que según los requerimientos de la empresa estas deben estar disponibles en el mercado nacional para un mantenimiento o cambio inmediato.

Entre las razones por las que fueron elegidas las niquelinas de cuarzo es que al consultar las fuentes de información este tipo de resistencias eléctricas presentan una rápida respuesta en sistemas de calefacción. Según Techno Injection & Tools (2019) estas niquelinas pueden llegar a tener un rendimiento pleno en tan solo 30 segundos alcanzando temperaturas de filamento de 500°C a 1000°C.

Prosiguiendo con el cálculo, cada niquelina funciona con 220V en una red bifásica como se muestra en la Figura 68.

Figura 68

Conexión de niquelina a la red



$$V = 220V$$

$$P = 1100 W$$

$$P = V * I \quad (3.5)$$

$$I = \frac{P}{V} = \frac{1100 W}{220 V}$$

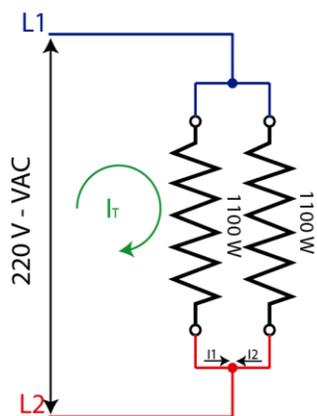
$$I = 5A$$

En cada cámara se incorporaron dos niquelinas, las mismas que fueron conectadas en paralelo como se indica en la Figura 69, con el objeto de que su funcionamiento individual sea independiente de la subsiguiente, en otras palabras, si al dañarse una de las niquelinas la otra se mantendrá funcionando sin problemas, además que al estar conectadas de este modo a cada una de las niquelinas le llegará la misma tensión eléctrica haciendo que todas funcionen a su máxima capacidad.

En una conexión en paralelo las corrientes se suman, por lo que se determina la corriente total del sistema de calefacción en cada cámara del sistema automático de secado y reactivado.

Figura 69

Conexión niquelinas en cada cámara.



$$V_{N1} = 220V$$

$$P_{N1} = 1100 W$$

$$I_{N1} = \frac{P}{V} = \frac{1100 W}{220 V}$$

$$I_{N1} = 5A$$

$$V_{N2} = 220V$$

$$P_{N2} = 1100 W$$

$$I_{N2} = \frac{P_{N2}}{V_{N2}} = \frac{1100 W}{220 V}$$

$$I_{N2} = 5A$$

$$I_{B1} = I_{N1} + I_{N2}$$

$$I_{B1} = 5A + 5A$$

$$I_{B1} = 10A$$

Ya calculada la corriente total del banco de niquelinas, del cual se obtuvo 10 A por cada cámara de calentamiento, también hay que tener en cuenta que son dos conjuntos, el segundo banco de resistencias tiene iguales características que el primero y está conectado al banco 1 en paralelo, por lo tanto:

$$I_{B1} = I_{B2} = 10A \tag{3.6}$$

$$I_T = I_{B1} + I_{B2}$$

$$I_T = 10A + 10A$$

$$I_T = 20A$$

Con el amperaje obtenido se procede a seleccionar el calibre correcto para el conductor según la información que se muestra en la Figura 70.

Figura 70

Tabla calibre de cables según el amperaje

Amperaje que soportan los cables de cobre					
Nivel de temperatura:	60°C	75°C	90°C	60°C	
Tipo de aislante:	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2, THWN-2	SPT	
Medida / calibre del cable	Amperaje soportado			Medida / calibre del cable	Amperaje soportado
14 AWG	15 A	15 A	15 A	20 AWG	2 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A		
10 AWG	30 A	30 A	30 A	18 AWG	10 A
8 AWG	40 A	50 A	55 A		
6 AWG	55 A	65 A	75 A	16 AWG	13 A
4 AWG	70 A	85 A	95 A		
3 AWG	85 A	100 A	115 A	14 AWG	18 A
2 AWG	95 A	115 A	130 A		
1 AWG	110 A	130 A	145 A	12 AWG	25 A
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A		
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A		
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A		
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A		

Nota. El gráfico presenta los valores de los amperajes de los conductores eléctricos según el calibre del cable, Tomado de CEAC (2019).

En base al resultado obtenido anteriormente, el calibre del conductor elegido es el AGW 10, cabe recalcar que se encontró un conductor que incluye protección térmica aislante con una estructura trenzada la cual soporta unas temperaturas máximas de 450 °C cuyo campo de aplicación va desde la iluminación, hornos y en este caso resistencias eléctricas. En la Figura 71 se puede observar la niquelina de cuarzo ya instalada en el deflector y fijada en la pared superior de la cámara, conectada con el conductor térmico que se utilizó para el circuito de calefacción.

Figura 71

Conexión de la níquelina con el cable para altas temperaturas



Con la corriente de 10 A consumida por el banco de níquelinas, se encontró el relé propicio para el control de las mismas, en la Figura 72 se puede observar el componente industrial.

Figura 72

Relé de estado sólido utilizado para el control de las níquelinas



Nota. La figura muestra el relé de estado sólido Maxwell. Tomado del catálogo de IMPORT PEGASUS (2021)

Con relación a la selección del tipo de termocupla adecuado para el sistema tomando en consideración las especificaciones que poseen todos los ejemplares presentados en la Tabla 6, se tomó como criterios ideales el rango de temperatura al cual trabaja, coste económico y facilidad de adquisición.

Entre los modelos de termocupla más comunes dentro del mercado se encuentran los tipos J, K, T, R y S. Pero ya que la calibración más popular utilizada en aplicación industriales que requieran atmosferas neutras se efectúa con una termocupla tipo K (su combinación de conductores son Níquel – Cromo y Níquel – Aluminio), opción elegida, además de que el controlador de temperatura por defecto viene configurado para este tipo de sensor. En la cuestión económica, su precio varía entre los 6 a 7 dólares, lo que significa un valor accesible para todas las personas tomando en cuenta su amplio rango de medición, el cual va desde los -40°C a 1100°C.

Un punto ventajoso de la utilización de esta termocupla es que debido a que la temperatura no superará los 100°C durante la etapa de Reactivación del adhesivo a base de poliuretano para cualquier material de suela o calzado que se trabaje, el problema de estabilidad que presenta alrededor de los 300°C y 550°C debido a que la histéresis cíclica de temperatura tiende a generar errores de varios grados, no afectará al funcionamiento continuo de la máquina. (TC Medida y Control de Temperatura, S.A., 2018)

Selección de elementos de protección eléctrica

Como medida de protección contra sobrecargas y cortocircuitos se dispuso la implementación de un interruptor automático termomagnético bipolar, de modo que para su dimensionamiento se calculó el valor de corriente nominal con los datos técnicos presentados en la Tabla 29.

$$I_N = \frac{P_T}{V} \quad (3.7)$$

$$I_N = \frac{90 + 180 + 4400 + 80 \text{ W}}{220 \text{ V}}$$

$$I_N = 21.59 \text{ A}$$

Dado que la corriente nominal para un interruptor automático debe ser 10% superior a la corriente calculada, el valor máximo es de;

$$I_{NT} = 21.59 \text{ A} + (21.59 * (10\%))\text{A} \quad (3.8)$$

$$I_{NT} = 23.749 \text{ A}$$

En consecuencia, se selecciona un interruptor automático termomagnético con una corriente de corte de 32 A.

El control del circuito resistivo requiere la instauración de un Contactor para manejar el elevado valor pico de corriente que se da al momento de iniciar la etapa de reactivación; en la puesta en marcha bajo tensión el sistema previo a la automatización generó una carga máxima de 19 A de intensidad.

Principalmente se adoptó un marco referencial para un circuito de calefacción que energiza las cuatro níquelinas eléctricas, la variación de resistencia entre el estado de enfriamiento y el de calentamiento produce el pico de corriente antes mencionado. Por lo que uno de los criterios característicos para su elección estaría basado en dicho resultado. No obstante, también se debe examinar el tipo de aplicación concreta para determinar su categoría de operación, la cual corresponde a AC-1 (condiciones de servicio ligeras) uso de hornos, calefacción industrial o doméstica, distribución, es decir, que se requieren pocos ciclos operativos. La Figura 73 muestra los parámetros para una correcta selección.

Figura 73

Guía de elección para contactores en función de su categoría

Guía de elección		LC1- D09	LC1- D12	LC1- D18	LC1- D25	LC1- D32	LC1- D40	LC1- D50	LC1- D65	LC1- D80	LC1- D95		
Contadores													
Empleo en categoría AC-1	Corriente de empleo máxima según IEC 947-1 (para una frecuencia de 600 ciclos de maniobras por hora)												
	Con cable de sección	mm ²	4	4	6	6	10	16	25	25	50	50	
	Corriente de empleo según la temperatura ambiente												
	≤ 40 °C	A	25	25	32	32	50	60	80	80	125	125	
	≤ 55 °C	A	20	20	26	26	44	55	70	70	100	100	
	≤ 70 °C	A	17	17	22	22	35	42	56	56	80	80	
Aumento de la corriente de empleo por conexión en paralelo de los polos													
Aplicar a las corrientes que figuran a continuación los siguientes coeficientes, que tienen en cuenta el reparto a menudo desigual entre los polos:													
2 polos en paralelo: K = 1,6 3 polos en paralelo: K = 2,25 4 polos en paralelo: K = 2,8													
Empleo en categoría AC-3	Corriente y potencia de empleo (temperatura ambiente ≤ 55 °C)												
	Corriente de empleo máxima	≤ 440 V	A	9	12	18	25	32	40	50	65	80	95
	Potencia nominal	220/230 V	kW	8,2	3	4	5,5	7,5	11	15	18,5	22	25
		240 V	kW	2,2	3	4	5,5	7,5	11	15	18,5	22	25
	de empleo P	380/400 V	kW	4	5,5	7,5	11	15	18,5	22	30	37	45
	(potencias normalizadas de los motores)	415 V	kW	4	5,5	9	11	15	22	25	37	45	45
		440 V	kW	4	5,5	9	11	15	22	30	37	45	45
	500 V	kW	5,5	7,5	10	15	18,5	22	30	37	55	55	
	660/690 V	kW	5,5	7,5	10	15	18,5	30	33	37	45	45	
Frecuencias máximas de ciclos de maniobras (en función de la potencia de empleo y del factor de marcha) (θ ≤ 55 °C)													
Factor de marcha	Potencia de empleo												
≤ 0,85 %	P	1.200	1.200	1.200	1.200	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	750	750	
	0,5 P	3.000	3.000	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.000	2.000		
≤ 0,25 %	P	1.800	1.800	1.800	1.800	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	
Empleo en categoría AC-2 y AC-4 (Ue ≤ 690 V)	Corriente cortada máxima (en función de la frecuencia máxima de ciclos de maniobras (1) y del factor de marcha) (θ ≤ 55 °C) (2)												
	De 150 y 15% a 300 y 10%	A	30	40	45	75	80	110	140	160	200	200	
	De 150 y 20% a 600 y 10%	A	27	36	40	67	70	96	120	148	170	170	
	De 150 y 30% a 1.200 y 10%	A	24	30	35	56	60	80	100	132	145	145	
	De 150 y 55% a 2.400 y 10%	A	19	24	30	45	50	62	80	110	120	120	
De 150 y 85% a 3.600 y 10%	A	16	21	25	40	45	53	70	90	100	100		
(1) No sobrepasar la frecuencia máxima de ciclos de maniobras mecánicas.													
(2) Para las temperatura superiores a 55 °C, utilizar en las tablas de elección un valor de la frecuencia máxima de ciclos de maniobras igual al 80% del valor.													

Nota. La tabla presenta el criterio de selección para contactores basados en las categorías de operación AC-1, AC-3, AC-2 y AC-4. Tomado de *Control de Potencia, Elección de Contactor* (pág. 60), Cañadas, M, 2018.

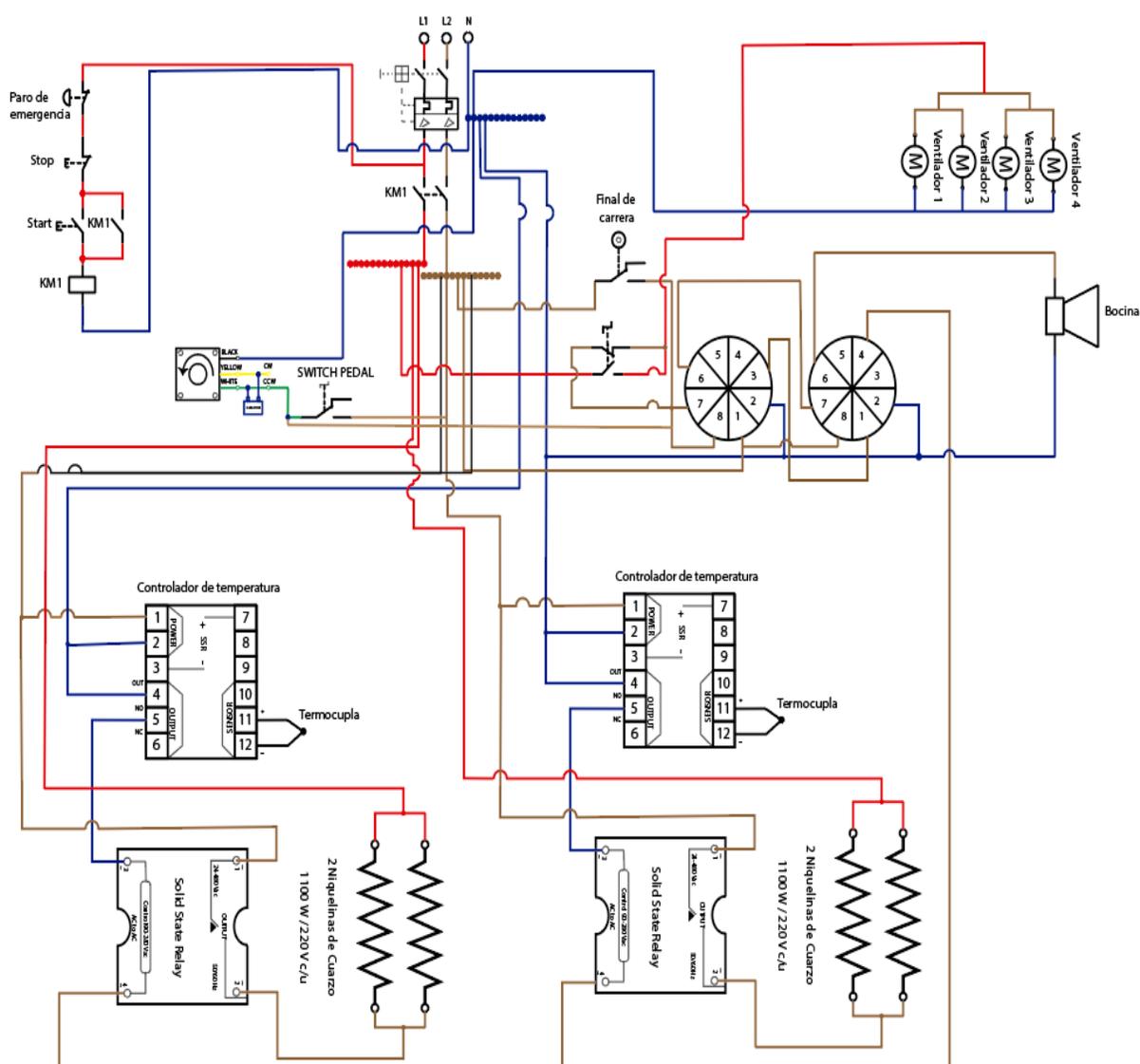
En resumen, se adquirió un Contactor trifásico de 32 A para una tensión eléctrica de 120 V, el cual proporcionará el accionamiento y enclavamiento del circuito eléctrico por medio de un pulsador de marcha NO.

Diseño del diagrama eléctrico y simulación de la secuencia de control

Al determinar los elementos de control industrial adecuados para el sistema, el siguiente punto es el diseño del diagrama eléctrico de mando y de potencia para el sistema automático de secado y reactivado considerando los aspectos puntuales requeridos por la empresa Ciara en base a la secuencia de control según su necesidad como se muestra en la Figura 74.

Figura 74

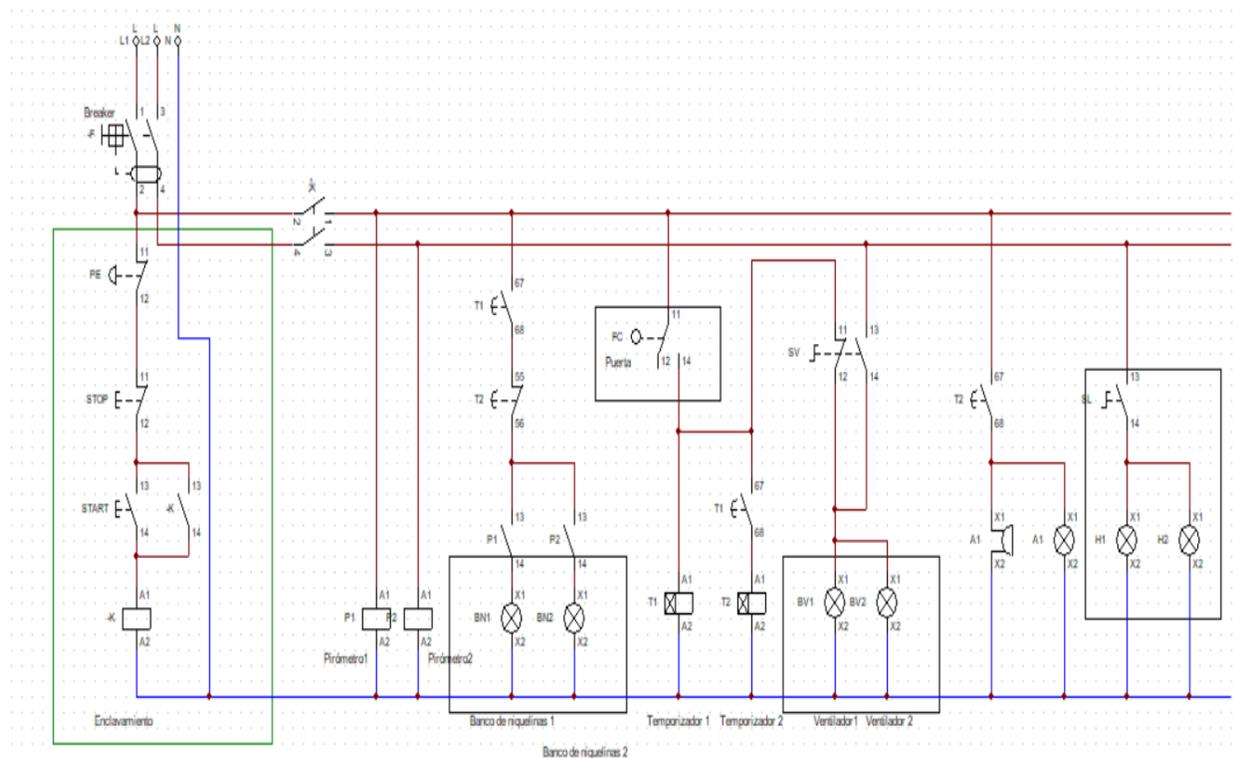
Circuito eléctrico del sistema



Para entender de mejor manera las conexiones y el funcionamiento de los elementos que intervienen en el circuito eléctrico del sistema automático de secado y reactivado también se realizó una simulación en CadeSimu para verificar el esquema de mando del sistema además de que el software es muy fácil de utilizar, el diagrama se puede observar en la Figura 75.

Figura 75

Diagrama y simulación del sistema en el software CadeSimu



Para sintetizar la secuencia de control propuesta en el diagrama eléctrico, se procede a enumerar las funciones del sistema automático de secado y reactivado para calzado acorde al panel de control presentado en la Figura 76, para una mejor comprensión de cómo se encuentra compuesto el sistema.

Figura 76*Panel de control del sistema*

- 1) Al energizar la máquina con una tensión eléctrica de 220 V, el operario desconectará el paro de emergencia (NC) y pulsará un botón de marcha, el cual accionará el enclavamiento del contactor permitiendo el paso de corriente a los componentes eléctricos.
- 2) Los pirómetros y temporizadores almacenan el valor prefijado (Set Point), sin embargo, en caso de ser necesario pueden ser ajustados manualmente.
- 3) El operario cargará el producto por medio del pedal switch cuya conexión es (NO) que genera la activación del motor hasta completar con su capacidad de cuatro pares de zapatos.
- 4) En este momento la puerta se cierra activando un final de carrera que marca el inicio del ciclo de ventilación durante el tiempo programado en el temporizador 1, un contacto (NO) se cierra al concluir con dicho periodo de tiempo y se activa el temporizador 2 con el valor deseado para la etapa de reactivación (los ventiladores se mantienen funcionando). Desde luego, con el motor encendido rotando los sistemas porta-hormas y porta-suelas.

- 5) La puerta se abre, desconectándose inmediatamente el final de carrera, y se procede con la descarga-carga simultánea del producto.
- 6) La conexión del circuito otorga la posibilidad de utilizar el sistema solamente como secador de adhesivo, a través de un selector de dos posiciones que activarán simultáneamente los 4 ventiladores.
- 7) Debido al amplio volumen de trabajo, el interior de las cámaras suele ser oscuro, por ello se añadió un sistema de iluminación, el cual a través de un selector de dos posiciones alimentarán un foco situado en cada cámara.
- 8) Si la puerta es abierta durante alguna de las etapas, el final de carrera se abrirá, pausando y reseteando el sistema.

Diseño y configuración de la red IoT

Para el diseño de la red IoT el primer aspecto que se tomó en cuenta es que la empresa aspiraba que este punto sea algo económico, principalmente para monitorear remotamente los datos de temperatura a la que la máquina se encuentra trabajando, y el nivel producción al instante. Entonces, tras la evaluación de conceptos se seleccionó la placa ESP8266, módulo Wi-Fi que mejores especificaciones y características presenta para el desarrollo del proyecto.

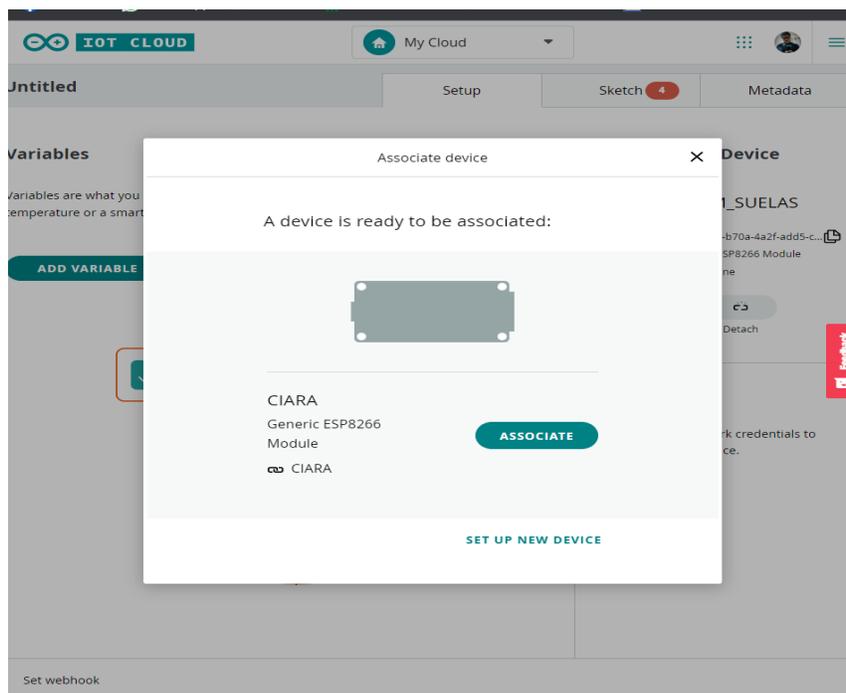
La plataforma Arduino IoT Cloud es una plataforma que junta lo que son las placas de Arduino y el IoT. En ella se puede programar de forma sencilla, rápida y eficaz. Además, al igual que la plataforma de Arduino como es de conocimiento público, su código es abierto, también merece ser mencionado que ofrece algunas características interesantes de forma gratuita y se pueden encontrar tutoriales los cuales permiten que el trabajo se desarrolle de modo sencillo.

Esta plataforma permitió subir los datos de temperatura de las cámaras de reactivado de suelas y capelladas en horma, así como también el registro de la cantidad de zapatos producidos y los muestra al usuario por medio de un computador con ayuda de la página de Arduino IoT Cloud o un dispositivo móvil con la aplicación de Arduino conocida con el nombre de IoT Remote.

Para iniciar con la creación de la red IoT se trabajó con la placa ESP8266, este módulo también funciona con el IDE de Arduino así que, para su programación se puede emplear código de Arduino, no obstante, presenta una pequeña limitante o desventaja, la cual es que solo dispone de una entrada analógica y por ello se decidió utilizar una placa para cada cámara de calentamiento configuradas de modo que puedan leer los datos que se necesitan presentar en la plataforma IoT, la configuración de estos módulos se muestra en la Figura 77.

Figura 77

Placa configurada en la plataforma Arduino IoT Cloud



En la Figura 77 se puede apreciar como la placa ESP8266 está configurada en la plataforma Arduino IoT Cloud y esta se asoció como un módulo genérico, aunque esto va a depender del tipo de placas que se esté utilizando para la conexión de la red IoT. Los dispositivos se pueden agregar y vincular fácilmente al sistema con la configuración adecuada.

Al crear los dispositivos en la plataforma y al asociarlos a la programación se generan los códigos de seguridad en cada placa, las mismas que serán utilizadas para su posterior conexión a la red Wi-Fi. Como se observa en la Figura 78 estos datos aparecen configurados con la fecha y hora de cuando fueron creados.

Figura 78

Datos de la tarjeta ESP8266 asociada a la cámara de suelas



Para agregar las variables a la plataforma se debe crear un Thing, dentro de este se registran las variables que se van a utilizar, tal como se observa en la Figura 79, además de que se define el dispositivo que se va a usar.

Figura 79

Variables creadas dentro del thing asociado a la cámara de capelladas

The screenshot shows the IoT Cloud interface for a device named 'CIARA CAPELLADAS'. The interface is divided into several sections:

- Variables:** A table listing three variables:

Name	Last Value	Last Update
CICLOS <small>int: CICLOS</small>	0	14 Jul 2022 15:45:03
LED <small>boolean: LED</small>	false	14 Jul 2022 15:45:03
TEMPERATURA_C <small>float: TEMPERATURA_C</small>	31.454	14 Jul 2022 15:46:14
- Associated Device:** Shows the device name 'Prueba', ID '4f8c7b62-e89e-485e-aeda-0...', Type 'Generic ESP8266 Module', and Status 'Offline'. There are 'Change' and 'Detach' buttons.
- Network:** Shows network parameters: Wi-Fi Name 'PAOLA', Password '.....', and Secret Key '.....'. There is a 'Change' button.

Otra configuración que se debe tener en cuenta dentro del Thing es la de la red ahí se configura con el de seguridad del dispositivo, nombre de la red WiFi y la clave como lo indica la Figura 80.

Figura 80

Configuración de la red en el thing

The 'Configure network' dialog box contains the following information:

Your will find these network parameters in the secret tab in your sketch, and your device will be able to connect to the network once the sketch will be uploaded.

Wi-Fi Name *
PAOLA

Password *
.....

Secret Key *
BDBUQCVJOCJKNTDXG0Q

SAVE

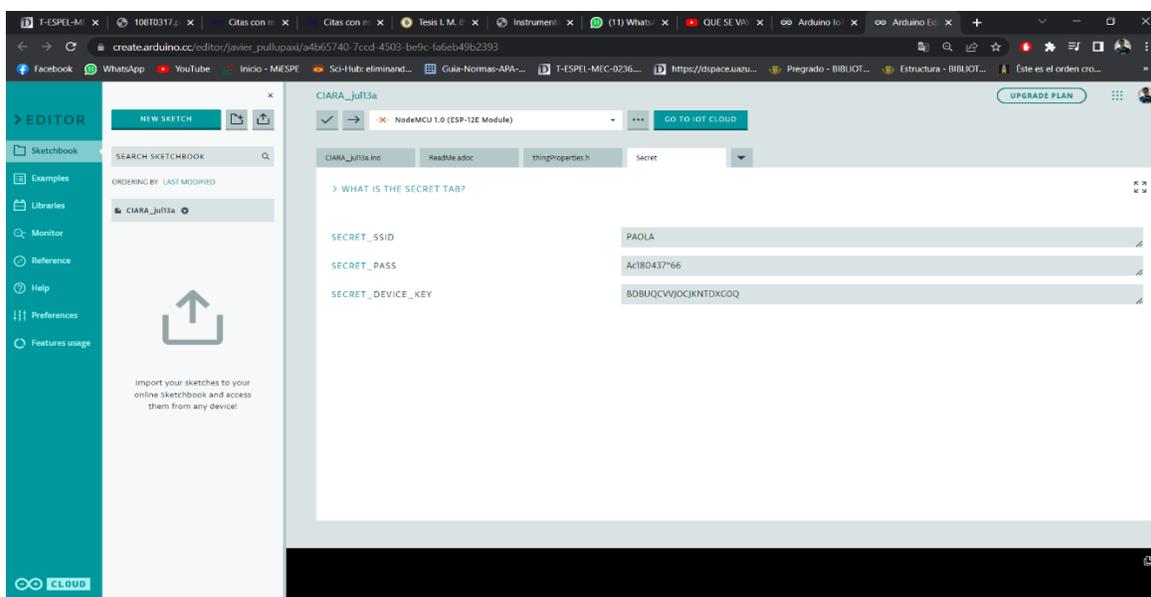
Configuradas las variables, el dispositivo y la red dentro del thing se ingresa en el Sketch para poder programar y asociar las entradas a las variables que aparecerán en el

Dashboard de la plataforma IoT, el código utilizado para la placa ESP8266 de capelladas se encuentra en el Anexo A y para la cámara de suelas en el Anexo B.

Al igual que en el thing se configura la red en el editor del código de Arduino. Para la placa se configura también el nombre de la red Wi-Fi, la clave de la red y el código de seguridad de las placas a utilizar esto se debe realizar para cada una de las placas. En el editor de código se ingresa a la pestaña de Secret para poder configurar los datos de la red así se muestra en la Figura 81.

Figura 81

Configuración de la red en el editor de programa de Arduino IoT Cloud

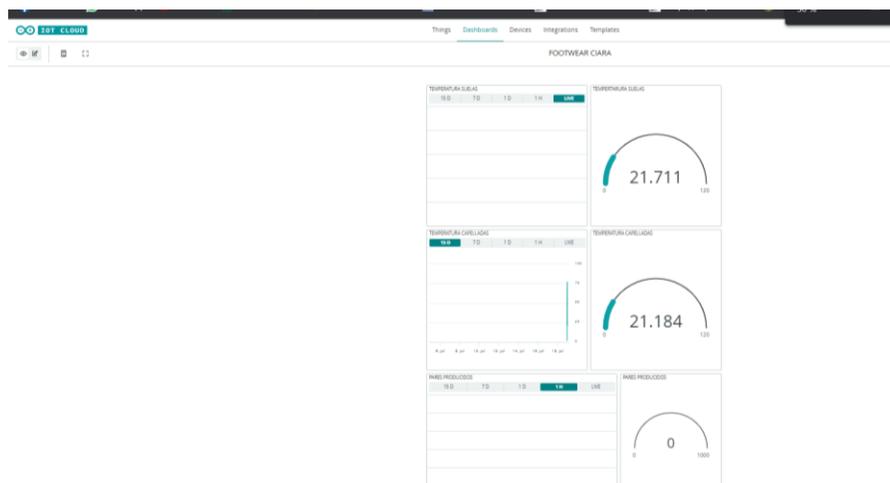


Al igual que en el IDE de arduino para cargar el código en la placa al conectar la misma a la PC esta se detecta y se añade a un puerto COM luego se debe configurar el dispositivo según el tipo de placa que se está utilizando. En el editor de código se puede ver que también se carga las librerías de arduino.

En el dashboard de la plataforma IoT Cloud de Arduino se debe agregar los diferentes WIDGETS que permitirán mostrar los valores de las variables, para el caso de las temperaturas se eligió el widget de la gráfica y un medidor tanto para la cámara de suelas y capelladas, lo mismo se hizo para el contador de ciclos de producción, se los puede ordenar de forma que se observe claramente los datos que se están subiendo a la red como lo muestra en la Figura 82 para PC.

Figura 82

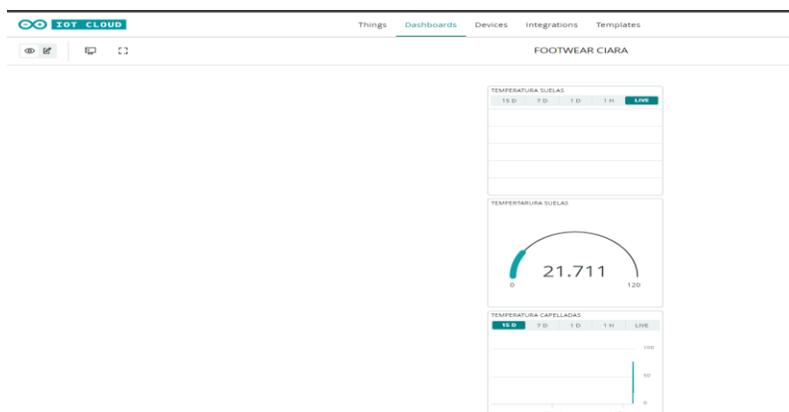
Dashboard para PC de los datos de la red IoT



También se puede configurar el dashboard para un dispositivo móvil como se ve en la Figura 83.

Figura 83

Dashboard para móvil de los datos de la red IoT



Con la aplicación IoT remote se puede tener acceso a la red y observar el dashboard creado en Arduino IoT Cloud en el dispositivo móvil, tal como lo indica la Figura 84 ya se puede visualizar que la aplicación está registrando la temperatura.

Figura 84

Dashboard de la aplicación móvil configurado con Arduino IoT Cloud



Construcción del sistema automático de secado y reactivado

Estructura mecánica del sistema

La construcción del sistema automático de secado y reactivado de calzado para suelas y capellada, inicia con la fabricación de todas las piezas en la Cortadora Plasma CNC como lo demuestra la Figura 85, para ello, el modelamiento CAD fue diseñado paralelamente con el módulo de chapa metálica que proporciona el Software Autodesk Inventor.

Entre las opciones de materia prima más accesibles y aptas para la elaboración de este tipo de equipos se encuentran:

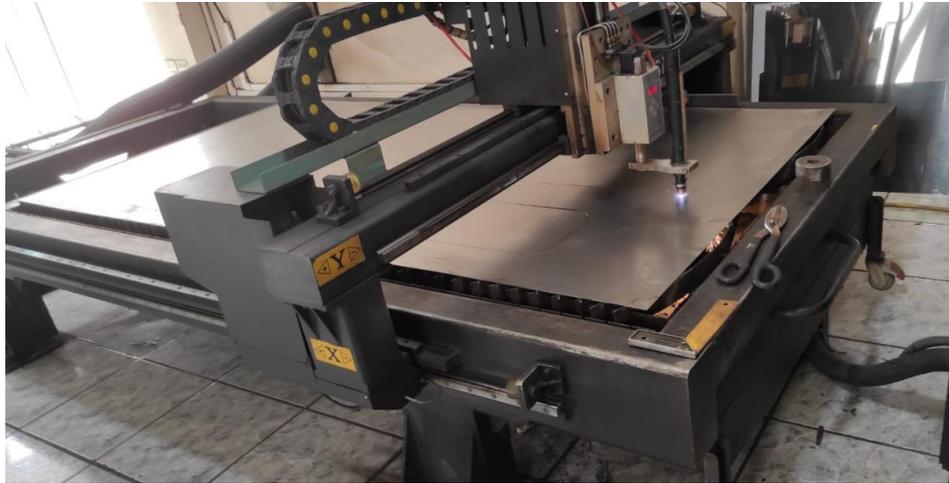
- Láminas de acero negro
- Láminas de acero galvanizado
- Láminas de acero inoxidable

En función de las características y propiedades que poseen estos materiales, así como también su accesibilidad dentro del mercado, su variedad de espesores, su costo y sugerencias por parte de varios fabricantes de hornos para la industria alimentaria, se optó por las planchas de acero negro, las cuales posteriormente pasarán por un recubrimiento de pintura electroestática, otorgándole un acabado de alta calidad garantizando su resistencia a la hostilidad del ambiente industrial.

La estructura del horno, puerta y deflectores serán manufacturados con láminas de 1.5 mm de espesor, mientras que los discos rotativos al estar sometidos a una carga de trabajo continua serán manufacturados con láminas de 2 mm de espesor.

Figura 85

Proceso del corte por plasma CNC



Después del proceso de corte, cada pieza pasa por una fase de lijado para retirar los restos de escoria y rebaba causados por el plasma, desde luego con toda la protección industrial del caso.

Figura 86

Proceso de lijado para eliminar la rebaba del material



Las piezas metálicas, toman su forma final, gracias a las dobladoras hidráulicas, para luego ser ensambladas entre sí y fijadas con soldadura MIG.

Figura 87

Estructura de división entre cámaras



Las paredes de las cámaras de calentamiento deben ser soldadas temporalmente para dimensionar los agujeros de pernos y tornillos de una manera precisa.

Figura 88

Fijación de las paredes de la cámara inferior



Figura 89

Acoplamiento de la estructura mecánica



Tras la finalización del armado de las partes desmontables de la máquina, estas se dirigen a la etapa de pintura electroestática.

Figura 90

Partes de la máquina después de la etapa de pintura



A continuación, cada una de las partes se ensamblan de manera cuidadosa, mediante la utilización de tornillos tirafondo de $\frac{1}{4}$ de pulgada, ya que su propósito se centra en la unión de elementos desmontables de gran peso.

Figura 91

Ensamblaje del sistema de secado y reactivado de calzado



Seguidamente se recuesta la estructura ya ensamblada para adaptar el motor eléctrico proporcionado por la empresa Ciara al eje central, cuyo material es un tubo de acero inoxidable de 1 pulgada de diámetro * 1.5 mm de espesor.

Figura 92

Adaptación del motor eléctrico al eje central



Al ser un requerimiento expreso, la activación del motor para cargar y descargar las capelladas en horma y las suelas debe darse por medio del pedal eléctrico tipo Switch, por ende, se realiza la respectiva conexión.

Figura 93

Instalación del pedal eléctrico



Posteriormente se procede a instalar la puerta metálica reforzada con vidrio templado, con sumo cuidado.

Figura 94

Estructura mecánica ensamblada

***Instalación del tablero de control***

El tablero de control conforma uno de los aspectos más importantes dentro del sistema de secado y reactivado de calzado para suelas y capelladas, puesto que el apropiado dimensionamiento de dispositivos, consideración de las medidas de protección, seguridad del personal, correcta distribución del cableado, adecuada colocación de los componentes eléctricos y la instrumentación industrial, brindará un óptimo funcionamiento de la máquina y además, un fácil entendimiento para el personal técnico en caso de que se desee revisar la conexión y ubicarse dentro del diagrama eléctrico.

El primer paso que se lleva a cabo en su instalación, es determinar la cantidad de componentes que se van situar dentro del tablero y las medidas que estos poseen, la Figura 67 resume dichos elementos en el diagrama del sistema de alimentación eléctrica. Y tras obtener

los valores dimensionales se obtuvo como conclusión que un gabinete de las siguientes características se adecua perfectamente a la instrumentación.

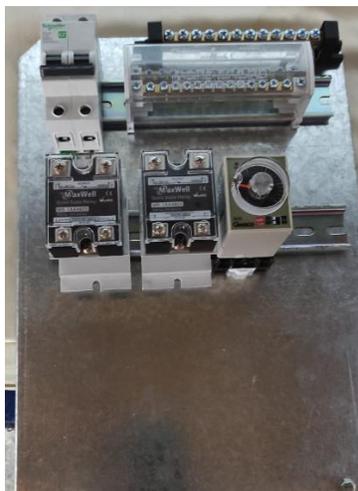
Tabla 30

Especificaciones del gabinete eléctrico

Especificaciones	Descripción
Material	Chapa de acero
Dimensión (mm)	300*400*200
Espesor (mm)	18
Recubrimiento	Pintura electrostática de tipo poliéster texturizado
Placa de montaje	Lámina de acero galvanizado
Grado de protección IP	54

Figura 95

Distribución de los componentes eléctricos



Según la normativa para tableros eléctricos y de control, se acataron varios puntos significantes que definen el uso de canaletas ranuradas para el recorrido del cableado, el

mantener un 25% de espacio libre en cada fila del Riel din y el uso de terminales o conectores para los extremos de los cables.

- Tipo PIN para cada cable que ingrese al bloque repartidor de dos polos, la barra de neutro, interruptor automático termomagnético bipolar.
- Tipo Herradura (U) para los elementos de conexión, de comando (temporizadores, pirómetros, selectores, botoneras), de protección (Relé de estado sólido).
- Tipo Flash para el final de carrera.
- Tipo anillo para las niquelinas de cuarzo.

Figura 96

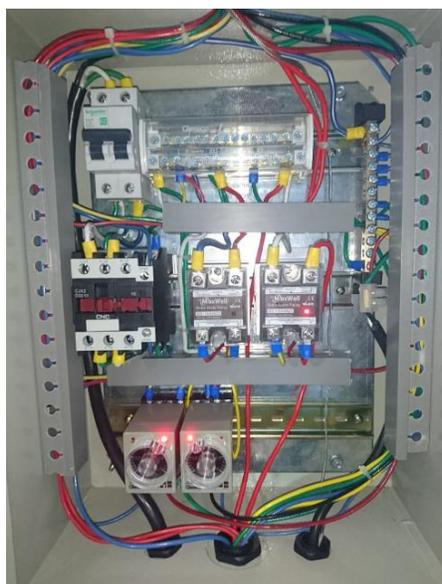
Proceso de conexión en el tablero de control



Luego de realizar las conexiones que desempeñan efectivamente la secuencia de control el resto del cableado que ingresa al cajetín se sujetó con varias amarras plásticas, como se visualiza en la Figura 97 con el circuito puesto en marcha.

Figura 97

Tablero de control implementado



De igual manera se sujeta firmemente el cableado que se encuentra en la parte superior del sistema correspondiente a los elementos de control industrial para evitar cualquier posible desconexión causado por un movimiento brusco de la estructura.

Colocación del material aislante y de protección térmica

Al comprobar el correcto funcionamiento de la secuencia de control, se procede a generar el contorno de los discos rotativos en la plancha del filtro Nomex con un desfase hacia el exterior de un centímetro, lo que proporcionará un moldeo acorde a la forma de la capellada, posterior a ello se fijan a la base metálica con la ayuda de una pasta térmica, la Figura 98

muestra en resumen el método de aplicación a la base de las suelas, mientras que la Figura 99 muestra la aplicación a la base de las capelladas en horma.

Figura 98

Fijación del material Nomex al porta-sueltas

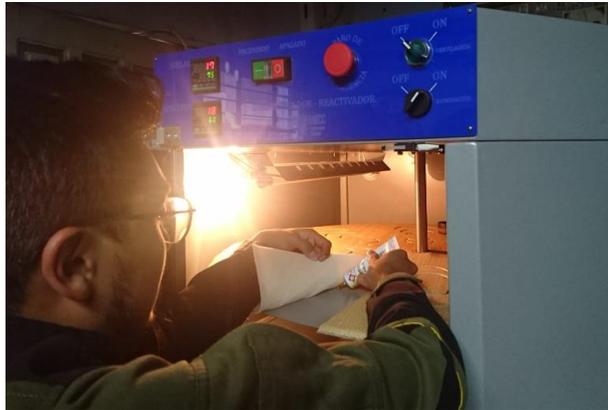


Figura 99

Fijación del material Nomex al porta-hormas



Capítulo IV: Implementación, pruebas y resultados

En el presente capítulo se constata la implementación del sistema automático de secado y reactivado de suela y capellada del calzado en las instalaciones de la empresa Ciara, integrando la funcionalidad mecánica con el control automatizado del circuito eléctrico, y su vez logrando una convergencia con el mundo virtual gracias al Internet de las Cosas (IoT) dando como resultado el monitoreo continuo y remoto del ciclo de producción que se lleva a cabo dentro de la etapa de reactivación, para lo cual se establecerán varias pruebas de funcionamiento que verifiquen la eficaz capacidad operativa de los subsistemas independientes.

Implementación del sistema automático de secado y reactivado

Gracias a que el espacio de trabajo destinado para la implementación de la máquina cuenta con un tomacorriente de 220 V, facilita en gran medida su instalación, la que comprendería solamente en su adecuada ubicación, colocación de las niquelinas de cuarzo en sus respectivos deflectores seguido de su conexión, este tipo de resistencias eléctricas se deben manejar con mucho cuidado por su delicado material y finalmente la integración con las estanterías móviles de almacenamiento para las capelladas en horma y suelas luego de ser cubiertas con el adhesivo, por ende, en la Figura 100 se puede apreciar el sistema completamente funcional e implementado en la empresa Ciara.

Figura 100

Implementación del sistema automático en la empresa Ciara



Partes principales del sistema automático de secado y reactivado

La Figura 101 ilustra las partes principales que conforman el sistema implementado, en base a los módulos designados en el diagrama de la estructura funcional de la máquina y a sus componentes adicionales.

Figura 101

Partes principales del sistema automático



Donde:

- 1) Panel de control
- 2) Cámara de secado y reactivado para suelas
- 3) Cámara de secado y reactivado para capelladas en horma
- 4) Pedal eléctrico
- 5) Tablero de control
- 6) Puerta metálica con vidrio templado
- 7) Garruhas industriales

El interior de la cámara de calentamiento para suelas se puede observar a la izquierda de la Figura 102, mientras que a la derecha se encuentra la cámara para las capelladas en horma, de igual manera que el caso anterior se enumeran las partes principales que se hallan instaladas dentro de cada una de ellas.

Figura 102

Distribución de los componentes al interior de las cámaras



Nota. La diferente posición de la bombilla en la cámara superior se debe a que la vista del operario no reciba directamente el resplandor al momento de cargar o descargar el producto.

Donde:

- 1) Sistema de iluminación (foco para hornos de alta temperatura)
- 2) Eje central
- 3) Sistema Porta-suelas recubierto con material Nomex
- 4) Sistema de ventilación
- 5) Sistema de calentamiento (deflector, niquelina de cuarzo y termocupla)
- 6) Sistema Porta-hormas recubierto con material Nomex

Calibración del controlador de temperatura

La calibración del control de temperatura inicia con la configuración del pirómetro Modelo RELKOM CH102, instrumento que dispone de un control PID P, D y ON/OFF.

Debido a que la operatividad de la máquina requiere un control constante de la variación de la temperatura, al emplear un control ON/OFF desencadenaría la activación y desactivación continua de los relés de estado sólido que permiten el paso de la corriente a las resistencias de cuarzo, esta interminable oscilación a largo plazo puede producir daños a los componentes, es por dicha razón que se dispuso utilizar un Control Proporcional, el cual es un control más fino que el ON/OFF.

El control proporcional brinda un sobreimpulso más rápido, lo que es requerido al momento de cargar un nuevo lote de calzado generando un pico máximo más alto. Además, el amortiguamiento se reduce en relación al control ON/OFF, pero este tipo de control siempre produce un porcentaje de error y hay varias maneras de reducirlo.

Para disminuir el error en estado estacionario (OFFSET) el cual se define como la desviación permanente de la variable una vez estabilizada con relación al parámetro deseado o

Set point, se requiere incrementar el valor de la ganancia, o lo que es lo mismo disminuyendo la banda proporcional (parámetro de control dentro de la configuración del pirómetro) considerando que dicha disminución no produzca inestabilidad al sistema y se transforme en un control ON/OFF.

Otra manera de eliminar el OFFSET es reajustando manualmente el Set point programado para las suelas y capelladas, no obstante considerar que una nueva perturbación producida en las cámaras de calentamiento provocará un nuevo OFFSET.

Para proceso rápidos la ganancia debe ser pequeña, y ya que el proceso de reactivado es relativamente ágil, se considera utilizar una banda proporcional del 30%, equivalente a una ganancia de 3.33, por motivo de obtener un mejor control con un error mínimo y una respuesta más sensible.

La expresión (4.1) define matemáticamente al control proporcional.

$$p(t) = k_p * e(t) \quad (4.1)$$

Donde:

$p(t)$ = parámetro de control o salida del controlador

k_p = constante proporcional

$e(t)$ = error en estado estacionario

$$p(t) = \frac{1}{30\%} * e(t)$$

La constante de proporcionalidad se le denomina ganancia, la cual es también el inverso de la banda proporcional que generalmente vienen programados en los controladores y se define de la siguiente manera.

$$BP = \frac{100}{k_p} \quad (4.2)$$

Con estos datos, se procede a programar el pirómetro, en la pantalla del controlador presionar "SET" durante 3 segundos, las condiciones del conjunto de parámetros se mostrarán en el visor de PV, para configurar los contrapuntos que se visualizan en el visor de SV presionar "SET" hasta encontrar el parámetro que se precise para obtener el control proporcional. La Tabla 31 muestra los puntos más importantes a tomar en cuenta.

Tabla 31

Parámetros de configuración del controlador de temperatura

Símbolo	Descripción	Parámetro de control	Valores de fábrica
ATU	PID	0: OFF 1: ON	0
P	Banda proporcional	0: control ON/OFF	30
I	Tiempo integral (s)	0 – 3600 s Valor en 0: no hay acción integral	240
d	Tasa de tiempo (s)	0 – 3600 s Valor en 0: no hay acción diferencial	60

Tras colocar los parámetros I, d en valor cero, se obtiene el control proporcional con una banda de proporcionalidad de 30%. Por último, se mantiene nuevamente presionado SET durante 3 segundos para almacenar la información.

Pruebas de funcionamiento y resultados

A fin de cumplir con el objetivo de mejorar la calidad del producto final la cual previo a la implementación del sistema automático de secado y reactivado de suela y capellada del calzado se lo efectuaba de manera empírica ocasionando retrasos de producción, variación en

el estándar de calidad y no menos importante el riesgo del personal operativo, puesto que estaba en constante contacto con la alta temperatura.

Se procedió a realizar varios tipos de pruebas específicas para cada módulo que conforma el sistema, observando parámetros de desempeño óptimo, calidad de reactivado, estudio de tiempos para las etapas de secado y reactivado, monitoreo en tiempo real del ciclo productivo.

Pruebas de funcionamiento módulo 1. Carga/Descarga de suelas y capellada y movimiento de porta-suelas y porta-hormas

Para comprobar el apropiado funcionamiento de los sistemas porta-hormas y porta-suelas se desarrollaron dos tipos de pruebas en función a su ajuste para todas las tallas y el tiempo total para cargar y descargar el producto.

Prueba de sujeción. La finalidad de esta prueba es verificar que las capelladas en horma son transportadas de manera segura alrededor de la cámara de calentamiento durante dos ciclos de operación equivalente a cuatro pares de zapatos, en otras palabras, que durante la reactivación o al momento de presionar el pedal para la carga/descarga de diferentes tallas de calzado se mantengan en su respectivo sitio. De modo que la calificación será designada como BUENO a toda capellada en horma que se mantiene acoplada al sistema de giro y MALO aquellas capelladas que sufrieron una caída brusca al piso inferior de la estructura.

Es necesario mencionar que para esta prueba no se analiza el estado de las suelas, ya que su base está completamente soportada por la superficie del disco rotativo.

Tabla 32*Pruebas del grado de sujeción en porta-hormas*

Prueba N°	Talla	Evaluación Grado de sujeción
1	29	BUENO
2	29	BUENO
3	33	BUENO
4	33	BUENO
5	35	BUENO
6	35	BUENO
7	35	BUENO
8	35	BUENO
9	36	BUENO
10	36	BUENO
11	36	BUENO
12	36	BUENO
13	36	BUENO
14	36	BUENO
15	36	BUENO
16	36	BUENO
Porcentaje de Aciertos		100%

El resultado de las pruebas de la Tabla 32 demuestra la fiabilidad del diseño mecánico que posee el sistema porta-hormas en un 100% de efectividad.

Prueba de tiempo. Para establecer la facilidad con la que el operario puede cargar y descargar el producto, se evaluó el tiempo que tarda en realizar dicha acción para los dos ciclos operativos, el promedio del tiempo en esta sección se complementará posteriormente con los resultados que se obtengan durante el secado y el reactivado, por lo viene siendo un factor importante en el alcance del proyecto.

Tabla 33*Pruebas de tiempo para la carga y descarga del calzado*

Prueba N°	Talla	Tiempo de carga (segundos)	Tiempo de descarga (segundos)
1	29	11,4	22,9
2	29	09,8	26,1
3	33	14,4	20,3
4	33	10,7	24,0
5	35	10,2	21,3
6	35	10,0	27,2
7	35	15,6	23,2
8	35	14,3	25,0
9	36	16,0	25,9
10	36	12,2	21,4
11	36	12,9	25,6
12	36	11,1	20,1
13	36	13,4	26,8
14	36	10,5	29,0
15	36	11,6	23,7
16	36	14,9	25,8
Promedio		12,44	24.27

La Tabla 33 arroja como resultado que el operario destinará en promedio 12.44 segundos para cargar las suelas y capelladas en horma al interior de las cámaras, mientras que para la descarga se requiere de aproximadamente 24.27 segundos, esto a causa de que se debe unir las piezas de forma manual y llevarlo inmediatamente a la prensadora neumática antes de volver a cargar el producto.

Pruebas de funcionamiento módulo 2. Ventilación - secado de adhesivo

Para estudiar el grado de efectividad que posee el secado del adhesivo aplicado en las superficies de las suelas y capelladas en horma, se adoptaron cuatro periodos de tiempo

basados en la observación analítica para así determinar el comportamiento de los diez ciclos muestreados, con una escala de evaluación cualitativa que valora la calidad del proceso, se considera como:

- Insuficiente: 25%, El adhesivo sigue en estado líquido.
- Regular: 50%, Los solventes se han empezado a evaporar
- Bueno: 75%, Se ha formado una capa sólida casi uniforme.
- Excelente: 100%, Se ha formado una película de adhesivo uniforme, reluciente y sin Tack.

Tabla 34

Pruebas de calidad - etapa de secado

Ciclo N°	Calidad de Secado			
	15 segundos	30 segundos	1 minuto	2 minutos
1	Insuficiente	Bueno	Excelente	Excelente
2	Insuficiente	Regular	Excelente	Excelente
3	Insuficiente	Bueno	Excelente	Excelente
4	Insuficiente	Regular	Excelente	Excelente
5	Insuficiente	Bueno	Excelente	Excelente
6	Insuficiente	Regular	Excelente	Excelente
7	Insuficiente	Bueno	Excelente	Excelente
8	Insuficiente	Regular	Bueno	Excelente
9	Insuficiente	Bueno	Excelente	Excelente
10	Insuficiente	Regular	Excelente	Excelente
Porcentaje de Eficacia	25%	62.5%	97.5%	100%

Nota. El porcentaje de eficacia se calculó valorando la equivalencia del texto acorde a la escala de evaluación y cuantificando la media.

Como el objetivo del proyecto es optimizar la producción, el menor periodo de tiempo que mejores resultados presenta al secar el adhesivo (particularmente de poliuretano o policloropeno) se da al transcurrir 1 minuto con un porcentaje del 97.5% de eficacia, sin embargo, se tiene presente que, si el volumen de trabajo no es alto se podría configurar el temporizador a 2 minutos y obtener el 100% de eficacia.

Pruebas de funcionamiento módulo 3. Reactivado del adhesivo

Correspondiente a la óptima funcionalidad de la etapa de reactivado del adhesivo aplicado a las suelas y capelladas del calzado, se requiere identificar en primer lugar el rango más efectivo de temperatura en la que la capa de adhesivo logre su mayor fuerza de fijación.

En base a la fundamentación teórica que proveen varios trabajos bibliográficos, se detalla que el rango de temperatura necesario para lograr satisfactoriamente la reactivación del adhesivo es de 60°C a 70°C. (Cabezas, 2011)

De la misma manera, en los registros de la organización mundial de la propiedad intelectual, existe una investigación acerca de un procedimiento para la fabricación de suelas en un material de caucho expandido y expone que la estabilización del adhesivo dentro de la cámara del horno se da a una temperatura comprendida entre 75°C a 85°C. (Gorraiz, 1997)

Por ende, se tomarán tres valores de consigna para ser evaluados durante diez ciclos operativos. La Tabla 35 muestra la comparación de la calidad de reactivado obtenido a una temperatura de 50°C, 65°C y 85°C, ponderados como BUENO en el que las superficies se adhieran satisfactoriamente y MALO al producto deficiente que presente desprendimiento o quemado del adhesivo.

Tabla 35*Pruebas de calidad - etapa de reactivado*

Ciclo N°	Calidad de Reactivado		
	50°C	65°C	85°C
1	BUENO	BUENO	BUENO
2	MALO	BUENO	BUENO
3	MALO	BUENO	BUENO
4	BUENO	BUENO	MALO
5	BUENO	BUENO	BUENO
6	BUENO	BUENO	BUENO
7	MALO	BUENO	BUENO
8	BUENO	BUENO	MALO
9	MALO	BUENO	BUENO
10	MALO	BUENO	BUENO
Porcentaje de Eficacia	50%	100%	80%

Nota. El porcentaje de eficacia se calculó valorando la equivalencia del texto acorde a la escala de evaluación y cuantificando la media.

Al analizar las propiedades de unión del adhesivo a base de poliuretano que se produce a una temperatura de 65 °C, se obtuvo un porcentaje del 100% de eficiencia en la calidad de reactivado, por ende, las pruebas consecutivas a partir de ahora se desarrollarán con el rango de temperatura de 60°C a 75°C.

Pruebas de funcionamiento del sistema automático de secado y reactivado

Dado que, en el sector industrial del calzado la variedad de materiales con las que se elaboran las suelas es extensa, en su mayoría se realizan a base de cauchos o polímeros sintéticos, mencionando algunos ejemplos como los copolímeros EVA, la espuma de poliuretano (PU), goma termoplástica (TR) materiales con propiedades de energía superficial baja (30 mJ/m²). Además, para el caso de manufactura de las capelladas con materiales laminados sintéticos, nylon, textiles, cuero, etc. (López Carbonell y otros, 2018)

Es necesario revisar las fichas técnicas y sus propiedades térmicas, con el propósito de evitar deformaciones en las suelas o desprendimiento del armado de la capellada durante el proceso de reactivación con una temperatura relativamente más alta de la recomendada. Ya que en la Tabla 36 se definió el rango de temperatura propicio para adhesivos a base de poliuretano.

A continuación, se realizaron las pruebas pertinentes durante varios días con condiciones ambientales diferentes para establecer el rango de tiempo en el que el sistema automático implementado alcanzará el valor deseado, adicional a ello, se establece una comparativa con la información recabada al empezar el proyecto, es decir, cuando la producción se llevaba a cabo con el uso del pequeño horno industrial a base de GLP, cuya capacidad permitía colocar dos pares de zapatos, para ello se estimó el tiempo que le llevaba al operario completar 8 zapatos, equivalente al ciclo actual de operación.

Tabla 36

Análisis comparativo entre los dos sistemas a una temperatura específica

Parámetros de estudio		Suelas	Capelladas	Horno a Gas
Ciclo N°	Temperatura Inicial (°C)	60°C	65°C	65°C
		Tiempo en minutos : segundos		
1	17.8	9:43	9:57	21:28
2	17.9	7:51	8:19	22:25
3	18.5	7:23	7:51	23:13
4	19.2	6:15	6:43	22:05
5	20.9	5:02	5:30	20:52
6	16.4	9:39	10:07	23:05
7	17.9	8:56	9:24	22:22
8	16.7	7:31	7:59	23:21
9	17.1	5:59	6:42	22:03

Parámetros de estudio		Suelas	Capelladas	Horno a Gas
10	17.8	5:08	5:51	23:59
11	18.9	4:48	5:31	22:16
12	20.5	4:45	5:28	22:13
13	21.7	4:26	5:23	22:08
14	19.5	4:39	5:22	22:07
15	19.3	4:16	4:59	21:44
Promedio		6:25	7:00	23:57

Esta prueba determinó un estimado de seis minutos con veinte y cinco segundos de tiempo para alcanzar una temperatura fijada de 60°C en la cámara de las suelas, y un promedio de siete minutos hasta llegar a los 65°C en la cámara de las capelladas, lo que significaría una reducción considerable de tiempo en contraste al anterior sistema de reactivado, cuyo promedio es de veinte y tres minutos con cincuenta y siete segundos.

Para calcular el porcentaje equivalente a la reducción del tiempo obtenido, se utiliza la siguiente expresión;

$$\%_{reducción} = \frac{(T_{HA} - T_{SR})}{T_{HA}} * 100\% \quad (4.3)$$

Donde:

T_{HA} = Tiempo promedio de reactivación en el horno antiguo

T_{SR} = Tiempo promedio de reactivación en el sistema implementado

$$\%_{reducción} = \frac{(23:57 \text{ min} - 7:00 \text{ min})}{23:57 \text{ min}} * 100\%$$

$$\%_{reducción} = 70.72\%$$

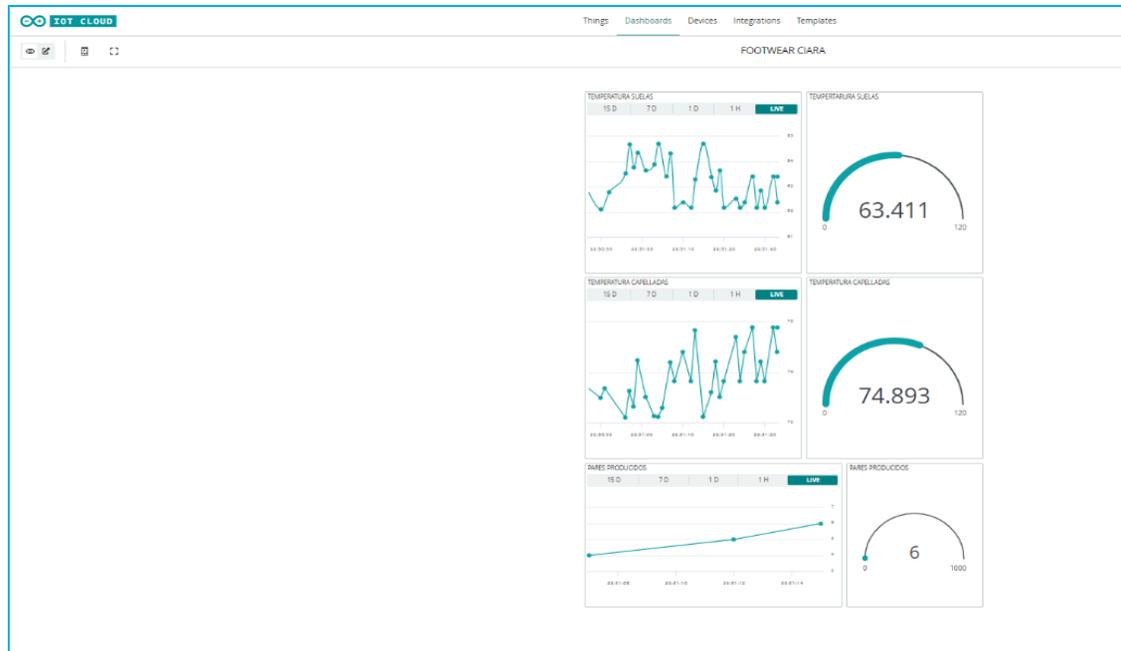
El resultado final obtenido es que el sistema automático de secado y reactivado de suela y capellada del calzado ha reducido en un 70,72% el tiempo empleado en efectuar esta etapa del proceso con relación a la previa forma de Reactivación, en síntesis, la producción actual se ha podido triplicar, puesto que el porcentaje del tiempo empleado en este momento es del 29% a 32% en comparación con el tiempo que antes se necesitaba para completar un total de ocho zapatos.

Pruebas de monitoreo remoto mediante IoT

Se comprobó que los datos de temperatura de las cámaras de suelas y capelladas se van registrando en tiempo real en el widget de la curva, en donde se puede ver el cambio que genera el cambio de temperatura como lo indica la Figura 103, además junto a ella se colocó un medidor con el fin de supervisar la temperatura actual a la que se halla la máquina y en la red IoT también se hizo pruebas de la cantidad de zapatos producidos en donde queda registrado cada carga que tiene el horno para el secado y reactivado.

Figura 103

Registro datos de temperatura y zapatos en la red IoT



Mientras el sistema está en funcionamiento la temperatura va aumentando conforme la programación que tengan los controladores, tanto en el de suelas como en el de capelladas, esto también depende de la secuencia que tiene el sistema automático de secado y reactivado al ser dos temperaturas diferentes se pudo observar que en el sistema de la red IoT se van registrando los datos consecuentemente va cambiando la temperatura, también en la aplicación móvil se puede observar el cambio en el medidor como en la curva que registra los datos de temperatura y zapatos producidos como se percibe en la Figura 104. Los datos registrados y observados en los pirómetros coinciden tanto como en la PC y en la aplicación móvil.

Figura 104

Datos de temperatura registrados en la aplicación móvil



Validación de hipótesis

La hipótesis que fue planteada para el proyecto se detalla a continuación:

¿El diseño, construcción e implementación de un sistema automático de secado y reactivado de suelas y capellada de calzado mediante la integración de una red IoT permitirá optimizar y supervisar el ciclo de producción en la empresa Ciara?

En base los resultados alcanzados en las pruebas de funcionalidad, se pudo verificar que la producción actual se ha optimizado en un gran porcentaje, la Tabla 36 recopila los tiempos obtenidos durante una muestra de 15 ciclos operativos, respondiendo así de manera positiva a la hipótesis expuesta anteriormente.

En evidencia para la validación de la hipótesis se ejecutará la distribución T de Student, técnica estadística paramétrica aplicada a variables cuantitativas en donde el tamaño de la

muestra sea relativamente pequeño ($n < 30$) y en la mayoría de casos que se desconozca la desviación estándar poblacional.

$$T = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{\delta}{\sqrt{n}}} \quad (4.4)$$

Donde:

T = Valor estadístico de prueba

\bar{X} = Media o promedio de la muestra

μ = Valor estimado de la variable o media de la población

δ = Desviación estándar de la muestra

n = Tamaño de la muestra

De acuerdo a los datos recopilados el tiempo promedio en el que se conseguía la reactivación de ocho zapatos era de 24 minutos, este valor representa la media de la población, la cual será sometida a la premisa por demostrar, por ello se define el enunciado tentativo de la hipótesis nula H_0 y la hipótesis alternativa H_1 .

H_0 : La implementación de un sistema automático de secado y reactivado de suelas y capellada de calzado NO optimiza el ciclo de producción.

$$H_0: \mu = 24 \text{ min}$$

H_1 : La implementación de un sistema automático de secado y reactivado de suelas y capellada de calzado optimiza el ciclo de producción.

$$H_1: \mu < 24 \text{ min}$$

Entonces, la obtención de la desviación estándar se calcula por medio del software Excel, ingresando los tiempos registrados en la Tabla 33. O resolviendo la siguiente expresión;

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_i^n (d_i - \bar{d})^2}{n - 1}} \quad (4.5)$$

Donde:

\bar{d} = Promedio de la diferencia entre el valor antiguo con el valor actual

d_i = Valor de la diferencia proporcional al tamaño de la muestra

δ = Desviación estándar de la muestra

n = Tamaño de la muestra

$$\delta = 0.298$$

$$\bar{X} = 7 \text{ min}$$

Estos valores son reemplazados en la ecuación (4.4), obteniendo;

$$T = \frac{7 - 24}{\frac{0.298}{\sqrt{15}}}$$

$$T = -220.94$$

Ya que se requiere encontrar el valor crítico que delimita el área de aceptación o rechazo de la hipótesis nula en la Tabla de distribución T, se definen las siguientes variables:

- N_c = El nivel de confianza del 95% como rango de aceptación de hipótesis nula
- N_s = El nivel de significancia del 5% para trabajos de investigación.

- $gl =$ Los grados de libertad $(n - 1) = (15 - 1) = 14$

Obteniendo así un valor crítico $t_{\alpha} = 2.145$

$$T = t_{\alpha}$$

$$-220.94 = 2.145$$

En consecuencia, el valor estadístico de prueba se encuentra en la región de rechazo de la hipótesis nula delimitado por el valor límite de 2.145, es decir, se acepta la hipótesis alternativa, la cual pronuncia que la implementación de un sistema automático de secado y reactivado de suelas y capellada de calzado optimiza el ciclo de producción.

Finalmente, para la completa validación de la hipótesis con respecto al monitoreo de la producción, se efectuará con el método de evaluación y verificación de máquinas y procesos.

Este método se enfoca en garantizar el desarrollo del sistema de monitoreo acorde a los requerimientos y necesidades del cliente para esta etapa en particular, inicia con el estudio de dichas especificaciones, prosigue con la revisión del diseño para la red IoT y culmina con las pruebas de validación presentadas en la Tabla 37.

Tabla 37

Revisión del funcionamiento de la red IoT

	Especificaciones	Estado	Actualización de datos	Revisión
1	Interfaz de monitoreo en aplicación móvil	Receptado	100%	Cumple
2	Interfaz de monitoreo en navegador web	Receptado	100%	Cumple
3	Monitoreo en tiempo real de la temperatura en la cámara superior	Receptado	100%	Cumple

	Especificaciones	Estado	Actualización de datos	Revisión
4	Monitoreo en tiempo real de la temperatura en la cámara inferior	Receptado	100%	Cumple
5	Monitoreo de la cantidad de calzado producido	Receptado	100%	Cumple
6	Registro histórico de la temperatura de las suelas	Receptado	100%	Cumple
7	Registro histórico de la temperatura de las capelladas	Receptado	100%	Cumple
8	Registro histórico de la producción de zapatos	Receptado	100%	Cumple

Análisis de costos para el sistema automático de secado y reactivado

Costos directos

La Tabla 38 presenta el análisis económico que conllevó la fabricación de la estructura mecánica y la adquisición de los componentes eléctricos, electrónicos y de control disponibles en el mercado nacional, como lo disponía la empresa Ciara, la fila de gastos varios contempla la realización de muestras en corte laser para el contorno adaptable a todas las tallas de calzado y la placa que cubrirá el panel de control, la compra de una plancha del material CELFIL (Planta para calzado) para pruebas de resistencia térmica, un contacto magnético y un eje de transmisión 1018.

Tabla 38*Costos directos obtención de materiales*

Materiales	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Estructura Mecánica	1	\$ 1.200,00	\$ 1.200,00
Manija de acero inoxidable	1	\$ 30,00	\$ 30,00
Kit control de temperatura (Pirómetro, Termocupla Tipo K, Disipador, Relé de estado sólido)	2	\$ 51,70	\$ 103,40
Pulsador tipo hongo	1	\$ 2,50	\$ 2,50
Selector de dos posiciones	2	\$ 2,92	\$ 5,84
Niquelinas de Cuarzo 1100 W - 220 V	4	\$ 34,00	\$ 136,00
Final de carrera 16A - 250 VCA	1	\$ 1,20	\$ 1,20
Material Nomex (2m*1m)	1	\$ 45,58	\$ 45,58
Caucho termoplástico	4	\$ 1,00	\$ 4,00
Cable gemelo calibre #10	4	\$ 2,00	\$ 8,00
Cable concéntrico trifásico calibre #10	2	\$ 3,65	\$ 7,30
Cable concéntrico bifásico calibre #12	2	\$ 1,85	\$ 3,70
Cable de alta temperatura 12 AWG	6	\$ 3,25	\$ 19,50
Cable flexible 10 AWG	11	\$ 1,15	\$ 12,65
Cable flexible 12 AWG	10	\$ 0,70	\$ 7,00
Cable flexible 14 AWG	31	\$ 0,50	\$ 15,50
Terminal amarillo para calibre #10	43	\$ 0,15	\$ 6,45
Terminal azul para calibre #14	65	\$ 0,10	\$ 6,50
Tomacorriente pata de gallina 50 A	1	\$ 7,00	\$ 7,00
Enchufe pata de gallina 50 A	1	\$ 5,80	\$ 5,80

Materiales	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Gabinete Eléctrico	1	\$ 38,00	\$ 38,00
Pedal Eléctrico	1	\$ 17,50	\$ 17,50
Interruptor automático 2 polos - 32 A	1	\$ 7,00	\$ 7,00
Barra de borneras 30 A	1	\$ 1,70	\$ 1,70
Barra de borneras 15 A	1	\$ 1,10	\$ 1,10
Repartidor de polos	1	\$ 13,00	\$ 13,00
Temporizador 12 - 240 VAC	2	\$ 23,00	\$ 46,00
Foco horno/nevera 40 W	2	\$ 2,25	\$ 4,50
Boquilla de porcelana	2	\$ 0,40	\$ 0,80
Base para el temporizador 8 pines	2	\$ 1,35	\$ 2,70
Contactador 110 V - 32 A	1	\$ 20,50	\$ 20,50
Pulsador doble	1	\$ 4,70	\$ 4,70
Riel Din	1	\$ 3,00	\$ 3,00
Prensa estopa	3	\$ 0,60	\$ 1,80
Tornillos y Pernos	60	\$ 0,05	\$ 3,00
Barra de tierra	1	\$ 4,20	\$ 4,20
Canaleta ranurada 25*25 mm	1	\$ 4,75	\$ 4,75
Placa ESP8266	2	\$ 8,50	\$ 17,00
Placa de acrílico para el panel de control	1	\$ 15,00	\$ 15,00
Gastos variados	1	\$ 49,91	\$ 49,91
TOTAL			\$ 1.884,08

Costos indirectos

Dentro de los costos que se relacionan indirectamente en el proceso de fabricación del sistema automático de secado y reactivado de suela y capellada del calzado se escatimaron los siguientes apartados que la Tabla 39 resume a continuación.

Tabla 39

Costos indirectos logística y construcción

Descripción	Actividad	Costo
Construcción mecánica y eléctrica del sistema	Mano de obra	\$ 500,00
Transporte interprovincial, provincial y viáticos	Movilización	\$ 100,00
Impresiones (planos y avances bibliográficos)	Investigación	\$ 10,00
Señalética de seguridad	Normativa	\$ 5,00
TOTAL		\$ 615,00

Costo total

Una vez determinados los costos directos e indirectos, el valor de inversión total para la implementación del sistema es de \$2499.08, como lo muestra la Tabla 40, un precio accesible para pequeñas y medianas empresas, considerando el volumen de producción que maneja esté sistema, cabe mencionar también la multifuncionalidad que posee, tanto para el uso de secado como reactivado del adhesivo en el calzado y con la integración a la industria 4.0, con su monitoreo de producción por medio de una red IoT.

Tabla 40*Presupuesto total de fabricación*

Detalle	Descripción	Costo
Costos Directos	Material	\$ 1.884,08
Costos Indirectos	Mano de obra	\$ 615,00
TOTAL		\$ 2.499,08

El costo promedio que bordea la maquinaria industrial de características semejantes al sistema implementado es relativamente elevado, principalmente debido al coste de importación que conllevan los diferentes medios de transporte (marítimo, aéreo, terrestre), en la Tabla 41 se divide la primer comparativa entre Hornos Reactivadores de procedencia extranjera, en donde la industria de calzado se ha desarrollado en mayor medida ya que en su mercado existe una mayor demanda.

Tabla 41*Primera comparación entre sistemas de secado y reactivado de calzado*

Características técnicas	Sistema automático de secado y reactivado de suela y capellada del calzado CIARA	Secador y Reactivador ELETTRATECNICA B.C. Modelo 421 PSTS
Función de secado y reactivado	SI	SI
Cámaras independientes (suelas - capelladas)	SI	SI
Sistema de calentamiento	Resistencias de Cuarzo	Lámparas Halógenas (flash)
Enfriamiento de niquelinas	SI	NO
Conectividad a la red (Monitoreo Remoto)	SI	NO

Características técnicas	Sistema automático de secado y reactivado de suela y capellada del calzado CIARA	Secador y Reactivador ELETTRONICA B.C. Modelo 421 PSTS
Ajuste regulable de altura	SI	SI
Dimensiones	1000 * 1000 * h1885 (mm)	1020 * 3550 * h1700 (mm)
Consumo eléctrico medio	4180 W	23800 W
País de Procedencia	ECUADOR	ITALIA
Costo	\$2500	\$7200

La Figura 105 presenta un sistema de secado y reactivado de calzado desarrollado por la Empresa Italiana Elettrotecnica BC, dedicada a la fabricación de maquinaria para calzado, el cual está equipado por una cinta transportadora que permite colocar el producto por pares para mayor facilidad de ensamblaje.

Figura 105

Secador reactivador modelo. 421 PSTS



Nota. Ilustración del Secador Reactivador Modelo. 421 PSTS. Obtenido de (Electrotécnica BC, 2020)

Cabe recalcar que existe maquinaria de alta gama cuyo desarrollo comprende varios años de estudio en centros tecnológicos e ingeniería especializada en la industria del calzado,

tal es el caso de la empresa brasileña SAZI, con uno de los modelos más actuales presentado en la Tabla 42.

Tabla 42

Segunda comparación entre sistemas de secado y reactivado de calzado

Características técnicas	Sistema automático de secado y reactivado de suela y capellada del calzado CIARA	Secador y Reactivador Horizontal SAZI Modelo. 744/746 NIR
Función de secado y reactivado	SI	SI
Cámaras independientes (suelas - capelladas)	SI	SI
Sistema de calentamiento	Resistencias de Cuarzo	Lámparas infrarrojas NIR (Near Infrared)
Enfriamiento de niquelinas	SI	SI
Conectividad a la red (Monitoreo Remoto)	SI	SI
Ajuste regulable de altura	SI	SI
Dimensiones	1000 * 1000 * h1885 (mm)	1000 * 728 * h1820 (mm)
Consumo eléctrico medio	4180 W	3300 W
País de Procedencia	ECUADOR	BRASIL
Costo	\$2500	\$12000

Este sistema versátil consta con una distribución de dos pisos, similar al diseño implementado, pero ya que dispone de un calentamiento infrarrojo hacia las superficies con adhesivo, no se requiere calentar el ambiente para lograr el reactivado, por lo tanto, su estructura es abierta, como se divisa en la Figura 106. Esto gracias a la evolución continua de Reactivadores de la serie NIR 740 – 754S patentada por la empresa SAZI que ha progresado

de tal forma que la optimización de espacios, recursos y tecnología satisface con todos los grados de producción.

Figura 106

Secador y reactivador NIR modelo. 744/746 NIR



Nota. Ilustración del sistema diferenciado Secador Reactivador NIR Modelo. 744/746. Obtenido de (GRUPO SAZI, 2022)

El análisis comparativo muestra las cualidades que presenta el sistema implementado con respecto a la maquinaria importada, sobre todo en relación al costo de adquisición de las mismas. Con ello en mente se concluye que el sistema cumple con todos los requerimientos del propietario ya que posee un bajo coste económico, una gran efectividad de trabajo para la empresa Ciara y una facilidad de operación para todo tipo de calzado.

Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- Se diseñó, construyó e implementó un sistema automático de secado y reactivado de suelas y capellada de calzado mediante la integración de una red IoT para la optimización y supervisión del ciclo de producción en la empresa Ciara de la ciudad de Ambato.
- Mediante el análisis estructural realizado por software CAD/CAE, se confirmó que el sistema de giro porta-hormas y porta-suelas planteados ratifican un diseño seguro, puesto que el factor de seguridad obtenido fue de 2.3 y 2.69 respectivamente, cumpliendo así, con el criterio de seguridad de diseño para cargas estáticas según Robert L. Mott.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en las pruebas de sujeción del sistema porta-hormas, se concluye que el diseño adaptable propuesto para toda talla de calzado alcanza un 100% de efectividad para mantener a las capelladas aseguradas a la base giratoria durante el proceso de secado y reactivado.
- La ejecución de la prueba de secado en base a cuatro periodos de tiempo permitió conocer que al transcurrir dos minutos de ventilación se forma una película de adhesivo completamente uniforme, reluciente y sin tack en un porcentaje del 100% de eficacia, sin embargo, ya que el propósito del proyecto es la optimización del ciclo productivo, se optó por la opción de un minuto la cual arrojó un 97,5% de conformidad.
- Por medio de la prueba de valoración de la calidad de reactivado para el adhesivo a base de poliuretano que se utiliza en la empresa, se concluyó que la temperatura óptima para lograr el máximo desempeño de adhesión entre la suela y la capellada es de 65°C.

- La implementación del sistema automático de secado y reactivado para suelas y capelladas de calzado optimizó en un 70.72% el ciclo de producción de empresa Ciara, con una media de siete minutos durante el proceso de reactivación independientemente del tiempo de secado el cual se estimó un minuto para lograr un óptimo grado de fijación.
- La implementación de la red IoT a través de la plataforma Arduino IoT Cloud permitió monitorear los registros de temperatura y la cantidad de calzado producido en tiempo real y sobre todo desde cualquier sitio en que se encuentre el usuario, con un porcentaje del 100% de recepción de datos.
- El uso de la plataforma Arduino IoT Cloud ofrece una gran facilidad para la creación, programación y monitoreo de proyectos en línea, permitiendo a cualquier persona configurar, registrar y visualizar las variables de modo versátil a través de un interfaz sencillo de manejar.
- El recubrimiento por pintura electroestática a la estructura de acero negro proporciona mejores beneficios que utilizar láminas de acero inoxidable, material utilizado en su gran mayoría para la fabricación de hornos industriales, lo que representaría en un menor coste económico, excelente capacidad de enfriamiento estructural y sobre todo la facultad inoxidable.
- El principal criterio que se consideró para la selección del material Nomex fue gracias al estudio del rendimiento termoestable que presenta el material a diversas pruebas de calor, en donde se sometió al material hasta una temperatura de 330°C y no manifestó ningún cambio físico, además en ese momento la temperatura superficial no excedió los 50°C, lo cual permitía el contacto con la piel, sin riesgo a quemaduras.
- Las excelentes propiedades térmicas y aislantes que posee el filtro Nomex la posicionaron como la opción ideal para proveer protección tanto al producto como al operario durante el proceso de Reactivación evitando así el contacto directo con la base

metálica que a causa de la conductividad térmica gradualmente eleva la temperatura del acero.

- La textura blanda y flexible que posee el filtro Nomex asegura la calidad e integridad de los diversos materiales con los que se confecciona el calzado (cuero, laminados sintéticos, fibras textiles, entre otros).
- Tras la culminación del proyecto conforme a todos los requerimientos de la empresa Ciara y la superación exitosa de las pruebas de funcionalidad acorde a la secuencia de control establecida, el sistema automático de secado y reactivado de suela y capellada del calzado puede entrar al mercado nacional para ser comercializado gracias a las ventajas económicas, capacidad productiva y multifuncionalidad que esta ofrece.

Recomendaciones

- Se recomienda tomar en consideración el uso de la función de ventilación manual después de 10 ciclos operativos durante cinco minutos, con el fin de disipar la energía calorífica acumulada al interior de las cámaras y alargar la vida útil de los componentes eléctricos.
- Si se presenta algún deterioro en los componentes eléctricos, desconfiguración del controlador de temperatura o se desea adaptar alguna nueva conexión a la secuencia de control, es preciso seguir las instrucciones del manual de operación en donde también se detalla el diagrama eléctrico.
- En el caso que se requiriera manipular, cambiar e instalar las niquelinas de cuarzo o las conexiones aledañas, se recomienda ser precavido debido a la delicadeza del tubo de cristal.
- Se recomienda colocar prudentemente las hormas de talla pequeña que se vayan a acoplar en el contorno adaptable, debido a que, si no ingresan hasta el borde circular interior, se puede producir la caída de la capellada al piso inferior de la cámara.
- Correspondiente a la regulación de la altura de los sistemas porta-hormas y porta-suelas, se debe sujetar fuertemente la brida de ajuste a medida que el prisionero se suelta, ya que el peso del disco rotativo puede provocar una abrupta caída.
- Para aplicaciones IoT es aconsejable disponer de una red de Internet que posea una banda ancha estable con buena transmisión de datos, caso contrario el monitoreo en tiempo real puede presentar retardos en la adquisición de información del proceso.

Contemplación de proyectos futuros

- Ampliación del estudio de sistemas de convección forzada para un máximo desempeño de la etapa de reactivación.
- Adquisición de lámparas infrarrojas NIR para lograr el reactivado del adhesivo por medio de ondas electromagnéticas, sin la necesidad de calentar todo el ambiente al interior de la cámara.

Bibliografía

- ADAJUSA. (5 de Marzo de 2021). *Controlador de temperatura digital CH102 48X48*. Retrieved 12 de Julio de 2022, from Relés de control y protección, termostatos, sondas de temperatura: <https://adajusa.es/es/relés-de-control-y-proteccion-termostatos-sondas-de-temperatura/4982-controlador-de-temperatura-digital-ch102-48x48-8435532849827.html>
- ALPHA HARDIN. (13 de Julio de 2021). *10 innovaciones tecnológicas que revolucionan la industria*. Retrieved 07 de Julio de 2022, from Proyectos y Construcción con los más altos estándares de calidad: <https://www.alpha-hardin.com/innovacion-tecnologica-en-la-industria-de-la-construccion/>
- Álvarez Castañón, L., & Orlando, C. G. (2016). Modelos de producción en las empresas de calzado: ¿Innovación tecnológica o tecnificación del proceso productivo? *Revista científica adscrita al Centro de Investigación del Decanato de*, 10(03), 80-99. <https://doi.org/https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5782414>
- Anhui Yuanchen Environmental Protection Science & Technology Co., Ltd. (24 de Mayo de 2022). *Nomex/aramida no tejida filtro de aire fabricante de la tela*. <https://spanish.alibaba.com/product-detail/Nomex-Aramid-non-woven-air-filter-62253984145.html>
- Arango Alzate, B., Betancourt Hurtado, J., & Martinez Lopez, L. F. (2015). IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS PARA EL DIAGNÓSTICO DE INNOVACIÓN EN UNA EMPRESA DEL SECTOR CALZADO EN COLOMBIA. *RAI - Revista de Administração e Inovação*, vol. 12, 310-329.
- Areny, R. P. (2003). *Sensores y acondicionadores de señal* (Cuarta ed.). Barcelona: MARCOMBO, S.A. Retrieved 10 de Julio de 2022.

- Balén Valerio, E. (2015). *Modelado en 3D de una caja reductora de engranajes [Tesis de Ingeniería - Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial, Informática y Telecomunicación]*. Repositorio Digital Universidad Publica de Navarra, Álava, España.
<https://academica-e.unavarra.es/handle/2454/19351>
- Banco Central del Ecuador. (2020). *Exportaciones principales paises de destino partida 64*.
- Bausa Aragonés, J., García Gómez, C., Zaragozaí Zaragozí, B., Gil Martínez, A., Moreno Campos, D., & Galiana Llinares, A. (03 de Abril de 2003). *Sensores de Temperatura*. Retrieved 10 de Julio de 2022, from Red Tecnológica MID:
<https://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/1/349/1259/6572/6629/78932.pdf>
- Bernal, J. J. (18 de Octubre de 2012). *Despliegue de la función calidad (QFD): Guía de uso. Para qué sirve el QFD y cómo realizarlo*. Retrieved 07 de Marzo de 2022, from PDCA Home: <https://www.pdcahome.com/1932/qfd-despliegue-calidad/>
- Brito Saldarriaga, M. A., & Giraldo Betancourt, J. S. (2 de Julio de 2010). *METODOLOGÍAS PARA DISEÑO DE CIRCUITOS LADDER CON BASE EN SISTEMAS SECUENCIALES Y COMBINACIONALES [Tesis de Ingeniería - UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA]*. Libreria Digital Library , Pereira. Library:
<https://1library.co/document/q5m48o7y-metodologias-diseno-circuitos-ladder-base-sistemas-secuenciales-combinacionales.html>
- Cabezas, D. O. (2011). *ANÁLISIS DEL REACTIVADO (PEGADO) DE CALZADO Y SU INCIDENCIA EN EL RETRASO EN LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN EN LA EMPRESA ARMANDINY DE LA CIUDAD DE AMBATO*.
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/1360/1/Tesis%20I.%20M.%2089%20-%20Cabezas%20Chicaiza%20Diego%20Orlando.pdf>

Caisaguano Vega, W. D. (2019). *IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA CON CONTROL AUTOMÁTICO DE TEMPERATURA PARA LA REACTIVACIÓN DEL ADHESIVO PARA PLANTAS DE CALZADO [Tesis de Ingeniería - Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]*. Repositorio Digital de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba - Ecuador.

Cañadas, M. (2018). *Telemecanique*. Elección de un contactor para aplicaciones no motor: https://llamados.ancap.com.uy/docs_concursos/ARCHIVOS/2%20LLAMADOS%20FINALIZADOS/2018/REF.%2018-2018%20-%20OFICIAL%20TALLER%20B%20-%20PLANTA%20PAYSAND%C3%9A%20-%20PERFIL%20ELECTRICIDAD/MATERIAL%20DE%20ESTUDIO/ELECCI%C3%93N%20DE%20UN%20CONTACTOR.PDF

CEAC. (03 de Mayo de 2019). *¿Qué tipos de cables eléctricos existen?* Retrieved 05 de Julio de 2022, from CEAC Formación Profesional Oficial: <https://www.ceac.es/blog/que-tipos-de-cables-electricos-existen>

Cerquera Peña, N. E., Ruiz Osorio, Y. L., & Pastrana Bonilla, E. (1 de Abril de 2010). Evaluación del horno de curado de tabaco por convección forzada USCO-MADR. *Ingeniería e Investigación*, 30(1), 91-96.

Chapman, S. (2012). *Máquinas Eléctricas*. México, D.F.: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Chisaguano Rodríguez, J. D. (2017). *Optimización de los procesos de producción de calzado en la industria manufacturas de cuero Calzafer Cia. Ltda [Tesis de Ingeniería, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL]*. Repositorio Digital de la Universidad Técnica de Ambato , Ambato-Ecuador.

- CLR. (30 de Agosto de 2018). *Actuadores lineales o rotativos*. Motorreductores y Reductores:
<https://clr.es/blog/es/actuadores-lineales-rotativos/>
- Corona Ramírez, L. G., Abarca Jiménez, G. S., & Mares Carreño, J. (2014). *Sensores y actuadores aplicaciones con Arduino* (Primera ed.). México: GRUPO EDITORIAL PATRIA , S.A. DE C.V. Retrieved 18 de Julio de 2022.
- Cosco Grimaney, J. (2011). *CONTROLES ELÉCTRICOS Y AUTOMATIZACIÓN*. Lima - Peru: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y TEXTIL.
https://www.academia.edu/13284061/UNIVERSIDAD_NACIONAL_DE_INGENIERIA_FACULTAD_DE_INGENIERIA_QUIMICA_Y_TEXTIL_CONTROLES_ELECTRICOS_Y_AUTOMATIZACION_CONTROLADORES
- Creus Solé, A. (2010). *Instrumentación Industrial* (Octava ed.). México, D.F.: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V. Retrieved 10 de Julio de 2022.
- Del Valle Hernandez, L. (4 de Octubre de 2016). *ESP8266 todo lo que necesitas saber del módulo WiFi para Arduino*. Curso Domótica - Programar Fácil:
<https://programarfacil.com/podcast/esp8266-wifi-coste-arduino/#comment-4040226669>
- DIAZ ROJAS, M. E., & ASQUEZ MINAYA, F. R. (2019). *"PROPUESTA DE INSTALACIÓN DE UNA MANOVIAS PARA DISMINUIR EL TIEMPO EN LOS PROCESOS DE ARMADO Y APARADO DE LA EMPRESA DE CALZADOS CALZATURE ATLÁNTICO S.A.C"* [Tesis de Ingeniería, Universidad Privada Antenor Orrego]. Repositorio Digital de la Universidad Privada Antenor Orrego, TRUJILLO - PERÚ.
- Domingo, A. M. (2011). *Apuntes de Transmisión del Calor [Versión PDF - Online]*. Universidad Politécnica de Madrid. <https://oa.upm.es/6935/1/amd-apuntes-transmision-calor.pdf>

El Productor. (12 de Julio de 2018). *Ambato produce el 80% del calzado hecho en Ecuador*. ©

EL PRODUCTOR: <https://elproductor.com/2018/07/ambato-produce-el-80-del-calzado-hecho-en-ecuador/#:~:text=De%20acuerdo%20con%20la%20C%C3%A1mara,80%25%20sali%C3%B3%20de%20esta%20provincia.>

Electrotécnica BC. (2020). *Secadores de reactivadores*. <https://elettrotecnicabc.com/en/surface-treatment/essicatori-riattivatori-en/>

Espressif Systems. (2022). *ESP8266EX Datasheet [Version PDF]*. <https://www.espressif.com/>.
https://espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf

Gaviño, R. (2010). *Introducción a los Sistemas de Control*.

<http://lcr.uns.edu.ar/fcr/images/Introduccion%20a%20Los%20Sistemas%20de%20Control.pdf>

Gómez Villoldo, A. (10 de Marzo de 2017). *QFD LA CASA DE LA CALIDAD: herramienta de planificación del diseño*. Retrieved 21 de Abril de 2022, from Asesor de Calidad:

<http://asesordecabilidad.blogspot.com/2017/03/qfd-la-casa-de-la-calidad-herramienta.html#.YmsStdrMJEa>

Gorraiz, J. R. (1997). *Procedimiento de fabricación de suelas para calzado en caucho expandido*. <https://patents.google.com/patent/WO1998058992A1/es>

GRUPO SAZI. (2020). *Innovación en Soluciones Industriales*. <http://www.sazimaquinas.com.br/>

GRUPO SAZI. (2022). *Equipos Línea NIR*. <https://www.sazimaquinas.com.br/744-746-nir>

Hangzhou Philis Filter Technology Co., Ltd. (2020). *Tessuto filtrante del nomex del tessuto filtrante della polvere di uso dell'aspirapolvere per temperatura elevata*.

<https://italian.dustfiltercloth.com/sale-2581042-vacuum-cleaner-use-dust-filter-cloth-nomex-filter-cloth-for-high-temperature.html>

Hidalgo Ruiz, M. G., & Meléndez Garcés, J. E. (2012). *DISEÑO DE UN MODELO PARA MEDIR LA PRODUCTIVIDAD PARA UNA EMPRESA MANUFACTURERA DE CUEROS*. [Tesis de Ingeniería - Pontificia Universidad Católica del Ecuador].

Repositorio Digital de Library, Quito - Ecuador. <https://1library.co/document/8yd71ply-disenomodelo-productividad-empresa-manufacturera-cueros-curtiduria-hidalgo.html>

IMPORT PEGASUS. (20 de Abril de 2021). *Material eléctrico industrial, automatización, control y mando*. Retrieved 06 de Julio de 2022, from RELES DE ESTADO SOLIDO TRABAJO PESADO: <https://importpegasus.com/wp-content/uploads/2021/04/Importpegasus-catalogo-2021.pdf>

Jeanty, J. (20 de Noviembre de 2021). *¿Cómo funciona un horno infrarrojo?* Retrieved 16 de Julio de 2022, from eHow Hogar: https://www.ehowenespanol.com/funciona-horno-infrarrojo-sobre_139181/

La Hora. (14 de Agosto de 2020). Cae la producción de calzado en Tungurahua. [En Línea]. Ambato, Tungurahua, Ecuador.

LAUMAYER. (14 de Diciembre de 2020). *Generalidades de Finales de carrera y sus principales usos*. + Laumayer Colombiana Comercializadora S.A: <https://laumayer.com/novedades-y-publicaciones/diciembre/generalidades-finales-carrera-principales-usos/>

Llanes-Font, M., & Lorenzo-Llanes, E. (30 de Abril de 2021). *La cuarta revolución industrial y una nueva aliada: calidad 4.0*. redalyc.org: <https://www.redalyc.org/journal/1815/181566671006/html/>

López Carbonell, J., Beaus Navarro, J. L., & López Carbonell, J. (19 de Febrero de 2018).

OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS .

http://www.oepm.es/pdf/ES/0000/000/02/65/53/ES-2655329_A1.pdf

López Fuentes, A. V., & Viteri Morales, G. A. (2010). *APLICACIÓN DE FUSIBLES E*

INTERRUPTORES TERMO MAGNÉTICOS [Tesis de Ingeniería - Escuela Superior

Politécnica del Litoral]. Repositorio Digital de ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA

DEL LITORAL, Guayaquil Ecuador.

Mandado, E., Acevedo, M., & Fernández, C. (2009). *Sistemas de automatización y autómatas*

programables. [https://bookdown.org/alberto_brunete/intro_automatica/sistemas-de-](https://bookdown.org/alberto_brunete/intro_automatica/sistemas-de-control.html)

[control.html](https://bookdown.org/alberto_brunete/intro_automatica/sistemas-de-control.html)

MARATHON. (s.f.). *GUÍA DE TALLAS*. Retrieved 15 de Julio de 2022, from Calzado:

<https://www.marathon.store/ec/guia-de-tallas>

Martín Loreto, F. J. (01 de Diciembre de 2021). *Materiales más usados en la fabricación de*

zapatos. Club Verde Calzados Primeras Firmas en Piel:

[https://www.calzadosclubverde.es/blog/hombre-mujer/materiales-mas-usados-en-la-](https://www.calzadosclubverde.es/blog/hombre-mujer/materiales-mas-usados-en-la-fabricacion-de-zapatos-infografia)

[fabricacion-de-zapatos-infografia](https://www.calzadosclubverde.es/blog/hombre-mujer/materiales-mas-usados-en-la-fabricacion-de-zapatos-infografia)

Martínez Sanchez, D. (2018). *DISEÑO Y CÁLCULO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD*

PARA UNA CINTA TRANSPORTADORA [Tesis de Ingeniería - Universidad Politécnica

de Cataluña]. Repositorio Digital de la Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/168224/VOLUMEN%20I.pdf>

Mayorga Abril, C., Ruiz Guajala, M., Mantilla, L. M., & Moyolema Moyolema, M. (2015).

PROCESOS DE PRODUCCIÓN Y PRODUCTIVIDAD EN LA INDUSTRIA DE

CALZADO ECUATORIANA: CASO EMPRESA MABELYZ. *Revista ECA Sinergia*, VII(2),

88-100.

- Miranda Encarnación, J. A. (1993). De la tradición artesana a la especialización industrial. El calzado valenciano, 1850-1930. *Revista de Historia Industrial [En línea]*(04), 11-36. Retrieved 14 de Abril de 2022, from <https://raco.cat/index.php/HistoriaIndustrial/article/view/62492>
- Mora García, J. (2018). *Montaje de los cuadros de control y dispositivos eléctricos y electrónicos de los sistemas domóticos e inmóticos. ELEM0111* (Segunda ed.). Antequera - Málaga: IC Editorial.
- Moreno Remache, C. G., & Taco Lascano, M. S. (2009). *AUTOMATIZACIÓN, CONTROL Y MONITOREO DE LA MÁQUINA INYECTORA DE SUELAS DE CALZADO MARCA "SVIT" MEDIANTE PANEL VIEW PARA LA EMPRESA CASS [Tesis de Ingeniería, Universidad de las Fuerzas Armadas Sede Latacunga (ESPEL)]*. Repositorio Digital Universidad de las Fuerzas Armadas Sede Latacunga (ESPEL), Latacunga-Ecuador.
- Mott, R. L. (2009). *Resistencia de materiales (Vol. 5)*. Pearson Educación.
- Ortega Sanchez, G. F. (2016). *Diseño, construcción e implementación de un prototipo de un horno de secado (curado) de pintura automotriz y pruebas de pintura en las probetas al final del proceso. [Tesis de Ingeniería - Universidad Tecnológica Equinoccial]*. Repositorio Digital Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito - Ecuador. http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/21481/1/66116_1.pdf
- Polímeros y Derivados. (2020). *Industria de Filtración*. <https://polimeros.com/industria-de-filtracion/>
- PROMAOSA Promotora de Maquinaria S.A. (2021). *SECADOR Y REACTIVADOR NIR MODIFICACIÓN. 742*. GRUPO SAZI : <http://www.sazimaquinas.com.br/pt/produto/60-secador-e-reativador-nir>

Quijia Gualoto, E. L. (2017). *ANÁLISIS DEL PROCESO DE PINTURA ELECTROSTÁTICA Y SU INCIDENCIA EN LA PRODUCTIVIDAD EN LA EMPRESA REYPEL*. [Tesis de Ingeniería - Universidad Tecnológica Indoamérica]. Repositorio Digital de la Universidad Tecnológica Indoamérica, Quito - Ecuador.

QUI-PA. (23 de Diciembre de 2009). *El pegado en el calzado*. Retrieved 15 de Julio de 2022, from Adhesivos Industriales: https://www.qui-pa.com/el_pegado_en_el_calzado.html

Rodríguez Pérez, B., Ricardo Cabrera, H., León González, J. L., & Medina León, A. (2020). Ideas y conceptos básicos para la comprensión de las industrias 4.0. *Revista Universidad y Sociedad*, 12(04), 8-15. <https://doi.org/http://orcid.org/0000-0002-3185-8929>

Roldán Vilorio, J. (2003). *Automatismos y Cuadros Eléctricos*. Madrid - España: THOMSON PARANINFO.

S&P. (02 de Diciembre de 2016). *Clasificación y aplicación de ventiladores industriales*. Retrieved 10 de Julio de 2022, from SISTEMAS DE VENTILACIÓN SLU: <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/ventiladores-industriales/>

SERMA. (19 de Diciembre de 2018). *Materiales para forros de calzados*. Retrieved 15 de Julio de 2022, from Información de moda, tecnología y mercados para la industria del calzado: <https://serma.net/noticias/tecnicas/materiales-para-forros-de-calzados>

SERMA. (19 de Diciembre de 2018). *Principales materiales para fabricación de suelas*. Retrieved 15 de Julio de 2022, from Moda, tecnología y mercado para la industria del calzado.: <https://serma.net/noticias/tecnicas/principales-materiales-para-fabricacion-de-suelas/>

SERMA. (10 de Marzo de 2021). *Adhesivos para EVA: características y modo de uso.*

Retrieved 15 de Julio de 2022, from Información de moda, tecnología y mercados para la industria del calzado.: <https://www.serma.net/noticias/tecnicas/adhesivos-para-eva-caracteristicas-y-modo-de-uso>

SESAME MOTOR CORP. (2022). *Variable Speed Control Gear Motors for Label / Packaging*

Machinery. Retrieved 10 de Julio de 2022, from Speed Control Motors - Separated Type (with SS Series Speed Controller):

<https://sesamemotor.en.taiwantrade.com/product/60w-variable-speed-control-gear-motors-2377608.html>

Söderby, K. (08 de Febrero de 2022). *Primeros pasos con Arduino IoT Cloud.* Nube IoT Arduino

- Introducción : <https://docs.arduino.cc/arduino-cloud/getting-started/iot-cloud-getting-started>

TC Medida y Control de Temperatura, S.A. (2018). *Termopar Tipo K – Información Técnica.*

<https://www.tc-sa.es/termopares/tipo-k-termopar.html>

Techno Injection & Tools. (01 de Febrero de 2019). *RESISTENCIAS A LA MEDIDA.* Retrieved

05 de Julio de 2022, from Ventas Online Techno Injection & Tools:

<https://www.technoinjectiontools.mx/resistencias-industriales/>

Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2013). *Diseño y desarrollo de productos*. México, D.F.:

McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Vaquero, N. (2019). Eficiencia en motores Eléctricos. *El Salvador Ahorra Energía*, 09, 8-12.

Vega, M. (18 de Agosto de 2020). *Breve Historia del Calzado.* Retrieved 15 de Marzo de 2022,

from REGINA ROMERO: <https://reginaromero.com/blogs/reginaromero/breve-historia-del-calzado>

- Velasteguí Peralta, J. P. (2011). Estudio de factibilidad para la implementación de herramientas de mejoramiento continuo en la fábrica de calzado GIANCARLO de la Ciudad de Cuenca. (*Tesis de Ingeniería*). Universidad del Azuay, Cuenca.
- VILLAROEL DUQUE, J. X. (2015). Aplicación de la metodología QFD para el diseño de un nuevo producto de fibra de madera resistente a la humedad en AGLOMERADOS COTOPAXI S.A. (*Tesis de maestría*). Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolqui.
- Wendling, M. (2010). *Sensores*. Universidad Estadual PAULISTA. Retrieved 10 de Julio de 2022, from <https://www.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/4---sensores-v2.0.pdf>
- Wendt, Z. (31 de Mayo de 2017). *Relés de estado sólido y relés electromecánicos*. Arrow Electronics: <https://www.arrow.com/es-mx/research-and-events/articles/crydom-solid-state-relays-vs-electromechanical-relays>
- WR AUTOMATIZACIONES INDUSTRIALES. (10 de Agosto de 2021). *Controles eléctricos y los diferentes tipos de controles eléctricos*. Retrieved 12 de Julio de 2022, from WR PROYECTOS: <https://www.wrautomatizaciones.com/post/controles-el%C3%A9ctricos-y-los-diferentes-tipos-de-controles-el%C3%A9ctricos>
- Yacuzzi, E., & Martín, F. (2003). *QFD: CONCEPTOS, APLICACIONES Y NUEVOS DESARROLLOS*. Universidad del Centro de Estudios Macroeconómicos de Argentina (UCEMA), Buenos Aires.
- Ynzunza Cortés, C. B., Izar Landeta, J. M., Bocarando Chacón, J. G., & Lario Osorio, M. (2017). El Entorno de la Industria 4.0: Implicaciones y Perspectivas Futuras. *Conciencia Tecnológica*, 54-57.

Anexos