



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA  
Y TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,  
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERA EN ELECTRÓNICA,  
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**TEMA: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN REGISTRO DE  
CAPTURA AUTOMÁTICA DE DATOS DE PRODUCCIÓN Y  
FALLOS PARA UNA PLANTA DE TEJEDURÍA”**

**AUTORA: AGUIRRE VINUEZA, ANA MARÍA**

**DIRECTOR: ING. AYALA TACO, JAIME PAÚL, PhD.**

**SANGOLQUÍ**

**2019**



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y  
CONTROL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN REGISTRO DE CAPTURA AUTOMÁTICA DE DATOS DE PRODUCCIÓN Y FALLOS PARA UNA PLANTA DE TEJEDURÍA” fue realizado por la señorita ANA MARÍA AGUIRRE VINUEZA, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 25 de Octubre del 2019

ING. AYALA TACO, JAIME PAÚL, PhD.

C.C: 1709434243



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y  
CONTROL**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **ANA MARÍA AGUIRRE VINUEZA**, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN REGISTRO DE CAPTURA AUTOMÁTICA DE DATOS DE PRODUCCIÓN Y FALLOS PARA UNA PLANTA DE TEJEDURÍA”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas. Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

**Sangolquí, 25 de Octubre del 2019**

-----  
Ana María, Aguirre Vinueza

C.C: 1003000336



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y  
CONTROL

AUTORIZACIÓN

Yo, **ANA MARÍA AGUIRRE VINUEZA** autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN REGISTRO DE CAPTURA AUTOMÁTICA DE DATOS DE PRODUCCIÓN Y FALLOS PARA UNA PLANTA DE TEJEDURÍA”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 25 de Octubre del 2019

-----  
Ana María, Aguirre Vinueza

C.C: 1003000336

## DEDICATORIA

El siguiente trabajo se lo dedico a mis padres Anita y Rigoberto quienes fueron el pilar fundamental para poder cumplir esta meta.

A mi hermana Elizabeth, que aparte de ser mi hermana fue mi compañera durante todo este tiempo, que con sus consejos hizo que nunca me diera por vencida.

A mi abuelita María, que desde la distancia siempre estuvo mandándome sus bendiciones para que todo lo que me proponga lo pueda terminar.

A Pablito Padilla, que ha sido mi enamorado, amigo y compañero, quién siempre confió en mí y siempre estuvo y está para apoyarme en todo momento.

*Ana María Aguirre Vinueza*

## AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a Dios, por permitirme estar aquí para cumplir con esta meta, y haberme dado fortaleza para no rendirme durante todo este camino.

A mis cuatro personas más importantes en mi vida, mi madre que sin importar la distancia que nos separaba, siempre estuvo ahí dándome fortaleza y enseñándome que de las caídas se aprende y que con esfuerzo todo se puede lograr, a mi padre que con sus palabras de aliento nunca me dejó dar un paso atrás, a mi hermana que me brindó un apoyo constante, que hizo que esos días difíciles sean más llevaderos, mostrándome que siempre vas a estar para mí como yo para ti, a mi abuelita por ser esa persona amable, cariñosa y alegre, que nos ha enseñado que para todo hay solución en esta vida, y a mi osito quién ha estado junto a mí durante todo este tiempo, en los buenos y malos momentos, alentándome para cumplir mi meta.

A toda mi familia que siempre me ha estado apoyándome para cumplir con este logro.

A mis amigos y amigas que formaron parte de mi vida universitaria, los cuáles fueron como una familia para mí durante todo este tiempo, gracias por todo chicas.

Al Ing. Paúl Ayala por haber aceptado a ser tutor de este proyecto, por ser una guía y brindarme sus conocimientos que fueron clave para el desarrollo del proyecto.

A Textil Padilla Cia. Ltda. por haberme abierto sus puertas para realizar el proyecto en su proceso de tejeduría.

*Ana María Aguirre Vinuesa*

## Índice general

CERTIFICACIÓN . . . . .	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD . . . . .	ii
AUTORIZACIÓN . . . . .	iii
DEDICATORIA . . . . .	iv
AGRADECIMIENTO . . . . .	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS . . . . .	vi
ÍNDICE DE TABLAS . . . . .	x
ÍNDICE DE FIGURAS . . . . .	xi
RESUMEN . . . . .	xv
ABSTRACT . . . . .	xvi
<b>1 INTRODUCCIÓN . . . . .</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes . . . . .	1

1.2	Justificación e Importancia. . . . .	3
1.3	Alcance del proyecto de fin de carrera . . . . .	4
1.4	Objetivos . . . . .	5
1.4.1	Objetivo general . . . . .	5
1.4.2	Objetivos específicos . . . . .	5
1.5	Organización del documento . . . . .	6
<b>2</b>	<b>ESTADO DEL ARTE . . . . .</b>	<b>8</b>
2.1	Industria Textil . . . . .	8
2.1.1	Proceso de la Producción Textil. . . . .	10
2.2	Métodos de mejoramiento productivo . . . . .	15
2.2.1	Lean Manufacturing . . . . .	15
2.2.2	5S . . . . .	16
2.2.3	Six Sigma . . . . .	17
2.2.4	TOC (Teoría de las Limitaciones) . . . . .	18
2.3	Base de Datos . . . . .	18
2.3.1	Elementos de la base de datos . . . . .	19
2.3.2	Modelos de base de datos . . . . .	20
2.3.3	Tipos de Base de Datos . . . . .	23
2.4	Sistemas Automatizados . . . . .	24
2.4.1	Tipos de estructura de sistemas automatizados . . . . .	24
2.4.2	Automatismos programados . . . . .	26



2.4.3	Sistemas de control distribuido . . . . .	29
<b>3</b>	<b>DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL REGISTRO AUTOMÁTICO DE</b>	
	<b>PRODUCCIÓN Y FALLOS . . . . .</b>	<b>31</b>
3.1	Análisis de la situación actual del proceso de tejeduría . . . . .	32
3.1.1	Panel de control electrónico . . . . .	34
3.1.2	Sensores . . . . .	36
3.1.3	Actuadores . . . . .	38
3.2	Descripción del proceso de tejeduría . . . . .	39
3.3	Requisitos para la implementación del sistema . . . . .	41
3.3.1	Requisitos de Hardware . . . . .	41
3.3.2	Requisitos de Software . . . . .	42
3.3.3	Requisitos de Red . . . . .	42
3.3.4	Selección de las herramientas para el desarrollo del sistema . . . . .	42
3.4	Desarrollo e implementación del dispositivo electrónico (Hardware) . . . . .	43
3.4.1	Descripción del dispositivo de adquisición de datos . . . . .	43
3.4.2	Diseño de hardware del dispositivo de adquisición de datos . . . . .	53
3.5	Desarrollo del registro automático (Software) . . . . .	62
3.5.1	Desarrollo del software de procesamiento de señales . . . . .	62
3.6	Diseño de la interfaz HMI . . . . .	70
3.6.1	Navegación entre ventanas . . . . .	71
3.6.2	Distribución de las pantallas . . . . .	72

3.6.3	Uso de colores . . . . .	77
3.6.4	Formato de texto . . . . .	78
3.6.5	Pantallas de la interfaz HMI . . . . .	78
3.7	Diseño e implementación de la base de datos . . . . .	84
3.7.1	Diseño de base de datos conceptual . . . . .	84
3.7.2	Diseño de la base de datos físico . . . . .	85
3.7.3	Creación de la base de datos . . . . .	85
<b>4</b>	<b>PRUEBAS Y RESULTADOS . . . . .</b>	<b>88</b>
4.1	Pruebas FAT . . . . .	88
4.1.1	Hardware . . . . .	89
4.1.2	Software . . . . .	92
4.2	Metodología para disminuir tiempos de paro en proceso tejeduría . . . . .	97
4.2.1	OEE (Overall Equipment Effectiveness) . . . . .	97
4.2.2	Evaluación de tiempos muertos en el proceso de tejeduría . . . . .	106
	<b>REFERENCIAS . . . . .</b>	<b>115</b>
	<b>ANEXOS . . . . .</b>	<b>A.1</b>
	<b>Anexo A Diagrama eléctrico general de la etapa de adquisición de datos. . . . .</b>	<b>A.1</b>
	<b>Anexo B Código adquisición de datos y funcionamiento de HMI. . . . .</b>	<b>B.1</b>
	<b>Anexo C Código PHP reporte general de datos. . . . .</b>	<b>C.1</b>

Anexo D Código PHP reporte cálculo tiempos muertos por fallos. . . . . D.1

Anexo E Diagrama de conexión - control. . . . . E.2

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b>	<i>Características técnicas sensores</i> . . . . .	38
<b>Tabla 2</b>	<i>Parámetros placa motor de máquina circular</i> . . . . .	38
<b>Tabla 3</b>	<i>Características Diodo rectificador 1N4007</i> . . . . .	44
<b>Tabla 4</b>	<i>Características Opto acoplador PC817B</i> . . . . .	46
<b>Tabla 5</b>	<i>Características Diodo Zener 1N4733A</i> . . . . .	47
<b>Tabla 6</b>	<i>Características Diodo Schottky 1N5819</i> . . . . .	48
<b>Tabla 7</b>	<i>Características Arduino MEGA 2560</i> . . . . .	49
<b>Tabla 8</b>	<i>Características Módulo Ethernet Shield</i> . . . . .	51
<b>Tabla 9</b>	<i>Características Pantalla Nextion TFT 2.8"</i> . . . . .	52
<b>Tabla 10</b>	<i>Señales correspondientes a la Figura 24</i> . . . . .	56
<b>Tabla 11</b>	<i>Señales correspondientes a la Figura 26</i> . . . . .	58
<b>Tabla 12</b>	<i>Señales correspondientes a la Figura 27</i> . . . . .	60
<b>Tabla 13</b>	<i>Colores utilizados en cada ventana</i> . . . . .	77
<b>Tabla 14</b>	<i>Formato de texto utilizados en HMI</i> . . . . .	78
<b>Tabla 15</b>	<i>Tipos de datos y variables de la tabla "mcfp"</i> . . . . .	84

<b>Tabla 16</b>	<i>Pruebas, inspección visual</i> . . . . .	89
<b>Tabla 17</b>	<i>Pruebas, conexión</i> . . . . .	90
<b>Tabla 18</b>	<i>Pruebas, estructura del diseño</i> . . . . .	91
<b>Tabla 19</b>	<i>Pruebas, verificación señales</i> . . . . .	91
<b>Tabla 20</b>	<i>Pruebas, comunicación</i> . . . . .	92
<b>Tabla 21</b>	<i>Pruebas, base de datos</i> . . . . .	93
<b>Tabla 22</b>	<i>Pruebas, diseño HMI</i> . . . . .	93
<b>Tabla 23</b>	<i>Pruebas, evaluación de HMI</i> . . . . .	94
<b>Tabla 24</b>	<i>Resultados de Guía Gedis</i> . . . . .	96
<b>Tabla 25</b>	<i>Valoración indicadores OEE</i> . . . . .	98
<b>Tabla 26</b>	<i>Tiempos reales vs tiempos teóricos por rollo</i> . . . . .	101
<b>Tabla 27</b>	<i>Tiempos muertos por máquina y producción</i> . . . . .	102
<b>Tabla 28</b>	<i>Rollos teórica vs Rollos real</i> . . . . .	104
<b>Tabla 29</b>	<i>Producción teórica vs producción real</i> . . . . .	105
<b>Tabla 30</b>	<i>Diagrama de Pareto de los fallos proceso tejeduría</i> . . . . .	107

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b>	Distribución empresas textiles en el Ecuador . . . . .	9
<b>Figura 2.</b>	Clasificación de la fibra textil . . . . .	11

<b>Figura 3.</b>	Primeros telares Otavalo . . . . .	13
<b>Figura 4.</b>	Máquinas tipo tela tubular o punto . . . . .	14
<b>Figura 5.</b>	Máquina tipo tela plana . . . . .	14
<b>Figura 6.</b>	Elementos de base de datos . . . . .	20
<b>Figura 7.</b>	Modelo plano base de datos . . . . .	20
<b>Figura 8.</b>	Modelo jerárquico base de datos . . . . .	21
<b>Figura 9.</b>	Modelo de red base de datos . . . . .	22
<b>Figura 10.</b>	Modelo relacional base de datos . . . . .	22
<b>Figura 11.</b>	Control de lazo abierto . . . . .	25
<b>Figura 12.</b>	Control de lazo cerrado . . . . .	26
<b>Figura 13.</b>	Pirámide de automatización . . . . .	28
<b>Figura 14.</b>	Arquitectura DCS . . . . .	30
<b>Figura 15.</b>	Registro automático de producción y fallos para máquinas circulares .	32
<b>Figura 16.</b>	Planta de tejeduría, área Polialgodón . . . . .	34
<b>Figura 17.</b>	Panel de control . . . . .	36
<b>Figura 18.</b>	Diagrama de flujo del proceso del tejido . . . . .	40
<b>Figura 19.</b>	Diagrama de bloques de los dispositivos de adquisición . . . . .	43
<b>Figura 20.</b>	Esquema de conexión SPI entre Arduino MEGA y módulo <i>Ethernet</i> <i>Shield</i> . . . . .	49
<b>Figura 21.</b>	Esquema de envío de datos desde SPI Master a SPI Esclavo . . . . .	50

<b>Figura 22.</b>	Esquema de conexión serial (UART) entre Arduino MEGA y pantalla TFT NEXTION . . . . .	52
<b>Figura 23.</b>	Diagrama de bloques del dispositivo de adquisición de datos . . . . .	53
<b>Figura 24.</b>	Circuito de rectificación de las señales de fallos, <i>Start</i> y <i>Stop</i> . . . . .	54
<b>Figura 25.</b>	Señal alterna y continua . . . . .	56
<b>Figura 26.</b>	Circuito de conversión de 12VDC a 5VDC de las señales de fallos, <i>Start</i> y <i>Stop</i> . . . . .	57
<b>Figura 27.</b>	Circuito de conversión de 12VDC a 5VDC de las señales de top, needle, bottom . . . . .	58
<b>Figura 28.</b>	Diseño de placa PCB . . . . .	60
<b>Figura 29.</b>	Diseño de carcasa para el dispositivo de adquisición de datos . . . . .	61
<b>Figura 30.</b>	Diagrama de flujo del programa general del procesamiento de datos .	63
<b>Figura 31.</b>	Diagrama de flujo subrutina de ingreso de datos principales pantalla NEXTION . . . . .	65
<b>Figura 32.</b>	Declaración de objetos de la interfaz en Arduino MEGA . . . . .	66
<b>Figura 33.</b>	Función datos característicos de la tela . . . . .	66
<b>Figura 34.</b>	Diagrama de flujo subrutina fallos automáticos de la máquina . . . . .	67
<b>Figura 35.</b>	Registro de fallos automáticos producidos por la máquina . . . . .	68
<b>Figura 36.</b>	Diagrama de flujo subrutina ingreso de fallos externos . . . . .	69
<b>Figura 37.</b>	Ingreso y registro de fallos externos . . . . .	70
<b>Figura 38.</b>	Navegación de la interfaz HMI . . . . .	72
<b>Figura 39.</b>	Plantilla menú principal . . . . .	73

<b>Figura 40.</b>	Plantilla visualizador de fallos automáticos . . . . .	73
<b>Figura 41.</b>	Plantilla categorización de fallos externos . . . . .	74
<b>Figura 42.</b>	Plantilla de tipo de fallos por mantenimiento . . . . .	74
<b>Figura 43.</b>	Plantillas de tipo de fallos por calibración . . . . .	75
<b>Figura 44.</b>	Plantilla de tipo de falos por producción . . . . .	75
<b>Figura 45.</b>	Plantilla de tipo de fallos por insumos y materiales . . . . .	76
<b>Figura 46.</b>	Plantilla de tipo de fallos por actividades varias . . . . .	76
<b>Figura 47.</b>	Pantalla de menú principal . . . . .	79
<b>Figura 48.</b>	Pantalla de visualización fallos automáticos de la máquina . . . . .	79
<b>Figura 49.</b>	Pantalla de categorización de fallos externos . . . . .	80
<b>Figura 50.</b>	Pantalla de tipos de fallos producidos por mantenimiento . . . . .	81
<b>Figura 51.</b>	Pantalla de tipos de fallos producidos por calibración . . . . .	81
<b>Figura 52.</b>	Pantalla de tipos de fallos producidos por producción . . . . .	82
<b>Figura 53.</b>	Pantalla de tipos de fallos producidos por insumos y materiales . . . . .	83
<b>Figura 54.</b>	Pantalla de tipos de fallos producidos por otros (actividades varias) . . . . .	83
<b>Figura 55.</b>	Estructura base de datos . . . . .	85
<b>Figura 56.</b>	Herramienta de gestión y modificación para base de datos . . . . .	86
<b>Figura 57.</b>	Líneas de código para conexión entre Arduino y PHP . . . . .	87
<b>Figura 58.</b>	Estructura base de datos . . . . .	108

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo realizar el diseño e implementación de un registro automático de fallos y producción para una planta de tejeduría de la empresa Textil Padilla Cia. Ltda. ubicada en el sector de San Carlos de Alangasí de la ciudad de Quito, la finalidad que tiene el proyecto es identificar los principales paros que generan tiempos muertos en el proceso productivo y con esto ayudar a la toma de decisiones para optimizar tiempos perdidos en el proceso. Para la obtención de los fallos automáticos producidos por cada máquina se diseñó e instaló un dispositivo electrónico el cual está compuesto de una parte como la conversión de señales y la otra el procesamiento de las mismas mediante una tarjeta de adquisición de datos Arduino MEGA, además durante el proyecto se realizó un análisis de todo el proceso productivo para poder identificar los fallos externos a la máquina, los cuáles serán registrados por parte del operario mediante una interfaz humano - máquina (HMI). Finalmente se muestra el análisis del OEE (Overall Equipment Effectiveness) obtenido de la planta de tejeduría, donde se observa claramente como afecta los tiempos muertos directamente en los factores que lo conforman, y mediante este análisis se generó una recomendación de estrategia para la eliminación de las principales causas que generan paros en el proceso.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **TEJEDURÍA**
- **TIEMPOS MUERTOS**
- **OEE**
- **MEJORAMIENTO CONTINUO**



## ABSTRACT

The purpose of this research work is to design and implement an automatic fault and production registry for a weaving plant of the Textil Padilla Cia. Ltda. company located in the San Carlos de Alangasi sector of the city of Quito, the purpose of the project is to identify the main shutdowns that generate downtime in the production process and with this help to make decisions to improve and optimize the time lost in the process. In order to obtain the automatic faults produced by each machine, an electronic device was designed and installed, which is composed of a signal conversion component and a signal processing component using an Arduino MEGA data acquisition card. During the project, an analysis of the entire production process was carried out in order to identify the faults external to the machine, which will be recorded by the operator through a human-machine interface (HMI). Finally, the OEE (Overall Equipment Effectiveness) analysis obtained from the weaving plant is shown, where it is clearly observed how it affects the dead times directly in the factors that make it up, and through this analysis a strategy recommendation was generated for the improvement of lost time in the process.

### KEYWORDS:

- WEAVING
- DEAD TIMES
- OEE
- CONTINUOUS IMPROVEMENT

# Capítulo 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

Textil Padilla Cia. Ltda., es una empresa especializada en la fabricación, terminado, venta y distribución de telas deportivas de tejido de punto desde 1984. La empresa ha revolucionado la industria textil gracias a la implementación de tecnología de punta de la más alta calidad (Padilla, 2018).

Las empresas textiles poseen un proceso productivo completo desde las fibras, fabricación de tejidos, tintura y acabado. La fabricación de tejidos en la antigüedad se lo realizaba con telares manuales, los mismos que gracias a los avances de la tecnología han sido sustituidos por aparatos más grandes, más rápidos y mucho más automatizados, ayudando a mejorar la productividad (Lee y Neefus, 2012).

Woollam (1986) menciona que las empresas para alcanzar una máxima eficiencia en su determinada línea de producción, optan por atacar uno de los problemas más frecuentes como

son los tiempos muertos, razón por la cual se hace necesario identificarlos y eliminarlos.

En el presente año el Instituto Tecnológico Superior Cordillera de la ciudad de Quito, realizó un manual de procedimiento en base al sistema de calidad 5S, para reducir tiempos muertos y desperdicios en un proceso de tejido, estudio que se enfoca a corregir principalmente el mal manejo del proceso en sí, mediante la importancia que se debe dar a los pasos de clasificación, orden y limpieza, ayudando a reducir los problemas que pueden incidir en la calidad de su producto (Taípe, 2018).

Xitumul (2009) implementó un sistema de control de tiempos no productivos para mejorar la eficiencia en una línea de producción, mediante la adquisición de datos, por medio de plantillas manuales, para que posteriormente con la ayuda de herramientas de control estadístico como: Histogramas, diagramas de Pareto, diagramas de causa-efecto y diagramas de control, le permitió identificar las causas de dichos tiempos muertos y diseñar el sistema de control, el mismo que emite de manera automática reportes de datos exactos en la línea de producción y hace que se busque soluciones a las causas encontradas.

La implementación de una estrategia para la adquisición automática de datos en un determinado proceso, es una ayuda muy importante en la mejora de la productividad y la eliminación de tiempos muertos.

Dentro de la pirámide de automatización los datos obtenidos en los niveles más bajos de la misma, conseguidos desde la maquinaria en sí; son datos que ayudan en los niveles superiores a tomar decisiones que principalmente estarán enfocados a la optimización del proceso productivo (Ciurans, 2007).

## 1.2 Justificación e Importancia.

En el país, las industrias textiles, que poseen el proceso de tejeduría cuentan con plantas donde su maquinaria funciona con una tecnología básica, que en la actualidad no es de ayuda en el mejoramiento del proceso productivo, por el déficit que presenta en la adquisición de datos, los mismos que ayudan a la toma de decisiones por parte del personal administrativo (gerencias).

Las empresas buscan optimizar su proceso, donde por medio de la implementación de registros automáticos, se facilite la toma de datos directamente desde la máquina o sensores, que ayudarán a la identificación de los principales problemas en la producción tales como:

- Fallos productivos.
- Tiempos asociados a paradas de producción.

Con la obtención de una base de datos, actualmente, las empresas se enfocan en el mejoramiento de su proceso por medio de la aplicación de métodos modernos, los mismos que manejan las operaciones de manufactura, como Six Sigma, Lean Manufacturing, 5S, entre otros. La utilización de cualquiera de estos métodos ofrece resultados visibles, cumpliendo con su principal meta que es la reducción de tiempos y aumento de producción.

Por tal razón la importancia del proyecto radica en que por medio de su ejecución se logrará identificar los problemas antes presentados, además de la producción real por máquina, mediante la aplicación de un adecuado registro automático de datos, los mismos que serán utilizados posteriormente con uno de los métodos orientados a la mejora productiva. Para la implementación de este proyecto, se lo realizará en el área de tejeduría de la empresa textil

Padilla Cia. Ltda., ubicada en el sector de San Carlos de Alangasí de la ciudad de Quito, que funciona automáticamente, pero con un control básico, donde se integrarán registros automatizados, para así conseguir información necesaria del proceso y por medio de la utilización del método de mejoramiento productivo, disminuir tiempos muertos y aumentar la producción de la empresa.

### **1.3 Alcance del proyecto de fin de carrera**

El área de tejeduría a intervenir cuenta con 4 máquinas circulares, las mismas que producen tela de diferentes diseños, cuyo material es poliéster, estas máquinas circulares se encuentran controladas por medio de un microcontrolador.

El proyecto consiste en la implementación de un registro automático de datos, y para ello principalmente se analizará el proceso de producción que posee esta área, para entender su funcionamiento y conocer los dispositivos electrónicos que intervienen en el proceso, tales como: sensores, actuadores.

El registro de datos automáticos se lo realizará, con la ayuda de una tarjeta Arduino, que, mediante su programación, ejecutará la adquisición de la información que la máquina proporciona como:

- Fecha y hora de encendido de la máquina.
- Fecha y hora de paro/apagado de la máquina.
- Finalización de pieza de tela.

Se diseñará e implementará un dispositivo electrónico (tipo teclado) donde se presentarán los principales fallos que producen las paradas en las máquinas, cada fallo será manejada como

una variable, que serán agregadas al registro al momento de producirse el fallo.

El registro se lo enviará a una base de datos realizada en MySQL, el mismo que será presentado como una tabla, y de este modo el departamento de producción, podrá acceder a la información que se irá cargando en tiempo real, para monitorizar los datos de la producción.

Finalmente, habiendo obtenido los principales tiempos muertos se analizarán los datos con el estudio del método de mejoramiento productivo, el mismo que por medio de su implementación, se planteará la mejora en tiempos de las diferentes etapas de producción y el consecuente incremento de productos terminados y reducción de desperdicios.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Diseñar e implementar un registro de captura automática de datos de producción y fallos para una planta de tejeduría.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Diseñar e instalar un dispositivo electrónico para registro de fallas por máquina de tejeduría.
- Recolectar datos considerados como importantes directamente de cada máquina por medio de una tarjeta Arduino.
- Identificar los principales fallos que producen las paradas de producción en las máquinas de tejeduría.

- Proponer una metodología de mejora en la producción del proceso de tejeduría a partir de la identificación de fallos y reducción de tiempos muertos.

## **1.5 Organización del documento**

### **Introducción**

En esta etapa se enfoca la parte investigativa para el desarrollo del proyecto, donde se recopilará información de trabajos realizados, los mismos que mencionan trabajos sobre el uso de métodos de mejoramiento continuo, control de tiempos muertos en un determinado proceso productivo y el uso de sistemas automáticos para la obtención de información importante dentro de un proceso productivo.

### **Capítulo 2**

En esta etapa se revisará toda la información necesaria, acerca de estudios ya realizados, sobre la metodología utilizada para el mejoramiento de un proceso productivo, métodos para reducir tiempos muertos y registros de control de fallos manuales o automáticos implementados en un determinado proceso.

### **Capítulo 3**

En esta etapa se diseñará e implementará el registro automático de datos y el mejoramiento en el proceso productivo, por medio de la reducción de tiempos muertos que posee el proceso de tejeduría, se empieza con la implementación del dispositivo electrónico que servirá para la recolección de los principales fallos que producen las paras en la producción, con la tarjeta

Arduino se realizará la adquisición de datos directamente obtenidos de cada máquina, por medio de la utilización de una base de datos realizada en MySQL. Los datos podrán ser monitorizados en tiempo real por parte del departamento de producción. Finalmente, con recopilación de datos y con la ayuda del método de mejoramiento productivo se planteará los tiempos muertos a reducir para mejorar la producción.

#### **Capítulo 4**

Una vez que se encuentre implementado el hardware y software se realizarán pruebas de funcionamiento, y para la obtención de resultados se analizará la información productiva antigua y nueva de la empresa.

#### **Capítulo 5**

En esta etapa final del proyecto se redactarán las conclusiones y recomendaciones, de acuerdo a los resultados obtenidos con la implementación del proyecto, además de presentar trabajos a futuro que se puedan aportar.



# Capítulo 2

## ESTADO DEL ARTE

### 2.1 Industria Textil

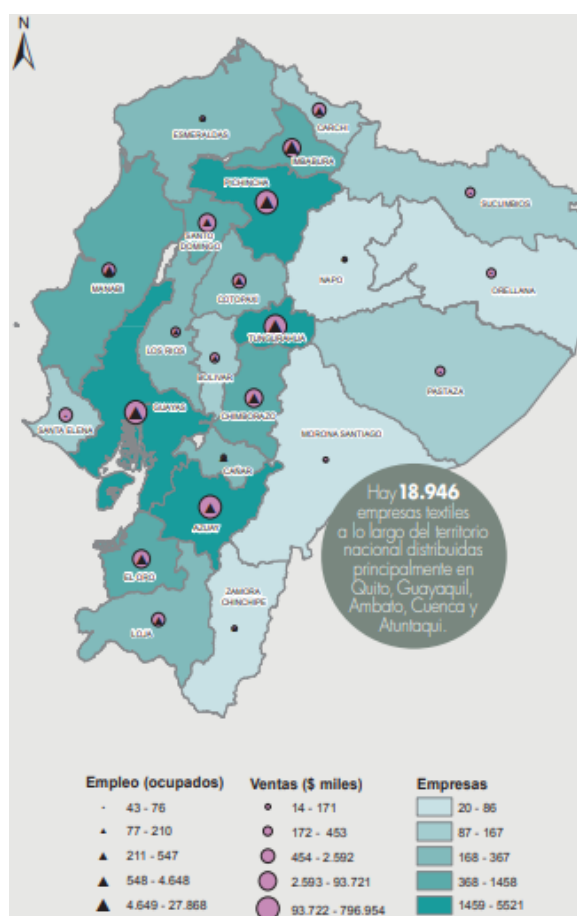
La industria textil en el Ecuador, se remonta desde la época de la colonia hasta el siglo XX, siglo en el cuál la producción textil quiteña mejoró, gracias a la modernización de la industria y también a que entre los años 1911 y 1919, las importaciones de lana y algodón cayeron, mejorando de tal forma las oportunidades de la industria textil interna (Cuvi, 2009).

En 1920, la industria textil generaba empleo a casi 3 mil personas y su expansión ocurrió desde Ibarra hasta Cuenca, haciendo que en 1930 llegaran a representar el 90% del campo textil del país (Deler, 1930).

En la actualidad este sector todavía sigue siendo un referéndum que genera un valor agregado a la economía del país, ya que ha crecido positivamente, exceptuando el año 2012 donde se notó un decremento en las ventas, debido al incremento de importaciones de ropa, precios variables en el algodón y la disminución de remesas (Díaz, 2013) y el 2016 fue uno de

los peores años, debido a la desaceleración económica que atravesó el país, gracias a la caída del precio del barril del petróleo (Díaz, 2018).

Es importante destacar que las empresas de fabricación de hilo, tejidos y prendas, se han asentado principalmente en las siguientes cinco provincias: Pichincha, Guayas, Tungurahua, Azuay e Imbabura. En la Figura 1 se puede observar la distribución de empresas textiles a lo largo del territorio nacional, las mismas que ocupan el 29% del total de empresas manufactureras del país y de este porcentaje el 13% son empresa dedicadas a la fabricación de hilados y tejidos (Ordóñez, 2013).



**Figura 1.** Distribución empresas textiles en el Ecuador  
Fuente:(DIEE, 2013)

El proceso textil, cumple con una cadena completa, la misma que comienza con la adquisición de materia prima (fibras naturales o sintéticas), posteriormente se realiza el proceso de tejido (punto o plano), y finalizando con el proceso de terminado o acabado. Pero dentro de la cadena textil, también interviene el proceso de confección, donde se usa el producto textil para darle una utilidad y adquirir mercado, dentro y fuera del país.

En la actualidad, la industria textil ecuatoriana ha tenido un avance muy notable, en cuanto a la alta calidad en los productos textiles, ya que el Ecuador se ha convertido en un exportador de hilo, telas y prendas terminadas, principalmente hacia los países como Estados Unidos, Colombia, Chile, Brasil, Venezuela y Perú, haciendo que la industria textil, implemente y mejore sus procesos de control y calidad, conjuntamente con la mejora tecnológica y de esta forma los productos terminados compitan principalmente con el mercado que maneja el país vecino Colombia (Ecuador.com, 2007).

### **2.1.1 Proceso de la Producción Textil.**

La industria textil posee un proceso de producción, el mismo que inicia con el conocimiento de la materia prima y tipo de tela que se produce, el proceso es modificado en algunos pasos, tales como:

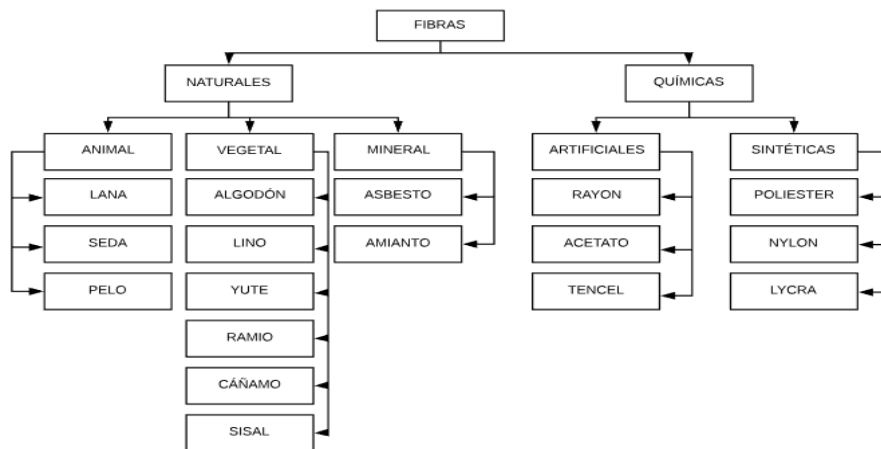
- Fibra.
- Hilatura.
- Tejido.
- Tinturado.

- Acabados o Terminados.

### 2.1.1.1. Fibra.

Fibra textil es: “Una unidad de materia, ya sea natural o artificial, que forma el elemento básico de tejidos y otros productos textiles. Una fibra se caracteriza por tener una longitud por lo menos de 100 veces su diámetro o anchura. El término se refiere a unidades que se pueden girar en un hilo o convertir en una tela por varios métodos”(Celanese Acetate, 2001).

Este elemento es la materia prima, principal para dar inicio a todo proceso textil, la misma que es un filamento, que posee características como: flexibilidad, finura y longitud. La fibra se clasifica según su composición: Fibras Naturales y Fibras Químicas. En la Figura 2 se puede observar a detalle la clasificación de la fibra textil, según la procedencia de la misma.



**Figura 2.** Clasificación de la fibra textil

Fuente:(Rivera, 2012)

### **2.1.1.2. Hilatura.**

Es un proceso industrial, por medio del cual se convierte las fibras textiles, ya sean: Naturales o Químicas, mediante operaciones mecánicas, en un nuevo cuerpo textil, cuyas características principales son la resistencia, flexibilidad, producto fino y alargado, conocido como hilo. Este proceso fue implementado por parte del hombre, el mismo que con el uso de sus manos, mediante la torsión de la fibra, obtuvo por primera vez un hilo simple (Rivera, 2012).

Con el paso de los años y el aumento de la tecnología, en la actualidad, más del 85% del hilo del mundo, se lo produce con la ayuda de maquinaria de hilares con anillos, las mismas que cumplen el procedimiento de estirar la fibra hasta la longitud deseada, número de hilo y aplicarle una torsión (Lee y Neefus, 2012).

### **2.1.1.3. Tejido.**

Es un proceso que como el de hilatura, por medio de mecanismos mecánicos, producen tejidos. Este procedimiento consiste en enlazar los hilos, teniendo como objetivo principal el de formar telas (Masabanda, 2011).

En el Ecuador el proceso se remonta desde la antigüedad, en los tiempos de la conquista española, donde se introdujo telares a pedal y con torno de hilar, al procesamiento de tejidos, los cuales fueron utilizados principalmente por las etnias indígenas del país. Para tener idea de como eran los primeros telares del país, se los observa en la Figura 3 (Ecuador.com, 2006).



*Figura 3.* Primeros telares Otavalo  
Fuente:(Palomino, 2012)

Con el paso del tiempo, y las mejoras tecnológicas, el proceso de tejido ha obtenido un avance en cuanto a la implementación de maquinaria, la cual ha hecho que la calidad del producto llegue a compararse o hasta a superar el mercado internacional.

Este proceso produce tres tipos de tejido: plano, punto y no tejido, donde para cada tipo antes mencionado, se usa maquinaria que brinda las características propias que el tejido debe tener. La maquinaria que se utiliza para cada tipo de tejido se aprecia en la Figura 4 y Figura 5, las cuales son:

- Máquinas Circulares usadas en la producción de telas de punto.
- Máquinas Telar usadas en la producción de telas planas.



**Figura 4.** Máquinas tipo tela tubular o punto  
Fuente:(Mejía, 2015)



**Figura 5.** Máquina tipo tela plana  
Fuente:(Panamericanos, 2012)

#### **2.1.1.4. Tinturado.**

El proceso de tintura es el más complicado dentro de la industria textil, ya que la adición de propiedades a la tela se realiza por medio de la intervención de una gran diversidad de colorantes y agentes auxiliares de teñido (ATEXGA, 1991).

Como todo proceso, al principio se utilizaba tintes naturales, los cuales daban color al filamento y a los tejidos, que posteriormente fueron cambiados por químicos y colorantes que incrementan la calidad del producto tinturado, mejorando las características de firmeza,

textura, y suavidad (Masabanda, 2011).

#### **2.1.1.5. Acabados o Terminados.**

El proceso de acabado, es el que da las características de costo al producto, ya que principalmente modifica: apariencia, comportamiento y tacto (Rivera, 2012).

Este proceso se lo obtiene gracias al uso de máquinas calandras, las mismas que por medio de mecanismos mecánicos, donde la tela pasa por rodillos, brindan el terminado tanto visual como el planchado durable, rendimiento y brillo (CIAI, 2014).

## **2.2 Métodos de mejoramiento productivo**

Los métodos de mejoramiento continuo, se encuentran enfocados a minimizar recursos, los mismos que afectan directamente a la productividad de una determinada empresa, industria o fábrica.

Dentro de los métodos de mejoramiento continuo más utilizados se encuentran:

### **2.2.1 Lean Manufacturing**

Método con el cuál se incrementa la competitividad de las plantas industriales, dando un máximo valor al producto, a través de la eliminación de actividades innecesarias, las mismas que por medio de un control dentro de los procesos productivos se puede lograr obtener un mejoramiento en la eficiencia con un menor consumo de recursos (Bernal, 2013).

La implementación de esta metodología en la industria permitirá:

- Minimizar inventarios.



- Minimizar retrasos.
- Minimizar espacios de trabajo.
- Minimizar costos totales.
- Minimizar consumo energético.
- Mejorar la calidad (Salazar, 2016).

### 2.2.2 5S

Metodología orientada a la organización, centralización y limpieza para el desarrollo de un determinado trabajo, dentro de un determinado espacio, esta metodología es muy utilizada conjuntamente con el método Lean Manufacturing, ya que crea hábitos dentro de la organización, haciendo que la industria sea más eficiente y productiva (Salazar, 2016).

Esta metodología es formada por cinco etapas, las mismas que conforman su nombre y las que van a ser descritas a continuación:

- Seiri: Clasificar, identificar y eliminar materiales y actividades innecesarias.
- Seiton: Ordenar y priorizar.
- Seisō: Mantener la limpieza.
- Seiketsu: Señalizar y estandarizar.
- Shitsuke: Mejora continua (Bernal, 2013).

### 2.2.3 Six Sigma

Es una metodología enfocada a la mejora de la calidad del producto o servicio, centrándose principalmente en la eliminación de defectos y variación de los procesos. Para su implementación esta metodología maneja dos grandes indicadores: tiempo con que se realiza el proceso y el número de errores internos o externos que llegan al cliente (Robledo, 2017).

Six sigma está compuesta de 5 etapas, las mismas que van a ser descritas a continuación:

- Definir: Describir el problema o el defecto, para entender de manera clara y precisa la situación actual del proceso (Herrera y Arzola, 2012).
- Medir: Evaluar por medio de diferentes tipos de análisis la capacidad que poseen los sistemas de medición del proceso (Herrera y Arzola, 2012).
- Analizar: Se realiza el análisis mediante la utilización de herramientas gráficas y estadísticas de los datos obtenidos sobre el funcionamiento del proceso.
- Mejorar: Implementación de acciones para la optimización del proceso, mediante la utilización de herramientas como: árbol de ideas, análisis de regresión, entre otras, que faciliten el mejoramiento del proceso.
- Controlar (D-M-A-M-C): Realizar seguimiento del proceso, mediante la implementación de formatos de control, para respaldar el desempeño del proceso (Herrera y Arzola, 2012).

#### **2.2.4 TOC (Teoría de las Limitaciones)**

Metodología que se enfoca principalmente en la identificación de los cuellos de botella que existen en un determinado proceso industrial, los mismos que causan la disminución de la capacidad de producción dentro de la industria. Para que la metodología cumpla con su objetivo principal, que es el de generar ganancias, la empresa se deberá enfocar en lo siguiente:

- Maximizar sus ventas.
- Asegurar su presencia en el mercado.
- Reducir los inventarios.
- Minimizar los gastos de operaciones (Robledo, 2017).

Dependiendo de los datos que vayan a ser analizados y a los resultados que se desee obtener, se debe escoger cualquiera de los métodos de mejoramiento continuo antes descritos, los que poseen diferentes enfoques, que principalmente buscan el mejoramiento productivo dentro de un proceso industrial.

### **2.3 Base de Datos**

Son conjuntos de datos recolectados, los mismos que son organizados mediante la utilización de tablas, que permiten almacenar gran cantidad de información, para facilitar su utilización.

En la actualidad las bases de datos han sido de gran ayuda a las empresas e industrias, ya que poseen las siguientes características:

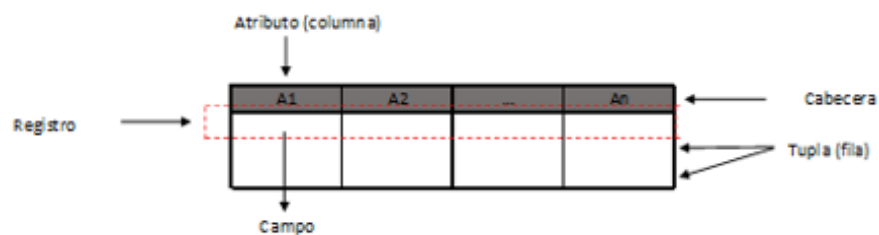
- Independencia lógica y física de los datos.
- Redundancia mínima.
- Acceso concurrente por varios usuarios.
- Respaldo y recuperación.

Los programas que sirven como interfaz entre los diferentes usuarios y la base de datos, son conocidos como Sistemas Gestores de Bases de Datos, lo que permiten describir, recuperar y manipular los datos almacenados, de manera segura, confiable e integral (Pérez, 2007).

### **2.3.1 Elementos de la base de datos**

Para poder entender más sobre las bases de datos se observa en la Figura 6, como un elemento básico constitutivo, la división de las tablas, la misma que será descrita a continuación:

- Atributos: Columnas de la tabla.
- Tupla: Filas de la tabla.
- Campo: Unidad mínima de información.
- Registro: Conjunto de campos relacionados.
- Cabecera: Tipos de datos a ingresar.



**Figura 6.** Elementos de base de datos

### 2.3.2 Modelos de base de datos

Los modelos de base de datos, están determinados de acuerdo a la funcionalidad de cada SGBD (Sistema de Gestión de Base de Datos), para entender más sobre estos modelos se realizará de manera breve una descripción a continuación:

#### a) Modelo plano

En este modelo es similar a las hojas de cálculo, ya que poseen estructuras de listados simples, por este motivo este tipo de base de datos posee limitaciones y son adecuadas para tareas sumamente sencillas (Tecnologías, 2018).

En la Figura 7 se puede observar un ejemplo del modelo de base de datos plano.

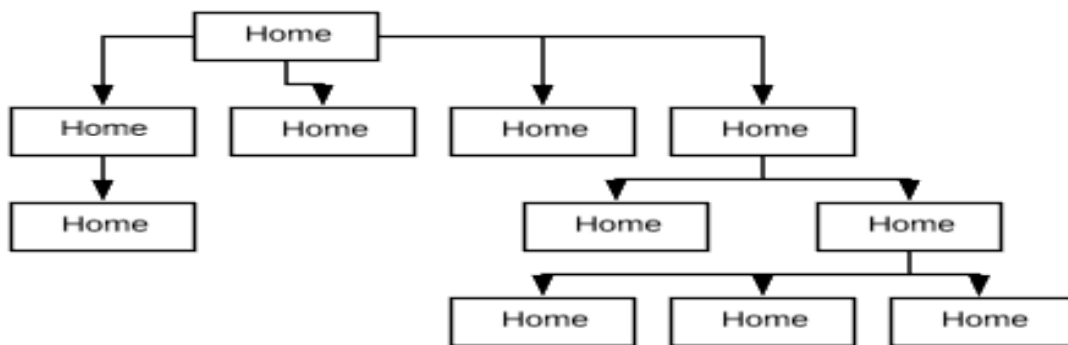
Código Postal
9063635
9345452
6345469
6654760
7754742

**Figura 7.** Modelo plano base de datos  
Fuente: (Tecnologías, 2018)

## b) Modelo jerárquico

Modelo donde los datos se almacenan por medio de nodos interconectados, este modelo posee una estructura similar a la de un árbol invertido ya que dos nodos dependen de un solo nodo. Posee algunas deficiencias por la escasa independencia de sus registros, producto de la mala gestión de la redundancia de datos (Tecnologías, 2018).

En la Figura 8 se muestra la estructura del modelo de base de datos jerárquico.

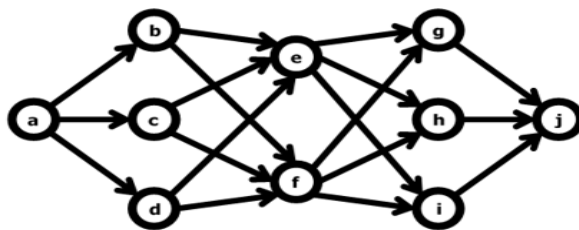


*Figura 8.* Modelo jerárquico base de datos  
Fuente: (Tecnologías, 2018)

## c) Modelo de red

Presenta una mejora al modelo jerárquico, ya que en este caso se puede acceder a un nodo por las varias vías distintas, las cuales se encuentran definidas por punteros, que permiten que los datos sigan una dirección de forma descendente por las diversas conexiones (Cutro, 2010).

En la Figura 9 se puede observar el modelo de base de red.

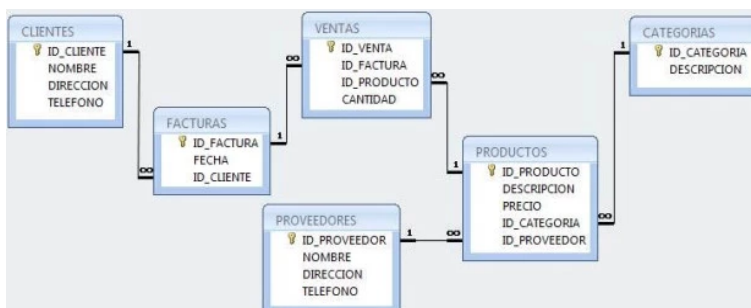


*Figura 9.* Modelo de red base de datos  
Fuente: (Tecnologías, 2018)

#### d) Modelo relacional

Modelo mayormente utilizado en la actualidad por los SGBD (Sistema de Gestión de Base de Datos), ya que su utilización y comprensión es verdaderamente sencilla. Su esquema está basado en forma de tablas, las mismas que poseen campos y un número dados del registro, y que gracias a este tipo de estructuración facilita el análisis y consulta de datos (Victor Olaya, 2017).

En la Figura 10, se aprecia un ejemplo del modelo relacional.



*Figura 10.* Modelo relacional base de datos  
Fuente: (Viñas, 2010)

### 2.3.3 Tipos de Base de Datos

Existen diferentes tipos de base de datos, las cuales van a ser descritas a continuación:

- a) MySQL: Es un programa de software libre, es de modelo relacional, una de las características principales, es que posee una gran variedad de aplicaciones basadas en la web y publicación en línea. En cuanto a su uso, es muy simple ya que la mayoría de su código es realizado en lenguaje C/C++ y la sintaxis de su uso es bastante simple. En principio este programa fue creado por la compañía sueca MySQL AB, la misma que el 2008 fue adquirida por Oracle (Rouse, 2015).
- b) PostgreSQL: Servidor de base de datos libre, es de modelo orientado a objetos, una de sus características principales es su alta concurrencia mediante un sistema denominado MVCC (Multiversion Concurrency Control), que hace que varios usuarios puedan acceder y modificar datos al mismo tiempo. Este software ha obtenido mejoras mucho más rápidas en comparación con otros gestores de datos (Gualotuña, 2013).
- c) Oracle: Software pagado de base de datos más completo, posee como características principales: soporte de transacciones, estabilidad, escalabilidad y es multiplataforma. En cuanto a la seguridad de datos, en los últimos años este software a presentado varios errores (Gualotuña, 2013).
- d) Access: Servidor de datos, creado por Microsoft, es modelo relacional, es un software poderoso para realizar proyectos de baja escala, puede crear tablas, consultas, formularios e informes y conectarlos con macros. Todavía no posee una implementación en



cuanto a registro de transacciones, procedimientos almacenados y desencadenadores de base de datos (Tecnologías, 2018).

e) Microsoft SQL Server: Maneja grandes volúmenes de información enfocado al ámbito empresarial, es un gestor de base de datos más potente que Access y fue creado por Microsoft, maneja control de transacciones, excepción y manejo de errores, procesamiento fila, así como variables declaradas (Rouse, 2015).

## **2.4 Sistemas Automatizados**

Un sistema automatizado es aquel que funciona de manera automática, estos sistemas están compuestos de sensores, los cuales captan los cambios que se dan dentro del proceso y con la ayuda de actuadores, se da lugar a las acciones necesarias para el buen funcionamiento del proceso. Estos sistemas facilitan el trabajo a los operarios, ya que aquellos supervisarán el buen funcionamiento de las máquinas y en otros casos, estos sistemas han remplazado al ser humano. La implementación de estos sistemas, dentro de los procesos industriales, tienen el objetivo de hacer que el proceso mejore en cuanto a su eficiencia y productividad, reduciendo costos y haciendo que el proceso sea más competitivo (Sanchis et al., 2010).

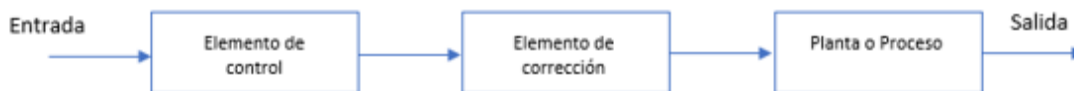
### **2.4.1 Tipos de estructura de sistemas automatizados**

Existen dos formas básicas de estructura para la conexión de los sistemas automatizados, los mismos que van a ser descritos en seguida:

- **Control de lazo abierto**

Este proceso permite que las variables o la información que son controladas, sean manejadas en una sola dirección, en este proceso la salida no influye en la entrada por medio de la referencia.

Los elementos que conforman la estructura de control de lazo abierto se pueden apreciar en la Figura 11. Como entrada se tiene la señal que corresponde una condición operativa fija, el elemento de control determina la acción que se va a tomar, el elemento de corrección responde a la entrada que proviene del elemento de control y produce la acción del cambio de variable controlada al valor seteado y la planta es el sistema en el cual se va a realizar el control de la variable (Salvetti, 2012).



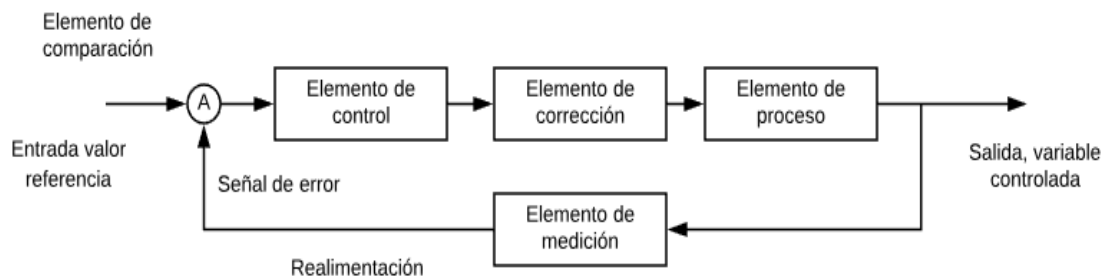
**Figura 11.** Control de lazo abierto  
Fuente: (Salvetti, 2012)

- **Control de lazo cerrado**

El control en lazo cerrado, es el más utilizado y se caracteriza principalmente porque posee una retroalimentación, donde los sensores captan los cambios efectuados en el proceso hacia el sistema de control, permitiendo que el proceso o la planta reconozca si los actuadores realizaron de manera correcta las acciones que debían cumplir.

En la Figura 12, se observa la estructura que posee el control de lazo cerrado que esta constituido por elementos de comparación, el mismo que compara el valor requerido de la

variable por controlar con el valor medido que se obtiene a la salida y el elemento de control decide que acción tomar cuando existe alguna señal de error. Elemento de corrección es el que elimina la señal de error, elemento de proceso es el sistema donde se controla la variable y elemento de medición proporciona la señal de realimentación, que sirve para determinar si hay o no error (Salvetti, 2012).



**Figura 12.** Control de lazo cerrado  
Fuente: (Salvetti, 2012)

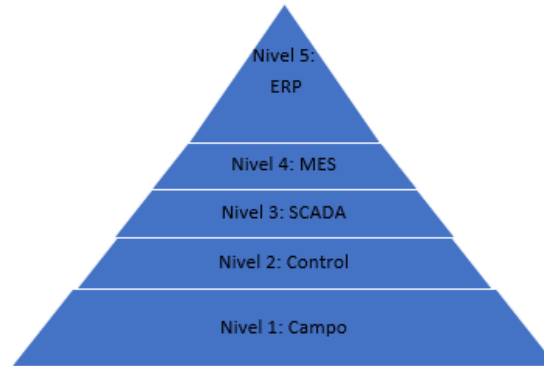
#### 2.4.2 Automatismos programados

Al usar automatismos programados dentro de un proceso industrial, los procesos adquieren ventajas muy importantes como: gran flexibilidad y permiten implementar funciones de control, de comunicaciones y gestión (García, 2012). Para realizar la implementación de estos automatismos es necesario de programas que funcionen en un microprocesador, donde las instrucciones determinen las acciones que deben realizar las entradas y salidas tomadas como variables, existen 3 tipos de automatismos programables que se pueden instalar dependiendo el uso que se los va a dar:

- **Autómata programable industrial:** Utilizado para el control de máquinas y procesos secuenciales, que manejan datos en tiempo real, especializados principalmente para ambientes industriales.
- **Ordenador:** Computadores de uso industrial, ya que poseen una estructura más robusta, la cual se enfoca al ámbito industrial.
- **Microcontrolador:** Son circuitos integrados, usados en conjunto con tarjetas electrónicas. Estos dispositivos cumplen la función dentro de la industria, para controlar funcionamiento de máquinas (Sanchis et al., 2010).

#### **2.4.2.1. Niveles de automatización**

La automatización dentro de un proceso industrial, posee varios niveles de automatización, los cuales son implementados dependiendo el alcance que se desea obtener con el sistema. Con estos niveles, el proceso de producción, busca obtener un mejor control de máquinas, optimizar recursos y mejorar la calidad del producto. En la Figura 13 se presenta la pirámide de automatización, donde se describen sus niveles (Ciampolini y Regli, 1998). Los mismos que para su mejor entendimiento serán enunciados brevemente a continuación:



**Figura 13.** Pirámide de automatización

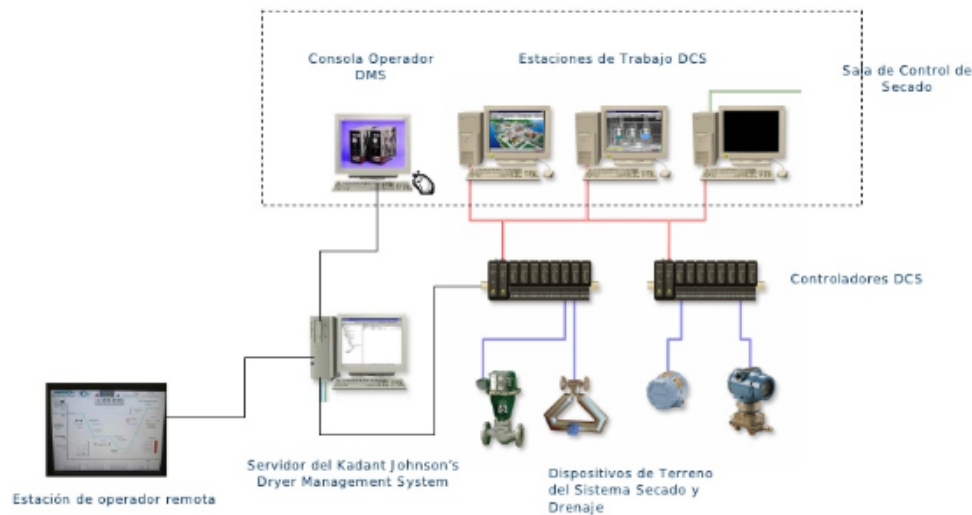
1. Nivel de Campo: Es el nivel de instrumentación donde se encuentran sensores y actuadores. En este nivel se adquieren las señales directamente de la máquina.
2. Nivel de Control: Es el nivel donde se procesan las señales adquiridas en el nivel inferior, por medio de un dispositivo de control como: PLC, HMI, Microcontroladores.
3. Nivel de Supervisión: Es el nivel que controla en tiempo real los diferentes procesos por medio de la interacción de los dispositivos ubicados en el nivel de control.
4. Nivel de Operación: Nivel en el cual se dirigen y monitorizan los procesos de producción en la planta.
5. Nivel de Información: Nivel en el cual la información adquirida sirve para toma de decisiones por parte de sistemas gerenciales, los mismos que manejan operaciones de producción de la planta.

### 2.4.3 Sistemas de control distribuido

Con la evolución de la tecnología dentro del ámbito industrial, se ha implementado los Sistemas de Control Distribuidos (DCS), los mismos manejan e integran sistemas que proporcionan funcionalidad de control a los procesos industriales. En la actualidad los DCS, son tendencia ya que brindan soluciones de control adaptados a flujos de trabajo, centralizándose principalmente en las necesidades de los operarios de la planta, ingenieros del proceso y departamentos administrativos, ya que proporcionan las siguientes ventajas:

- Escalabilidad y arquitecturas modernas.
- Flexibilidad en el suministro de recambio y apoyo del sistema.
- Monitorización del proceso.
- Visualización de alarmas.
- Seguridad de la información.
- Operación y control de dispositivos presentes en el proceso (Barraguer, 2016).

La arquitectura que posee estos sistemas de control distribuido que se presenta en la Figura 14 y esta compuesta de 3 niveles relacionados a la pirámide de la automatización, como se describe a continuación:



**Figura 14.** Arquitectura DCS  
Fuente: (Mehta y Reddy, 2015)

### 2.4.3.1. Componentes del DCS

Los componentes de los que constan los sistemas DCS, son los que se describen de manera general a continuación:

- Subsistema de entrada / salida: Son las señales adquiridas desde los dispositivos localizados en el nivel 1 de la pirámide de automatización.
- Subsistema de controlador: Compuesto por los controladores que gobiernan el sistema.
- Redes de comunicación: Existen variedad de estándares abiertos, que sirven para comunicarse con fuentes de datos externos.
- Subsistemas de operación y control: Es la unidad que integra todos los componentes del sistema, comúnmente es una computadora.

# Capítulo 3

## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL REGISTRO AUTOMÁTICO DE PRODUCCIÓN Y FALLOS

En este capítulo se presenta el diseño y la implementación del registro automático de los diferentes paros producidos en el área de tejeduría, el mismo que fue realizado a través del análisis e información recopilada de acuerdo a las actividades actuales que se presentan durante el proceso a intervenir. De igual forma se describe a detalle los dispositivos utilizados para la adquisición y envío de la información hacia la base de datos, la comunicación y los elementos electrónicos que se utilizaron para la obtención de señales directamente de las máquinas circulares. En la Figura 15 se visualiza la estructura del registro automático representado por medio de un diagrama de bloques, donde se puede observar de manera general su funcionamiento.

La etapa de adquisición de datos se lo realizó con la ayuda de la tarjeta Arduino Mega, el mismo que recibe las señales propias de la máquina, tales como: paros automáticos, encendido



y apagado de la máquina. Posteriormente la etapa del envío de datos se la realizó con el uso del módulo *Ethernet Shield* para Arduino, el mismo que permite transmitir los datos por medio de comunicación *Ethernet*, los datos obtenidos son enviados hacia la base de datos que se encuentra instalada dentro del servidor que posee la empresa, una vez con los datos en la base, el personal de control de producción podrá acceder a los mismos desde cualquier ordenador que se encuentre conectado a la red la empresa y descargarlos para su posterior análisis y control del proceso de producción.



**Figura 15.** Registro automático de producción y fallos para máquinas circulares

### 3.1 Análisis de la situación actual del proceso de tejeduría

El área de tejeduría que posee la empresa Textil Padilla Cia. Ltda., donde se realizará la implementación del registro automático de fallos y producción, son máquinas especializadas

en la producción de tela de algodón, este proceso cuenta con 4 máquinas, las mismas que poseen sensores y actuadores cuyas señales son receptadas mediante una tarjeta electrónica, que como controlador utiliza un PIC.

La interacción hombre-máquina, se la realiza por medio de un panel de control, el mismo que a parte de tener los botones de funcionamiento de la máquina como: encendido, paro y lento, permite el ingreso de parámetros importantes para la obtención del producto, como son: velocidad y número de vueltas en que va a salir la pieza terminada, adicional desde el panel se acciona el funcionamiento del inversor, ventiladores y lámparas. Además se visualiza los principales paros producidos automáticamente por la máquina, al percibir problemas en: membranas superiores, membranas inferiores, agujas, caída de tela, falta de aire comprimido, lubricación, seguridad de puertas, inversor y también existe un paro cuando la pieza de tela ha finalizado.

A continuación, las máquinas presentan las siguientes características técnicas.

- Marca: Jiunn Long
- Modelo: JLS (4track)
- Máquinas Mono Frontura
- Diámetro: 30", 32", 34"
- Galga: 24
- Voltaje: 220 VAC
- Alimentadores de: 96 a 136

En la Figura 16, se muestran las máquinas circulares del área de tejeduría, encargadas de la producción de tela de tipo algodón.



*Figura 16.* Planta de tejeduría, área Polialgodón

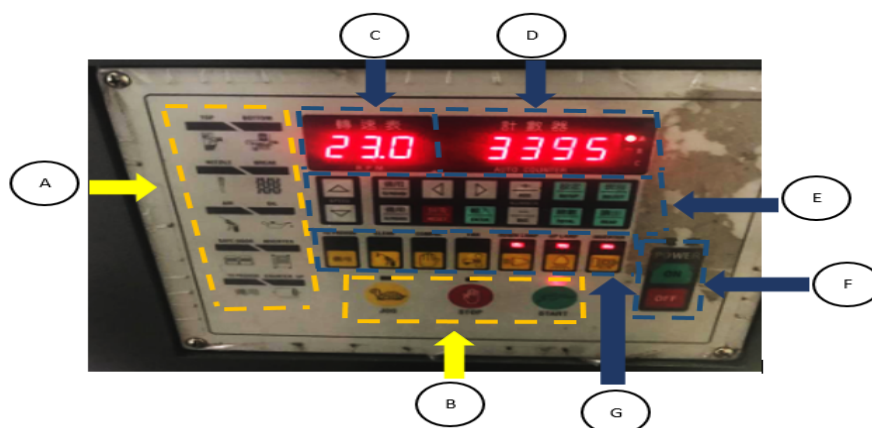
### 3.1.1 Panel de control electrónico

Los paneles de control existentes en cada máquina, poseen un sistema de mando manual, conformado por pulsadores e indicadores luminosos, todos ubicados en el panel, de donde se controla toda la máquina. A parte posee pulsadores ubicados a cada lado de la máquina que de igual forma cumplen con la función principal de arrancar, parar y girar lentamente a la máquina.

A continuación, en la Figura 17, se puede observar el panel de control de la máquina,

donde se muestra la funcionalidad de sus partes:

- A: Display de control de fallos, los cuales al encenderse producen el paro de la máquina, haciendo que el operario, detecte el daño, lo solvente y evite defectos en el producto o problemas graves en la misma máquina.
- B: Botones de operación de la máquina, son los que permiten arrancar en velocidad normal programada, girar lentamente o parar la máquina.
- C: Display que muestra la velocidad en la que la máquina se encuentra funcionando.
- D: Display que muestra el número de vueltas que debe cumplir la máquina para dar por finalizada la pieza.
- E: Botones que permiten insertar la velocidad y número de vueltas deseada, de acuerdo al tipo de tela que se va a producir.
- F: Botones de alimentación, permite encender y apagar la máquina.
- G: Botones que encienden y apagan a los actuadores como: motor, lámparas, ventiladores que son los elementos principales para el correcto funcionamiento de la máquina.



*Figura 17.* Panel de control

Los ítems A y B, que se encuentran enmarcados por un recuadro de color amarillo, son los datos que emite la máquina y serán utilizados para el desarrollo del registro automático a ser implementado en ese proceso.

### 3.1.2 Sensores

A continuación, se realiza la descripción del funcionamiento de cada sensor, los cuales emiten los principales fallos producidos en las máquinas circulares:

- **Sensor de detección de hilo (superior e inferior) - Memminger:** Son dispositivos que se encuentran compuestos por un switch normalmente abierto, que cuando detecta que el hilo se afloja, o no hay presencia de materia prima, hace que el switch se cierre, la máquina se para y se enciende una luz piloto que alerta al operario sobre la falla que se produjo.

- **Sensor de agujas:** Son dispositivos de tipo switch normalmente abierto, que detectan la acumulación de tejidos como: motas y defectos en las agujas, haciendo que cierre el switch, la máquina se para y se enciende la luz piloto para alertar al operario del fallo producido.
- **Sensor caída de tejido:** Dispositivo de tipo switch abierto, que al momento de producirse la caída del tejido, por problemas en el envolvimiento de tejido o ejes de sujeción del rollo, hace que el switch se cierre y la máquina se pare, y de igual forma alerta al operario sobre la falla producida.
- **Sensor de nivel de aceite:** Dispositivo tipo flotador, que cumple la función de un switch normalmente abierto, cuando el nivel de aceite está bajo, este switch se cierra, emitiendo la alerta de fallo y aviso al operario sobre la falla producida.
- **Sensor puerta abierta:** Dispositivo de tipo switch normalmente abierto, que cuando detecta que la puerta donde se encuentra el sistema de enrollamiento de la pieza se abre, produce un paro en la máquina y alerta al operario la falla producida.
- **Sensor final de pieza:** Dispositivo de tipo inductivo, que cumple con la función de detectar cada vuelta que realiza el enrollador, este sensor emite esa señal al contador, que al momento de cumplir con el número de vueltas programadas, la máquina se pare, alerte al operario y emita una alerta que la máquina a culminado la pieza.

En la Tabla 1, se pueden observar las principales características técnicas, en cuanto a las señales que emiten los sensores al cerrar los switch.

**Tabla 1***Características técnicas sensores*

<b>Sensor</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Sensor detección de hilo	Voltaje	12 VAC
	Corriente	80mA
Sensor de agujas	Voltaje	12 VAC
	Corriente	80mA
Sensor caída de tejido	Voltaje	12 VAC
	Corriente	80mA
Sensor nivel de aceite	Voltaje	12 VAC
	Corriente	80mA
Sensor puerta abierta	Voltaje	12 VAC
	Corriente	80mA
Sensor final de pieza	Voltaje	12 VAC
	Corriente	80mA

### 3.1.3 Actuadores

La máquina posee como actuador, un motor de corriente alterna trifásico, el cual es la fuente principal de energía y en la Tabla 2, se detalla las características técnicas de la placa que posee el motor.

**Tabla 2***Parámetros placa motor de máquina circular*

<b>Parámetros</b>	<b>Valor</b>	<b>Valor</b>
Frecuencia	50Hz	60Hz
Rpm	1450/2900	1745/3840
Potencia (kW)	3,7/4,7	3,7/4,7
Voltaje (V)	$\Delta$   Y   220	$\Delta$   Y   220
Corriente (A)	14/17	13,5/15,5
Cos $\phi$	0,83/0,89	0,86/0,94

### 3.2 Descripción del proceso de tejeduría

Para realizar el diseño conceptual del registro automático de fallos y producción de la planta de tejeduría de la Empresa Textil Padilla Cia. Ltda. se analizó las actividades u operaciones que se realizan en el proceso, el mismo que será descrito en la Figura 18, mediante un diagrama de flujo.

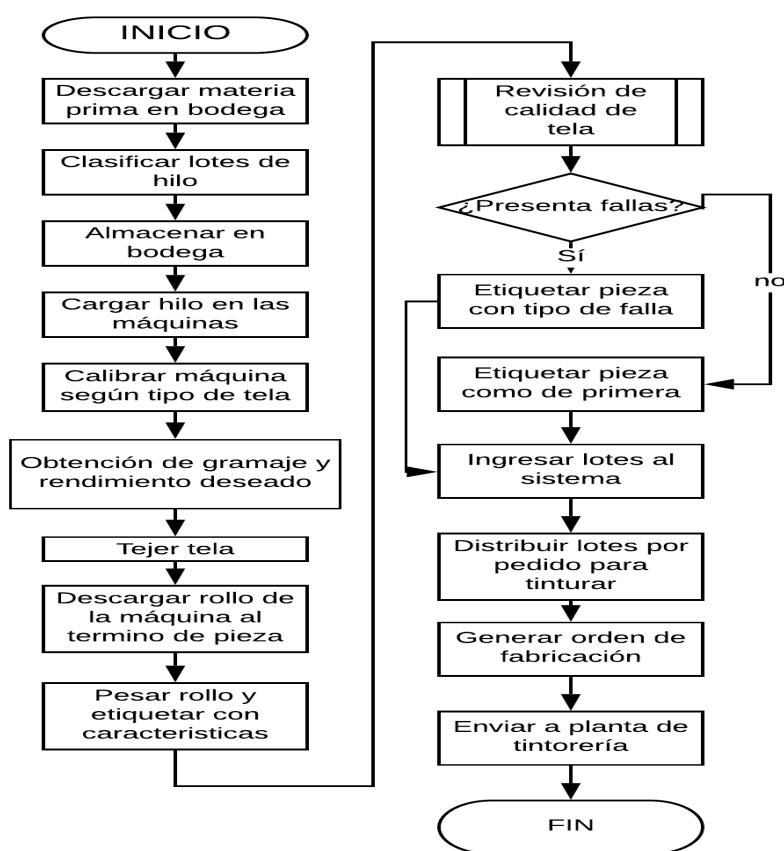
Este proceso comienza con la descarga de la materia prima en las bodegas, en este caso el hilo (Poliéster o Algodón), que es importado desde China. Al ser dos tipos de hilo se realiza la ubicación y clasificación por lote, para su posterior almacenamiento hasta ser utilizado, que depende principalmente de los pedidos generados por los clientes.

Para dar inicio al proceso productivo se carga el hilo en las máquinas, posteriormente se calibra la máquina, se realiza varias pruebas hasta obtener el gramaje y rendimiento establecido de acuerdo al tipo de tela a producir y se empieza a tejer la pieza, una vez terminado el rollo se procede a su descarga de la máquina, se pesa y se etiqueta con las características de producción. Posterior, en el proceso de calidad, la pieza entra a una revisión de fallas, esto permite clasificar si es una pieza de primera o de segunda calidad por medio de la ayuda de otra máquina que cumple con la función de desenrollar el rollo y enrollar nuevamente para visualizar si existe alguna falla, ya habiendo terminado el proceso productivo y de calidad se procede a ingresar las piezas terminadas por lotes al sistema que maneja la empresa. El departamento de producción de acuerdo a los pedidos de los clientes realiza la distribución para tinturar los rollos de tela, genera ordenes de fabricación dependiendo las características del lote y una vez terminadas todas estas actividades se enviá



por lotes los rollos hacia la planta de tinturación.

Es importante aclarar que las actividades que los operarios deben cumplir en el área de algodón, detalladas en la Figura 18, son a partir de cargar el hilo en las diferentes máquinas que esa área posee hasta ingresar los lotes al sistema. Pero para la implementación e identificación de los tiempos de para que se dan en las máquinas, es importante abarcar todo el proceso de tejeduría ya que el personal en algunos casos es movido a cumplir con una de las otras actividades descritas en el diagrama de flujo, que es un dato importante para la implementación del registro automático de paros y producción.



*Figura 18.* Diagrama de flujo del proceso del tejido

### **3.3 Requisitos para la implementación del sistema**

Una vez identificadas las actividades que se cumplen en el proceso de tejeduría y principalmente en el área de producción de tela de algodón, es necesario el desarrollo de un dispositivo que funcione como un registro de paros y producción, el mismo que obtendrá las señales directamente de la máquina y de igual forma ingresará datos de paros por actividades realizadas externas al proceso que se debe cumplir en esa área.

Por este motivo, para la buena operatividad que debe cumplir el sistema, se debe trabajar a la par con las dos partes importantes de la propuesta de solución que en este caso es el hardware y el software para obtener como resultado una buena operación del sistema.

#### **3.3.1 Requisitos de Hardware**

Es importante recalcar que el dispositivo electrónico implementado va a ser acoplado al hardware existente en las máquinas, esto conlleva a no generar mayores problemas o cambios en la funcionalidad de la misma, por lo que:

- Es necesario contar con un dispositivo para ingreso de fallos externos a la máquina.
- Contar con una tarjeta de adquisición de datos, para obtener datos directamente de la máquina y los datos externos.
- Disponer de un servidor de datos.
- Disponer de un convertidor de voltajes alternos a voltajes continuos.

- Conectividad a la red de producción.
- Disponer de computadoras para revisión de reportes.

### 3.3.2 Requisitos de Software

- Recepción de registro de datos de fallos y producción en tiempo real.
- Compatibilidad entre dispositivos.
- Facilidad de operación del sistema.

### 3.3.3 Requisitos de Red

- Integridad de la estación de supervisión del registro de datos mediante una red *Ethernet*.

### 3.3.4 Selección de las herramientas para el desarrollo del sistema

Para la implementación del registro de producción y fallos, planteado como trabajo de investigación, se uso principalmente las herramientas existentes en la Empresa Textil Padilla Ca. Ltda., como el servidor que posee la misma, en el cuál se encuentran almacenadas todas las bases de datos que manejan la información referente a los sistemas de producción y administrativos. El software libre es una de las alternativas a usarse para el desarrollo de sistema, ya que el costo de las licencias representan gastos altos a empresas de producción.

Por este motivo se ha tomado la decisión de ocupar como herramientas las siguientes:

- MySQL: se utilizará como la base de datos, ya que la licencia es de software libre y la implementación de la misma, no afectará al funcionamiento de los demás sistemas que

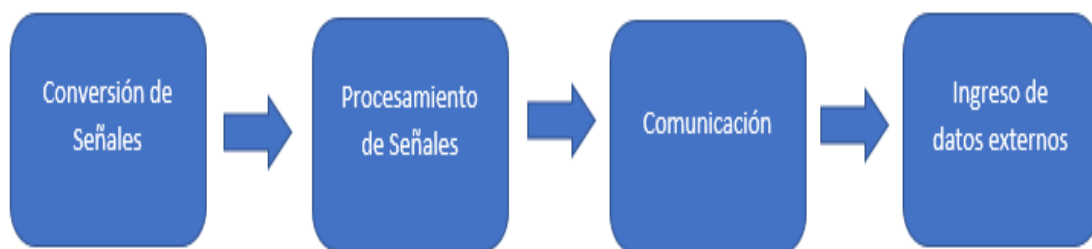
se encuentran instalados en el servidor como son los administrativos y los de producción.

- IDE de Arduino: para el entorno de programación se lo realizó en el software libre Arduino, cuyo lenguaje de programación está basado en C++, presenta un entorno amigable y de fácil comprensión para la creación del proyecto del sistema a desarrollar.
- NEXTION: para dar solución al desarrollo del HMI, se utilizó Nextion Editor que es un software gratuito, el mismo que permite desarrollar rápidamente la interfaz mediante la utilización de componentes como: texto, botones, gráficos, y para la interacción de los mismos, se utilizó instrucciones basadas en texto ASCII(NEXTION, 2011).

### 3.4 Desarrollo e implementación del dispositivo electrónico (Hardware)

#### 3.4.1 Descripción del dispositivo de adquisición de datos

Para la adquisición de los datos, es necesario el diseño y la implementación de un dispositivo que disponga de las siguientes etapas como se muestra en la Figura 19.



*Figura 19.* Diagrama de bloques de los dispositivos de adquisición

### 3.4.1.1 Etapa de conversión de señales

Para el desarrollo del registro automático de fallos y producción, como se explicó anteriormente, se realizó un acoplamiento al hardware que posee la máquina, por este motivo la etapa de conversión tiene el objetivo de transformar las señales adquiridas por los sensores que posee la máquina, y con ello asegurar la puesta en marcha y operación, evitando problemas futuros en el proceso, para el diseño de esta etapa se utiliza los siguientes elementos electrónicos: opto acopladores, diodos rectificadores, diodos zener y diodos Schottky.

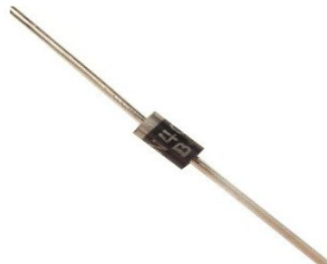
#### a) Diodo rectificador

El uso de estos dispositivos electrónicos, es para cumplir con el objetivo de rectificar las señales alternas generadas por los sensores y transformarlas en señales continuas, esta transformación principalmente proporciona seguridad y protección a los diferentes dispositivos que serán acoplados en cada etapa que implica la construcción e implementación del proyecto.

El diodo que se eligió es el 1N4007, el cual presenta las siguientes características técnicas, detalladas en la tabla 3.

**Tabla 3**

*Características Diodo rectificador 1N4007*

Diodo rectificador	Características	
	Voltaje inverso máximo recurrente $V_{RRM}$	1000 V
	Corriente máxima polarización directa $I_F$	1 A
	Voltaje máximo polarización directa $V_F$	1.1 V
	Voltaje $V_{RMS}$ máximo	700V
	Corriente directa transitoria máxima $I_{FSM}$	30 A
	Temperatura de operación máxima	150 °C

Fuente: (Rectron, 2002)

Este tipo de diodo es el más común para aplicaciones de este tipo, son utilizados principalmente en las etapas de rectificación de fuentes de alimentación, se los escogió tomando en consideración las características técnicas que posee las señales que manejan cada sensor de la máquina, a estos diodos se los utilizó como puente rectificador de onda completa también conocido como puente de Graetz que como principal ventaja permite la rectificación de una señal AC que no tenga una toma central, reduciendo de esta forma su costo y tamaño.


En la Tabla 1, se puede observar las corrientes y voltajes máximos que ingresan en los diodos, estos datos que se encuentra bajo el rango máximo que soporta el dispositivo, haciendo que los diodos no se sobrecaliente y operen de manera incorrecta.

### **c) Opto acoplador**

Son dispositivos que funcionan como un interruptor el mismo que se basa en activar y desactivar el circuito a través del voltaje.

Se utilizó opto acopladores de tipo foto-transistor en la etapa de conversión de señales, ya que se necesitaba que la señal que ingrese a la tarjeta de adquisición de datos, sea una señal limpia de 5v, para de este modo independizar el funcionamiento de cada circuito y no ocasionar problemas futuros. El opto acoplador elegido para el desarrollo del proyecto es el PC817B, en la tabla 4, se presenta las características técnicas del dispositivo antes mencionado.

**Tabla 4**  
*Características Opto acoplador PC817B*

Opto acoplador	Características
	Corriente máxima polarización directa $I_F$ 50 mA
	Voltaje máximo polarización directa $V_F$ 1.4V
	Voltaje colector-emisor $V_{CEO}$ 35V
	Voltaje emisor-colector $V_{ECO}$ 6V
	Corriente colector $I_C$ 50mA
	Número de canales 1
	Número de pines 4
	Encapsulado DIP
	Temperatura de funcionamiento -55°C a +100°C

Fuente: (Sharp, 2003)

Se utilizó este tipo de opto acoplador, porque principalmente pese a su tamaño este dispositivo se adapta a las condiciones técnicas que la máquina maneja ya que fueron diseñados para el control de periféricos en sistemas basados con microcontroladores, evitando e esta forma problemas de acoplamiento con el sistema de control que posee la máquina.

### c) Diodo Zener


El uso de este dispositivo en este proyecto, principalmente cumple con la función de protección de las entradas digitales y analógicas que posee la tarjeta de adquisición y procesamiento de datos Arduino, ya que las mismas soportan entre 5v y 3.3v, dependiendo del tipo de tarjeta que se va a utilizar.

Por este motivo se utilizó el diodo zener 1N4733A, ya que la tarjeta que se utilizará, maneja entradas que trabajan hasta 5v, escogiendo este diodo que cumplirá con limitar el voltaje al valor específico de 5,1v protegiendoles contra sobrevoltajes, a continuación, en la

Tabla 5, se describirá las características técnicas del diodo.

**Tabla 5**

*Características Diodo Zener 1N4733A*

Diodo Zener	Características	
	Tensión nominal zener	5.1 V
	Máximo tensión zener admisible	5.355 V
	Mínima tensión zener	4.845 V
	Corriente zener máxima admisible	49 mA
	Temperatura de operación	-65°C a +200°C

Fuente: (Sharp, 2009)

Para proteger de una sobrecorriente que ingrese al diodo zener y con esto asegurar el buen funcionamiento del mismo, se debe colocar una resistencia en serie con el zener, la cual servirá de drenaje para limitar el flujo de corriente máximo que soportará el diodo.


#### d) Diodo Schottky

Diodo compuesto por metal-semiconductor de tipo N ligeramente dopado, que por su composición posee una mayor velocidad de conmutación entre los estados de conducción directa e inversa, y una mayor eficiencia en el sistema.

Por este motivo y por las condiciones que se presentaron con las señales adquiridas de los sensores que posee la máquina, se utilizó el diodo Schottky 1N5819, para asegurar la eliminación del voltaje remanente que se pueda quedar en la placa electrónica, ya que este produce problemas de funcionalidad que afectaban directamente con el panel de control de la máquina, a continuación, en la Tabla 6, se describirá las características técnicas del diodo utilizado.



**Tabla 6**  
*Características Diodo Schottky 1N5819*

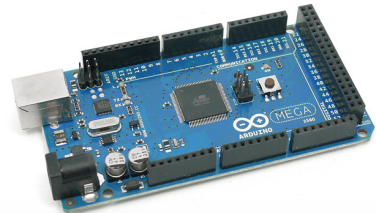
Diodo Schottky	Características	
	Voltaje inverso máximo recurrente $V_{RRM}$	40 V
	Voltaje máximo $V_{RMS}$	28 V
	Voltaje máximo bloqueo $V_{DC}$	40 V
	Corriente máxima polarización directa $I_F$	1 A
	Corriente directa transitoria máxima $I_{FSM}$	25 A
	Temperatura de operación	-65°C a +150°C

Fuente: (Vishay, 2002)

### 3.4.1.2 Etapa de procesamiento de señales

En esta etapa, se procesan las señales adquiridas directamente de la máquina (paros automáticos), con la ayuda de la tarjeta de adquisición Arduino MEGA, el mismo que posee un microcontrolador (ATmega 2560 de 256 KB), se escogió esta tarjeta por la cantidad de memoria que posee, destinada principalmente a una programación elevada ya que, además de procesar los datos, se realizó la programación de la funcionalidad que se desea ejecute la interfaz diseñada en el software NEXTION, y por las ventajas que brinda en cuanto a rapidez y la cantidad de pines digitales y analógicos que posee, en la Tabla 7, se muestra las características técnicas que posee la tarjeta.

**Tabla 7**  
*Características Arduino MEGA 2560*

Arduino MEGA 2560	Características	
	Microcontrolador	ATmega 2560
	Voltaje operativo	5 V
	Tensión de entrada	7 - 12 V
	Pines digitales de Entrada/Salida	54 (14 con salida PWM)
	Pines analógicos de entrada	16
	Memoria flash	256 KB
	Memoria EEPROM	4 KB
	Velocidad de reloj	16 MHz

Fuente: (Arduino, 2019)

### 3.4.1.3 Etapa de comunicación

En esta etapa se realiza la comunicación entre la tarjeta de procesamiento Arduino MEGA y el módulo de comunicación *Ethernet Shield*, por medio de la comunicación SPI, como se muestra en la Figura 20, este tipo de comunicación ha sido reconocida a nivel industrial porque el envío de datos se los realiza con altas velocidades y a distancias cortas (Crespo, 2016).

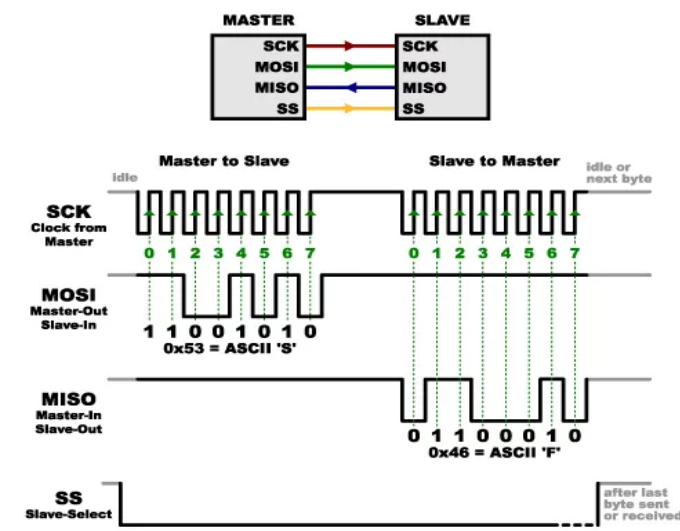


**Figura 20.** Esquema de conexión SPI entre Arduino MEGA y módulo *Ethernet Shield*

- **Comunicación SPI**

SPI es un protocolo de comunicación síncrona, esto quiere decir que utiliza diferentes líneas para los datos y el clock, mejorando de este modo el problema de pérdida de sincronía, el bus SPI está compuesto por 4 hilos, los mismos que incluyen una línea de reloj (SCLK), dato entrante (MISO), dato saliente (MOSI) y un pin de chip select (SS), que conecta o desconecta la operación del dispositivo con el que uno desea comunicarse.


En la Figura 21, se observa la comunicación y el envío de datos desde SPI Master a SPI Esclavo, donde para comenzar con el proceso, el SS habilita el chip al que hay que enviar la información, en el MOSI se carga el byte a ser enviado, pero para ello el SCLK genera una señal cuadrada donde por cada flanco descendente se coloca un bit en MOSI y el receptor por cada flanco ascendente captura un bit de la línea MISO y lo coloca en el buffer.



*Figura 21.* Esquema de envío de datos desde SPI Master a SPI Esclavo  
Fuente:(Crespo, 2016)

Para la comunicación se optó por utilizar el módulo *Ethernet Shield* que al igual que Arduino MEGA, funciona con el protocolo SPI, el mismo que posee un conector *Ethernet* RJ45 que permitirá la conexión entre el módulo y el router, y de esta manera poder monitorizar mediante el registro automático los diferentes tipos de paros que poseen las máquinas circulares del área de tejeduría. El módulo *Ethernet Shield* posee las siguientes características, las cuales se pueden observar en la Tabla 8.

**Tabla 8**  
*Características Módulo Ethernet Shield*

Ethernet Shield W5100	Características	
	Voltaje de Operación	5 VDC
	Velocidad <i>Ethernet</i>	10/100 Mbps
	Protecciones contra sobrecarga y corto circuito	
	Rango de temperatura de operación	-40°C a +85°C
	Controlador <i>Ethernet</i>	Wiznet W5100
	Buffer interno	16KB

Fuente: (Naylamp, nd)

#### 3.4.1.4 Etapa de ingreso de datos externos

Para ingresar los paros externos que no son producidos directamente por las máquinas, se utilizó la pantalla TFT Nextion compatible con la tarjeta Arduino MEGA, su comunicación es serial (UART), como se muestra en la Figura 22, este tipo de comunicación todavía se utiliza en sistema de automatización industrial, también los dispositivos inalámbricos utilizan esta comunicación para conectarse con Arduino (Bluetooth <sup>™</sup> y Xbee <sup>™</sup>).




**Figura 22.** Esquema de conexión serial (UART) entre Arduino MEGA y pantalla TFT NEXTION

La pantalla touch que se escogió es la Nextion NX3224T028 de 2.8", en la cuál mediante el software Nextion se realizó la interfaz que permitirá ingresar los paros externos, los mismos que se encuentran categorizados de acuerdo a las principales actividades que intervienen en el proceso. También se ingresarán los datos como el tipo de tela, velocidad de la máquina y el número total de vueltas, ya que estos últimos datos varían de acuerdo a la características de los diferentes tipos de tela que se necesita obtener y dependen de ellos, principalmente, el tiempo de total que se tarda cada máquina en producir una pieza de tela.

A continuación, en la Tabla 9, se pueden visualizar las características técnicas que posee la pantalla Nextion escogida.

**Tabla 9**

*Características Pantalla Nextion TFT 2.8"*

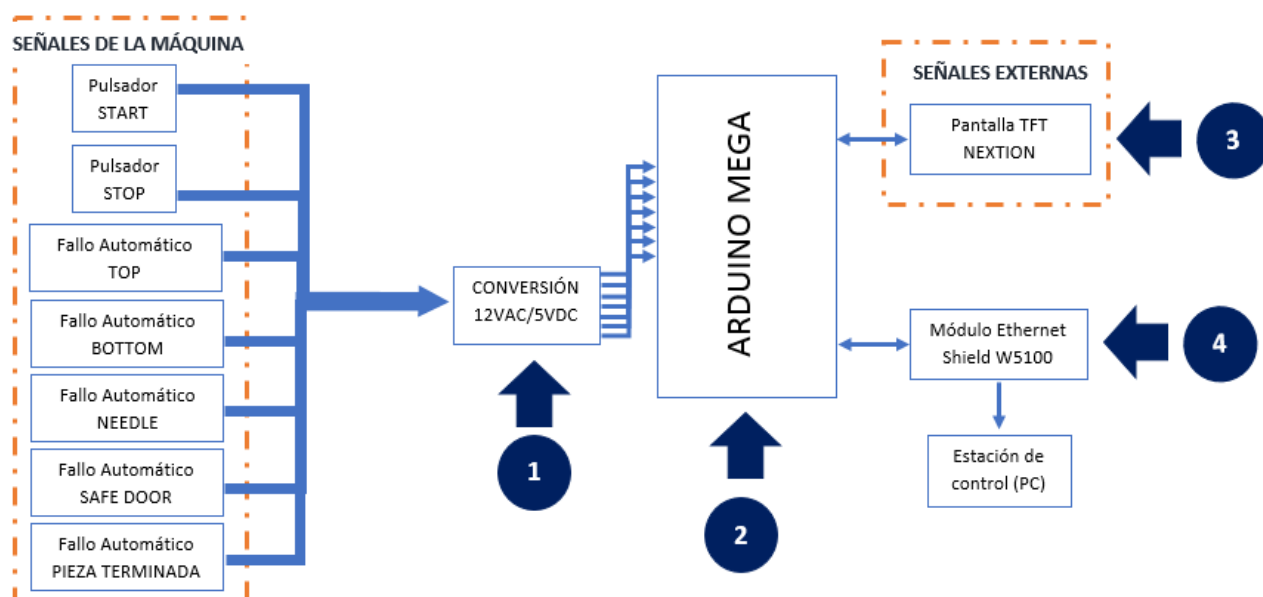
Pantalla Nextion NX3224T028	Características	
	Voltaje de Operación	5 VDC
	Consumo de corriente	65 mA
	Resolución	320 x 240
	Memoria Flash	4 MB
	Compatible	Raspberry - Arduino
	Interfaz amigable con 4 pines con puerto serial TTL	

Fuente: (HETPRO, 2009)

### 3.4.2 Diseño de hardware del dispositivo de adquisición de datos

En esta sección se describe todo el proceso para la implementación del dispositivo que será instalado en las máquinas, con el que se obtendrán las señales externas e internas para su posterior procesamiento. En la Figura 23, se muestra el diagrama de bloques del diseño correspondiente al dispositivo de adquisición, el mismo que como en los puntos anteriores se lo desglosó por etapas para su posterior explicación.

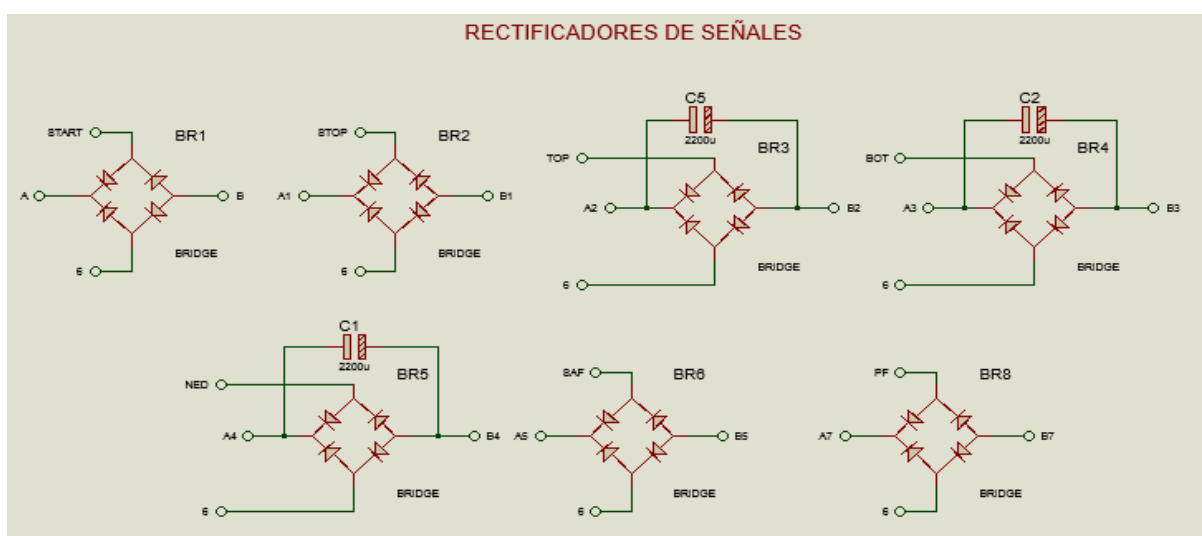
1. Etapa de conversión de señales.
2. Etapa de procesamiento de señales.
3. Etapa de ingreso de datos externos.
4. Etapa de comunicación.



*Figura 23.* Diagrama de bloques del dispositivo de adquisición de datos

### 3.4.2.1 Diseño de la etapa de conversión de señales

Para el desarrollo de este punto son necesarios de los datos obtenidos en la Tabla 1, en donde las señales de salida de cada fallo, además de las señales de *Start* y *Stop* manejan voltajes de 12 VAC, que mediante los circuitos de conversión se las cambiarían a 5 VDC, en la Figura 24, se visualiza la parte de la rectificación (onda completa) de cada señal.



**Figura 24.** Circuito de rectificación de las señales de fallos, *Start* y *Stop*

Para su mejor comprensión, en la Tabla 10, se describe cada señal y en la Figura 25, se muestra la forma de onda obtenida con la ayuda del simulador Proteus, es importante indicar que las señales de *Start* y *Stop*, son tipo pulso que al activarse se obtiene un voltaje de 12 VAC, y las señales identificadas como SAF y PF, son señales que al momento que el sensor se activa, envían un pulso de igual forma de 12 VAC, por este motivo las cuatro señales antes

mencionadas como se puede observar en la Figura 24, se encuentran expuestas solo al filtro rectificador sabiendo que la señal obtenida elimina la parte del semiciclo negativo y no es una señal continua, pero porque al momento de activarse solo genera un pulso no trae problemas en el funcionamiento del dispositivo.

En cambio las señales TOP, BOT y NED, son señales que al momento que el sensor se activa, envía voltajes intermitentes de 12 VAC, por este motivo se conecta un capacitor con una capacitancia relativamente alta, para así mantener el voltaje del sistema constante, obteniendo un voltaje de 12 VDC. Para obtener el valor del capacitor electrolítico se realiza el siguiente cálculo:

$$C \geq \frac{1}{4\sqrt{3}R_L\gamma f} \quad (3.1)$$

Donde, C: es el valor del capacitor del filtro,  $R_L$ : es la resistencia de carga,  $\gamma$ : valor del factor de rizado, f: frecuencia, teniendo como valor del capacitor el siguiente:

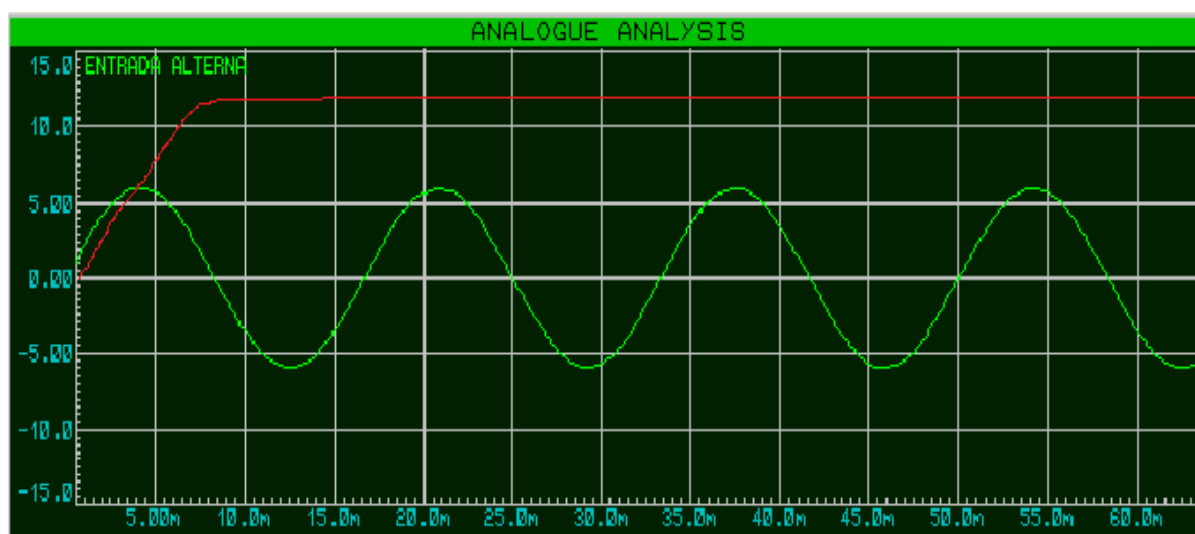
$$C \geq \frac{1}{(4\sqrt{3})(22)(0.2)(60)} \cong 1829,045\mu F \approx 2200\mu F \quad (3.2)$$

Se aproxima el valor a 2200 $\mu$ F, ya que el valor obtenido de 1829,045 $\mu$ F no es un valor comercial de los capacitores electrolíticos.



**Tabla 10***Señales correspondientes a la Figura 24*

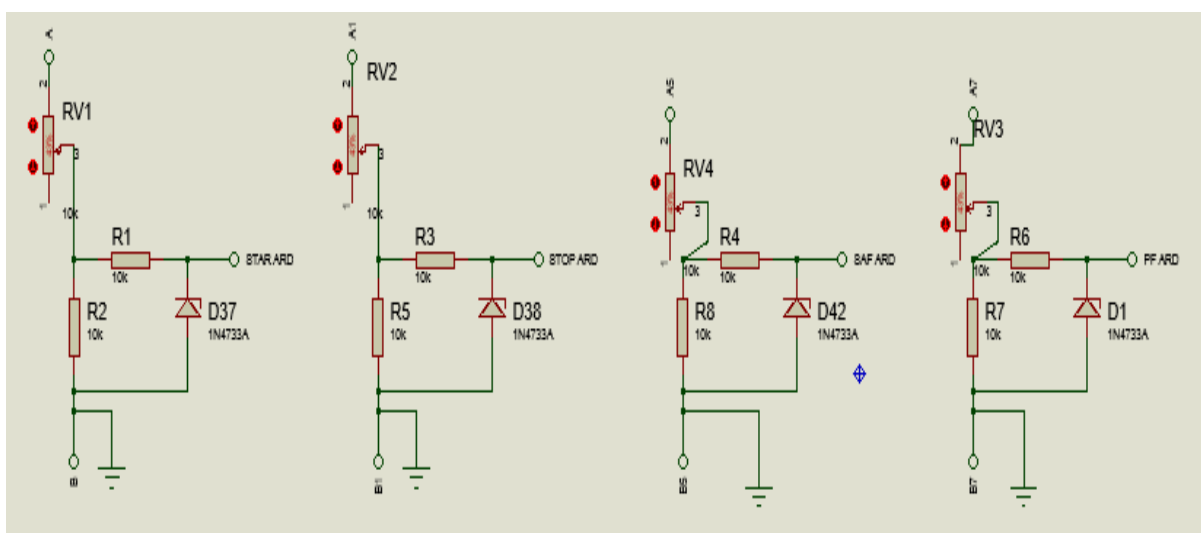
Señal	Descripción
<i>Start</i>	12 Voltios corriente alterna
<i>Stop</i>	12 Voltios corriente alterna
TOP	12 Voltios corriente alterna
BOT	12 Voltios corriente alterna
NED	12 Voltios corriente alterna
SAF	12 Voltios corriente alterna
PF	12 Voltios corriente alterna
6	0 Voltios corriente alterna
A,A1,A2,A3,A4,A5,A7	12 Voltios corriente directa
B,B1,B2,B3,B4,B5,B7	GND

*Figura 25.* Señal alterna y continua

Para que las señales puedan ser procesadas con la ayuda de la tarjeta de adquisición es necesario que las señales obtenidas de la máquina posean un valor del voltaje de 5 VDC,

por este motivo se realiza una nueva conversión, la misma que se muestra en la Figura 26, y de igual manera para las señales de *Start*, *Stop*, SAF y PF, por ser constantes se utilizó divisores de tensión, los mismos que al entrar voltaje de 12 VDC entrega a la salida 5 VDC, de igual manera la corriente de salida disminuye, recalcando que esta corriente no afecta al funcionamiento de las señales que van directamente a la tarjeta Arduino MEGA, no se utilizó reguladores de tensión ya que como se está realizando un acople al hardware que ya posee la máquina, los reguladores causaban problemas en el funcionamiento de la tarjeta electrónica que posee la máquina.

Los diodos D37, D38, D42 y D1, cumplen con la función de protección de las entradas digitales y analógicas de la tarjeta de adquisición de datos.



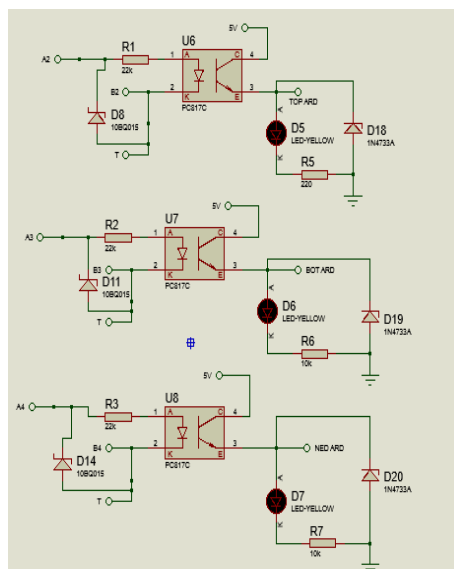
**Figura 26.** Circuito de conversión de 12VDC a 5VDC de las señales de fallos, *Start* y *Stop*

En Tabla 11, para su mejor entendimiento se detalla las señales correspondientes a la Figura 26.

**Tabla 11**  
Señales correspondientes a la Figura 26

Señal	Descripción
Start Ard	Salida de 5 VDC ingresan Arduino
Stop Ard	Salida de 5 VDC ingresan Arduino
SAF Ard	Salida de 5 VDC ingresan Arduino
PF	Salida de 5 VDC ingresan Arduino
T	Señal GND Arduino

Para las señales TOP, BOT y NED, se realiza la conversión mediante el uso de opto acopladores de tipo foto-transistor mostrada en la Figura 27, donde ingresan las señales por un diodo interno, produciéndose así el paso de corriente desde el colector hacia el emisor del transistor, haciéndose de esta manera que trabaje en corte y saturación conmutando de esta forma una señal de 5 VDC.



**Figura 27.** Circuito de conversión de 12VDC a 5VDC de las señales de top, needle, bottom

Se realizaron los siguientes cálculos, para determinar las resistencias R1, R2, R3, con la utilización de la siguiente fórmula:

$$R_{1,2,3} = \frac{(V_{in} - V_f)}{I_f} \quad (3.3)$$

Donde,  $V_f$  :es el voltaje al que opera el diodo,  $V_{in}$  :es el voltaje de señal de entrada e  $I_f$  :es el valor de corriente de funcionamiento del led, reemplazando los datos en la fórmula antes mencionada se obtiene el valor de las resistencias.

$$R_{1,2,3} = \frac{(12V - 1,2V)}{0,5mA} = 21,6k\Omega \approx 22k\Omega \quad (3.4)$$

Y la potencia disipada por la resistencia es:

$$P = (0,5mA)(12V - 1,2V) = 5,4mW \quad (3.5)$$

En este diseño, de igual forma, se utilizó el diodo Schottky 1N5819 (D8, D11 y D14) que permitirá descargar rápidamente al capacitor electrolítico y con esto evitar que exista remanentes del voltaje almacenado en el mismo, que producirá problemas en el funcionamiento del dispositivo, este se encuentra conectado de forma inversa entre el pin de entrada y salida de voltaje, además a las señales que van directamente a la tarjeta Arduino MEGA se coloca un diodo 1N4733A (D18, D19 y D20) que cumple con la función de protección de las entradas digitales y analógicas de la tarjeta de adquisición de datos. En la Tabla 12, se describe las señales correspondientes a la Figura 27.

**Tabla 12**

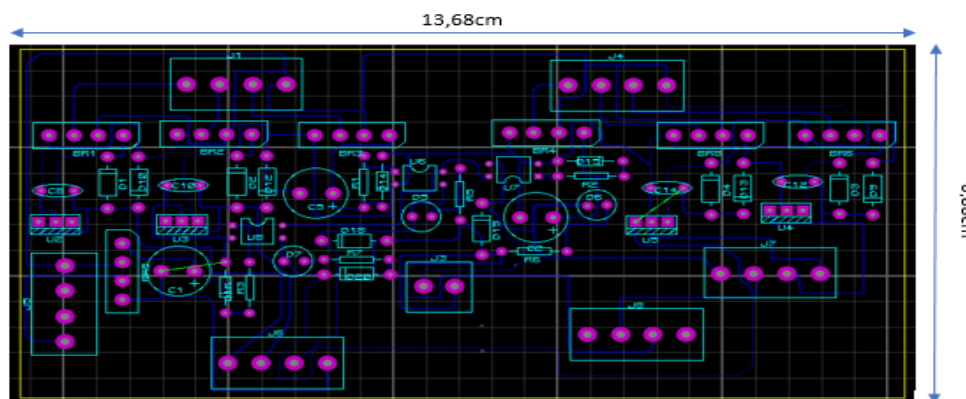
*Señales correspondientes a la Figura 27*

Señal	Descripción
TOP Ard	Salida de 5 VDC ingresan Arduino
BOT Ard	Salida de 5 VDC ingresan Arduino
NED Ard	Salida de 5 VDC ingresan Arduino
5V	Señal limpia de 5 VDC
T	Señal GND Arduino

El diagrama eléctrico general de la etapa de adquisición de datos se encuentra en el Anexo A.

### 3.4.2.1.1 Diseño de la placa electrónica

En la Figura 28 se presenta el diseño PCB realizado con la ayuda del software Proteus 8, en el que se puede observar la distribución de los elementos electrónicos y las dimensiones de la placa. Esta placa fue realizada a una sola cara, ya que por ser una placa electrónica de potencia, su característica principal es poseer máximo dos caras donde sus dispositivos que la componen se encuentran distribuidos.

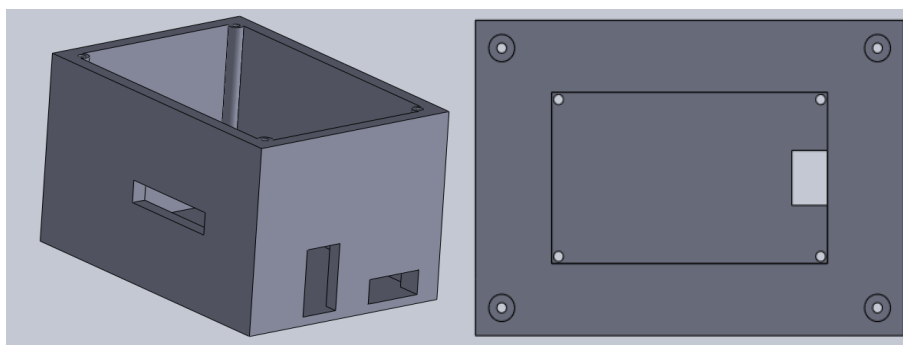


*Figura 28.* Diseño de placa PCB

### 3.4.2.2 Acondicionamiento y ensamblaje del dispositivo de adquisición de datos

El acoplamiento de la etapa de procesamiento de datos, comunicación e ingreso de datos externos se lo colocó en una carcasa diseñada de material tipo PLA, creado gracias a la tecnología de la impresión 3D, la cuál brinda las ventajas de protección y manejo del dispositivo, el material del que esta realizado soporta temperaturas de 75 grados centígrados, dato importante ya que la temperatura de la máquina donde va a estar instalado el dispositivo se encuentra en un rango de temperatura entre +40 grados centígrados y +70 grados centígrados.

Se elaboró la carcasa con el fin de encapsular de manera óptima todos los elementos en un solo sistema, para con ello facilitar su movilización y no causar molestias en el acoplamiento del mismo con los elementos propios de la máquina. En la Figura 29 se aprecia la carcasa diseñada para el dispositivo, donde las dimensiones son 9.2 cm de ancho, 8.3 cm de alto y 13.2 cm de largo.



**Figura 29.** Diseño de carcasa para el dispositivo de adquisición de datos

### **3.5 Desarrollo del registro automático (Software)**

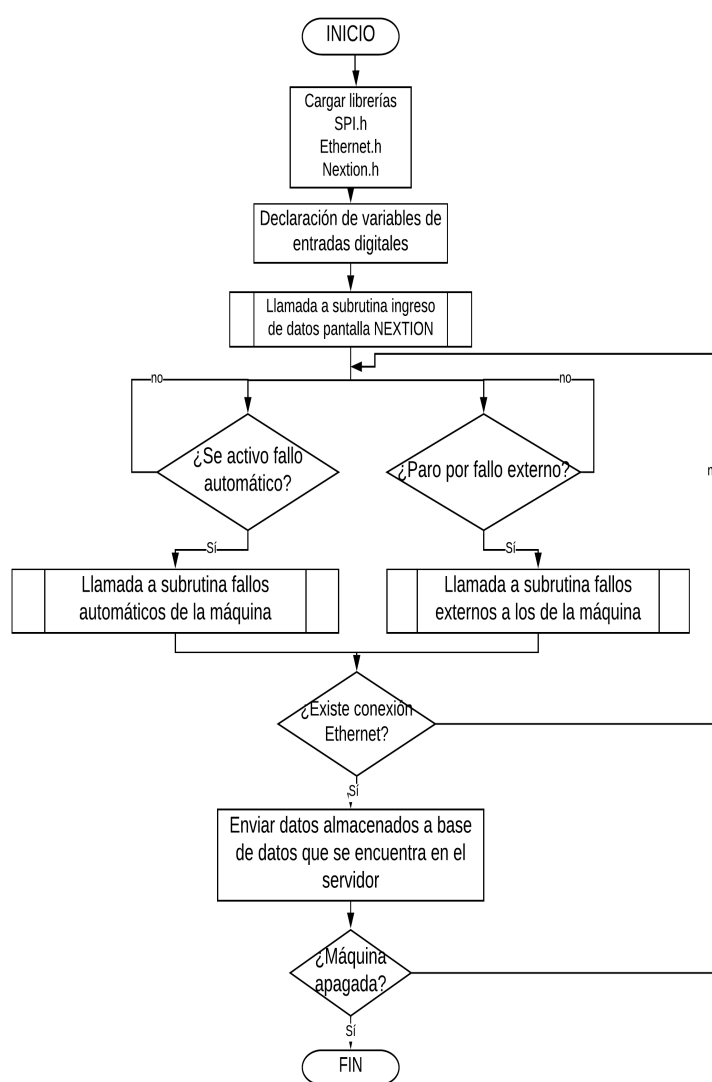
En este punto se realiza el desarrollo de la programación para el correcto funcionamiento de la tarjeta de adquisición de datos realizado en el IDE de Arduino, la cuál no solo recibirá los datos directos de la máquina, sino que por el desarrollo de un interfaz creada con la ayuda del software NEXTION, se ingresará a la tarjeta de adquisición, datos externos de paros producidos por las actividades que se realizan durante el proceso. De igual manera en este punto se describirá el desarrollo de la base de datos, la cuál estará instalada en el servidor que posee la empresa, para que el personal interesado (producción) revise los datos adquiridos para su posterior generación de reportes de toma de decisiones.

#### **3.5.1 Desarrollo del software de procesamiento de señales**

En esta etapa se realiza la programación en la tarjeta de adquisición de datos Arduino MEGA que se muestra en la Figura 30. En el programa se realiza la recopilación de los datos obtenidos desde los sensores de la máquina, los mismos que indican los principales paros automáticos producidos por la misma, de igual forma se realiza la programación de la funcionalidad que se le va a dar a la interfaz realizada en NEXTION, para el ingreso externo de los paros producidos por las diferentes actividades que intervienen durante el proceso de producción. Los datos se almacenarán en la base de datos solo al momento que se activa el fallo, sea externo e interno, donde se envía los siguientes datos: Fecha y Hora que se produjo el evento (Encendido, Apagado), descripción del fallo que se produjo, cantidad de rollos producidos por máquina, y datos adicionales como tipo de tela, número de vueltas y velocidad por cada

pieza que se está produciendo, todos estos datos conforman el registro automático que se implementó permitiendo de esta forma la identificación los tiempos totales de paros que se produjeron en las máquinas.

Luego de haber descrito de forma rápida el funcionamiento general del programa para el procesamiento de las señales, adjunta el código realizado en el Anexo B.



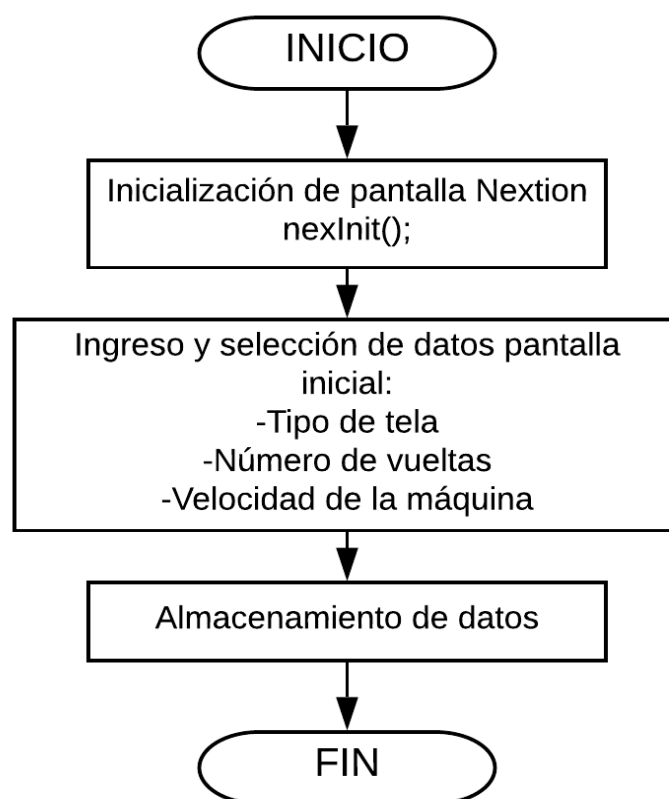
**Figura 30.** Diagrama de flujo del programa general del procesamiento de datos



### **3.5.1.1 Desarrollo del software para ingreso de datos principales desde pantalla NEXTION**

La Figura 31 muestra el diagrama de flujo de la subrutina del ingreso de datos principales por medio de la pantalla NEXTION, para facilidad del operario se realizó la identificación de los principales tipos de telas que cada máquina realiza de acuerdo a las características técnicas que estas poseen. Con los datos entregados por parte del Departamento de Producción se realizó el desarrollo de la interfaz, donde el operario selecciona el tipo de tela, ingresa el valor de número de vueltas y la velocidad para determinar el tiempo que se tarda en producir la tela. En el software Arduino MEGA, se realizó la programación de la funcionalidad de los distintos objetos diseñados en la interfaz, para ello se inicializa la pantalla NEXTION utilizando el código: `nexInit()`, se declaran los objetos utilizados en la interfaz y se crean funciones para cada objeto donde se ingresará a realizar la acción programada cada vez que detecte el evento Touch, los datos que se ingresan permanecen almacenados en la tarjeta Arduino MEGA hasta que se vuelva a ingresar nuevamente estos datos correspondientes a las características del tejido que se esta realizando. En el Anexo B, se describe el código referente al funcionamiento del HMI.

Esta programación también cumple con la funcionalidad de la subrutina descrita en el punto 3.5.1.3.



**Figura 31.** Diagrama de flujo subrutina de ingreso de datos principales pantalla NEXTION

En la Figura 32, se muestra una sección del código donde se realiza la declaración de los objetos creados mediante el software NEXTION, y posee la siguiente estructura: [pagina id:0, componente id:1, NombreComponente: "Objeto\_ObjName"] y en la Figura 33, se indica una sección del código del programa realizado en Arduino MEGA, donde se crea la función la cuál será llamada cada vez que el evento Touch sea detectado y se registrará los datos característicos del tipo de tela que se esta produciendo.

```

//declara los objetos a utilizar
NexPage page8 = NexPage(0, 0, "page8");
//PAGINA0 (page8) DATOS TELA
NexButton m0 = NexButton(0, 3, "m0");
NexButton m3 = NexButton(0, 5, "m3");
NexButton m8 = NexButton(0, 4, "m8");
NexNumber n0 = NexNumber(0, 1, "n0");
NexNumber n1 = NexNumber(0, 2, "n1");

```

*Figura 32.* Declaración de objetos de la interfaz en Arduino MEGA

```

void Boton_n0 (void *ptr)
{
    recvRetNumber(&vueltas);
    Serial.println (vueltas);
}

void Boton_n1 (void *ptr)
{
    recvRetNumber(&velocidad);
    Serial.println (velocidad);
}

void Boton_m0 (void *ptr)
{
    int *q;
    if (q=(int *)ptr)
        tipo="Mezi";
    //BaseDatos11(fechapa);
    Serial.println (tipo);
}

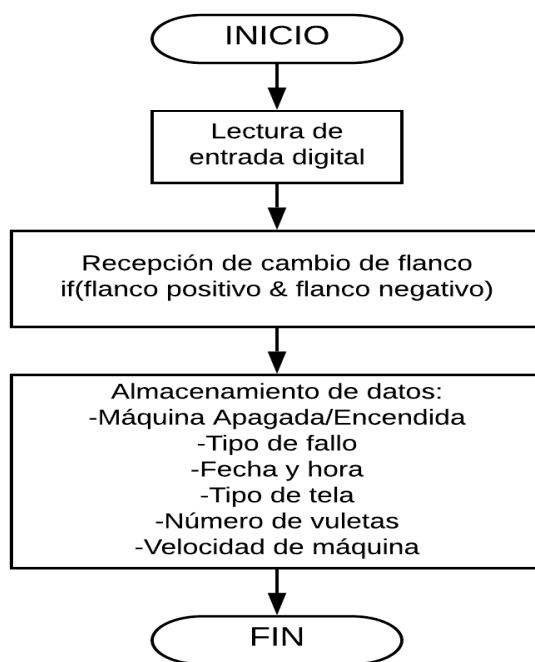
```

*Figura 33.* Función datos característicos de la tela

### 3.5.1.2 Desarrollo del software para procesamiento de fallos automáticos

En la Figura 34 se describe el desarrollo de la subrutina de procesamiento de los fallos automáticos directamente adquiridos por los sensores de las máquinas, es importante recalcar que esta subrutina se ejecuta solo cuando se detecta un cambio de flanco de alto a bajo, haciendo que se almacene momentáneamente en la tarjeta de adquisición Arduino MEGA

los datos que identifican el evento como: encendido o apagado de la máquina, el tipo de fallo que produjo el paro, la fecha y hora que sucedió el paro, y además los datos principales de las características del tejido que se esta produciendo, estos datos solo se almacenan una vez que se realiza el cambio de flanco, como se explicó en los puntos anteriores, la máquina emite señales constantes al activarse los sensores que si no se realizaría esta condición en el programa, la tarjeta estaría almacenando varios datos hasta realizar la desactivación del sensor.



**Figura 34.** Diagrama de flujo subrutina fallos automáticos de la máquina

La Figura 35, muestra una sección de código del algoritmo utilizado para la adquisición de las señales que produce la máquina al activarse uno de los fallos que esta posee.

```

bottom_E1=Antirrebote(alarma1);
if (bottom_E1 & not bottom_E0){
  sendCommand("page0.pl.pic=3");
  /////fechapa = rtc.getDateStr();
  //horapa = rtc.getTimeStr();
  apagada = "Maquina_Apagada_10";
  fallo2= "Fallo_memminger_inferiores";
  if (vueltas > 0){
    vueltas1 = vueltas;
    //Serial.println(vueltas1);
  }
  if (velocidad > 0){
    velocidad1 = velocidad;
    //Serial.println(velocidad1);
  }
  BaseDatos2(fechapa);
  Serial.println(apagada + " " + fallo2
+ " " + fechapa + " " + horapa + " " + tipo
+ " " + vueltas1 + " " + velocidad1);
  bottom_E0=bottom_E1;
}else if (not bottom_E1 & bottom_E0){
  bottom_E0=bottom_E1;
  sendCommand("page0.pl.pic=4");
}

```

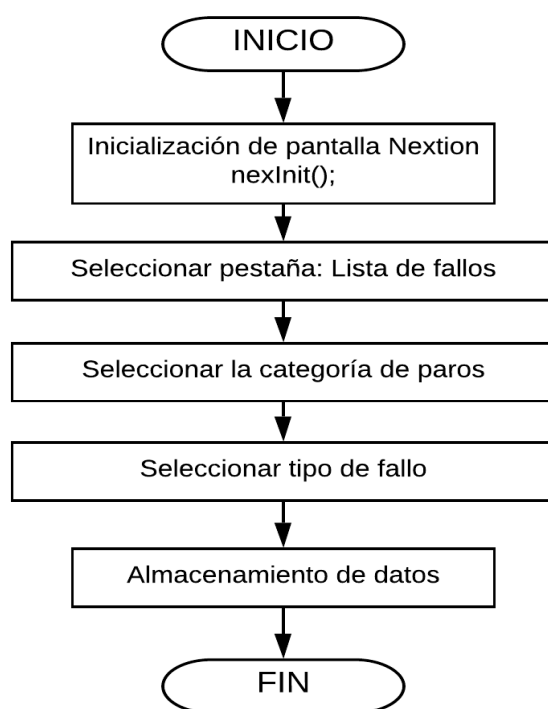
*Figura 35.* Registro de fallos automáticos producidos por la máquina

### 3.5.1.3 Desarrollo del software para procesamiento de fallos externos

En la Figura 36 se muestra el funcionamiento de la subrutina que permite ingresar los fallos externos, datos ingresados de acuerdo a novedades o actividades presentadas en el proceso productivo de tejeduría, estos datos se ingresarán con la ayuda de la pantalla NEXTION donde se realizó la interfaz, que por medio de la programación hecha en el IDE de Arduino, se agregó la funcionalidad a la misma. El operario al parar la máquina, por obligación, deberá ingresar el tipo de fallo que produjo el paro, ya que al momento de pulsar el botón físico

de paro de la máquina, se almacenará el evento de: Máquina parada y para su justificación deberá ingresar el fallo presentado.

Estos datos al igual que en el punto 3.5.1.2 se almacenan solo una vez, al momento de seleccionar el fallo que produjo el paro de la máquina, ya que en la programación los botones diseñados en la interfaz funcionan como un pulsador normalmente abierto sin enclavamiento.



**Figura 36.** Diagrama de flujo subrutina ingreso de fallos externos

La Figura 37, indica una sección del código donde se realiza el llamado a la determinada función del fallo externo a los que produce la máquina que se desea que se registre en la base de datos.

```

//page 7
void Boton_c0 (void *ptr)
{
  int *q;
  if (q=(int *)ptr)
  apagada = "Maquina_Apagada_10";
  fallo="Mal_estado_bandas";
  if (vueltas > 0){
  vueltas1 = vueltas;
  Serial.println(vueltas1);
  }
  if (velocidad > 0){
  velocidad1 = velocidad;
  //Serial.println(velocidad1);
  }
  BaseDatos11(fechapa);
  Serial.println (apagada + " " +fallo+ " " + vueltas1);
}

```

*Figura 37.* Ingreso y registro de fallos externos

### 3.6 Diseño de la interfaz HMI

Se desarrolló una interfaz con la ayuda del software NEXTION, la cuál fue implementada en una pantalla TFT. Este diseño se lo realiza tomando en cuenta las características estéticas de proporción y simetría mediante el uso de la Guía Gedis, que permite de una manera fácil al usuario su utilización, para la creación de la interfaz es necesario tomar en cuenta los siguientes criterios:

- Color: el uso del color es importante, ya que si la interfaz se sobrecarga de colores de alto contraste podría convertirse en una pantalla de uso incómodo o ilegible, por este motivo se recomienda usar colores neutros para no forzar la vista con contrastes excesivos (Rodríguez, 2007).

- Visibilidad: la información representada en la pantalla debe ser legible, con un tamaño adecuado para evitar el mal uso por parte del usuario.
- Interactividad: el usuario desde la interfaz realizada en la pantalla, ingresará los fallos externos para registrar los paros del proceso.

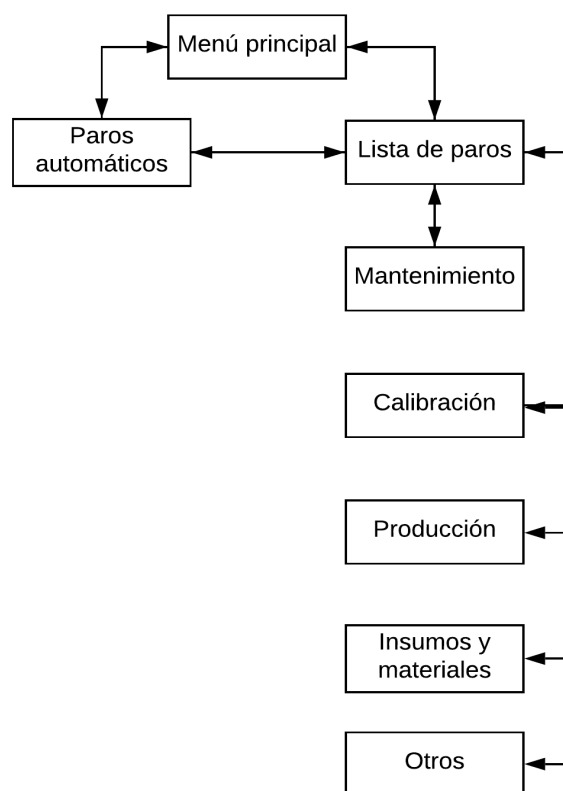
Las pantallas que se desarrollaron son:

- Pantalla de menú principal
- Pantalla de visualización fallos automáticos de la máquina
- Pantalla de categorización de fallos externos
- Pantalla de tipos de fallos producidos por mantenimiento
- Pantalla de tipos de fallos producidos por calibración
- Pantalla de tipos de fallos producidos por producción
- Pantalla de tipos de fallos producidos por insumos y materiales
- Pantalla de tipos de fallos producidos por actividades varias

### **3.6.1 Navegación entre ventanas**

En esta etapa se explicará la navegación que cumple las ventanas, las mismas que están descritas en la Figura 38.



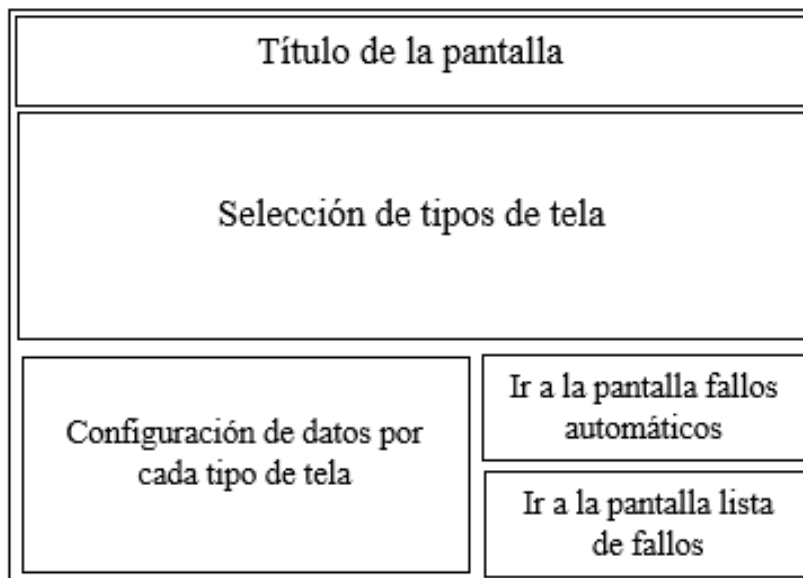


*Figura 38.* Navegación de la interfaz HMI

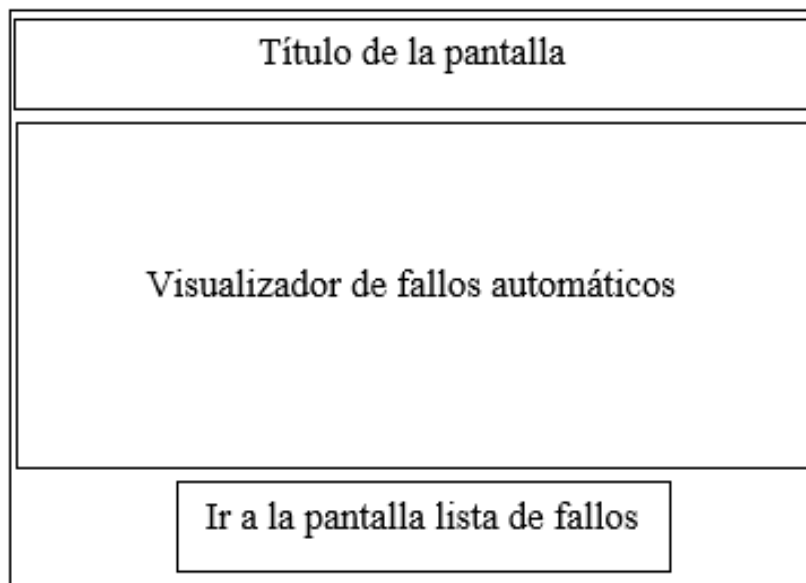
### 3.6.2 Distribución de las pantallas

En este punto se presenta la distribución física de la información que se va a mostrar en las pantallas, esta distribución se realizó a base de requerimientos del usuario y utilizando la guía Gedis.

De la Figura 39 a la Figura 46, se observan las plantillas realizadas para cada ventana.



*Figura 39.* Plantilla menú principal



*Figura 40.* Plantilla visualizador de fallos automáticos

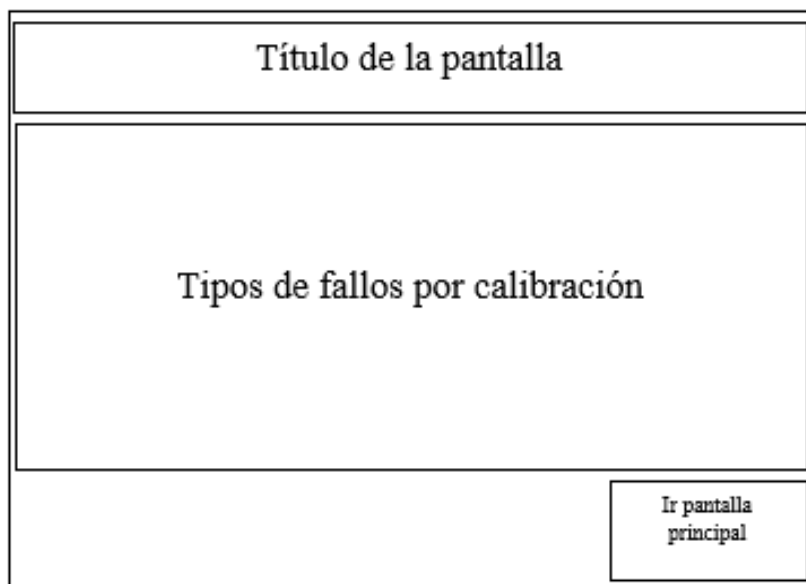
Título de la pantalla	
Categorización de fallos externos	
Regresar pantalla anterior	Ir pantalla principal

*Figura 41.* Plantilla categorización de fallos externos

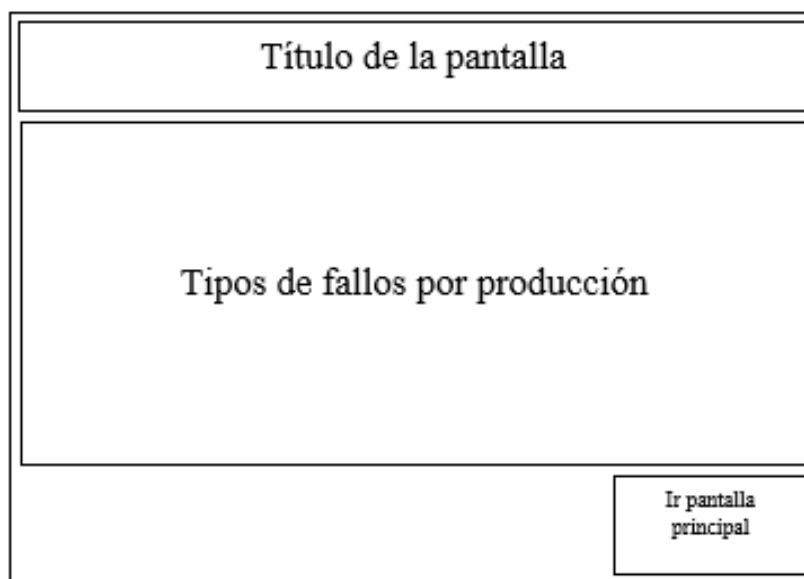
Título de la pantalla	
Tipos de fallos por mantenimiento	
Siguiete pantalla fallos mantenimiento	Ir pantalla principal

Título de la pantalla	
Tipos de fallos por mantenimiento	
Regresar pantalla fallos mantenimiento	Ir pantalla principal

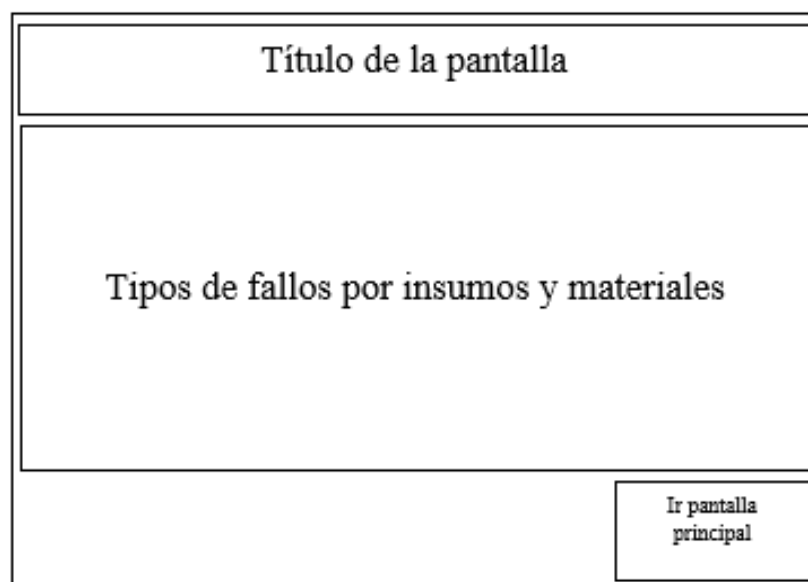
*Figura 42.* Plantilla de tipo de fallos por mantenimiento



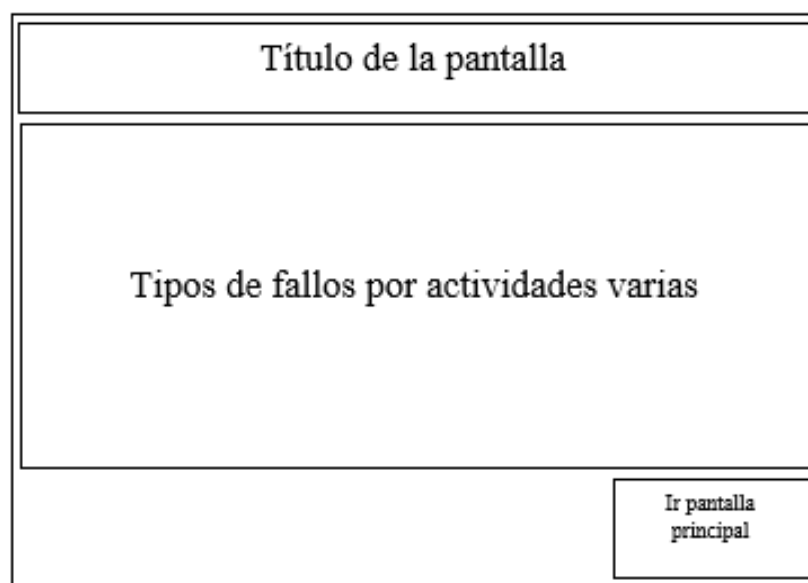
*Figura 43.* Plantillas de tipo de fallos por calibración



*Figura 44.* Plantilla de tipo de fallos por producción



*Figura 45.* Plantilla de tipo de fallos por insumos y materiales



*Figura 46.* Plantilla de tipo de fallos por actividades varias







### 3.6.3 Uso de colores

El uso de color en el diseño de la interfaz, es importante ya que existen directrices para desarrollar una buena interfaz, las cuales se describen a continuación.

- Todas las ventanas diseñadas deben poseer el mismo color de fondo.
- Evitar usar colores con alto contraste ya que puede causar incomodidades visuales al usuario.
- Evitar usar combinaciones de los siguientes colores: rojo y azul, ya que causan cansancio visual y provocan problemas visuales de profundidad y azul con verde, ya que puede dar resultados explosivos.
- No se debe usar una paleta de colores diversa ya que puede esas pantallas son consideradas como vistosas pero poco prácticas (Rodríguez, 2007).

La paleta de colores escogidos para el desarrollo de las ventanas se muestran en la Tabla 13.

**Tabla 13**  
*Colores utilizados en cada ventana*

Ítem	Color	Descripción de color
Fondos de pantalla		Gris plata
Texto títulos		Blanco
Texto botones		Negro
Fondos botones		Gris oscuro
Elementos desactivados		Concho de vino
Elementos activados		Rojo

### 3.6.4 Formato de texto

Al igual que el existen directrices para el uso de los colores en el diseño de interfaces, las normas Gedis establecen de igual forma que no se debe exceder en la variación de tipos de letra y tamaños, evitando de esta forma alteraciones visuales presentadas en las ventanas diseñadas, en la Tabla 14 se muestra el tipo y tamaño de letra utilizada.

**Tabla 14**

*Formato de texto utilizados en HMI*

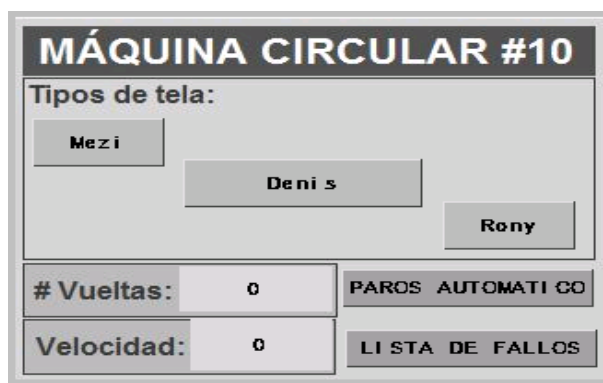
Ítem	Tipo de letra	Tamaño de letra
Títulos	Arial	22
Subtítulos	Arial	20
Botones	Arial	18

### 3.6.5 Pantallas de la interfaz HMI

En los siguientes puntos se describen las diferentes ventanas creadas para la interfaz, donde se observa el diseño final de cada una.

#### 3.6.5.1 Pantalla menú principal

En la Figura 47 se visualiza la pantalla de la interfaz realizada para el menú principal, en esta ventana se ingresan los datos característicos del tejido que se esta produciendo por máquina, este dato cambiará al momento que se recalibre la máquina y se cambie de tipo de tela.



*Figura 47.* Pantalla de menú principal

### 3.6.5.2 Pantalla de visualización fallos automáticos de la máquina

En la Figura 48 se muestra la ventana de visualización de los fallos automáticos, los cuales se activan cuando se receipta por parte de la tarjeta de adquisición Arduino MEGA las señales de los sensores directamente de la máquina, los cuáles accionan los fallos de la máquina, y también desde esta pantalla se puede acceder a la "lista de fallos" donde se encuentran categorizados los principales fallos externos producidos por las actividades que afectan al proceso productivo.



*Figura 48.* Pantalla de visualización fallos automáticos de la máquina



### 3.6.5.3 Pantalla de categorización de fallos externos

En la Figura 49 se muestra la pantalla donde se encuentra la clasificación de las principales actividades que afectan al proceso productivo, generando paros en las máquinas. Al seleccionar cada uno de los botones que se encuentran enlistados, se desplazará los diferentes tipos de fallos.



*Figura 49.* Pantalla de categorización de fallos externos

### 3.6.5.4 Pantalla de tipos de fallos producidos por mantenimiento

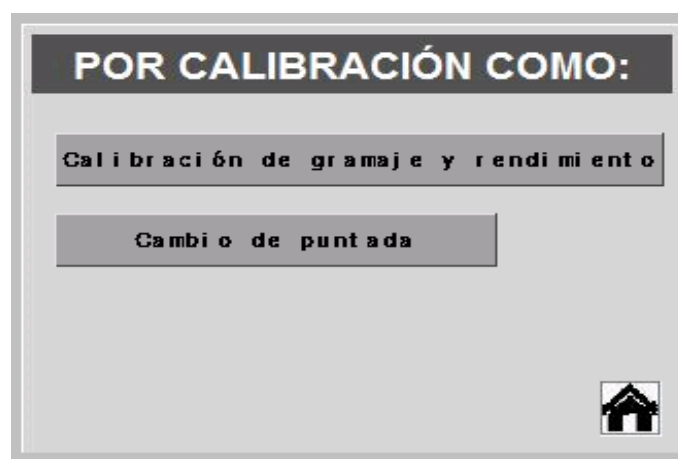
En la Figura 50 se muestran los fallos que se producen cuando una máquina entra en mantenimiento, el usuario deberá seleccionar uno de estos fallos al momento de parar la máquina.



*Figura 50.* Pantalla de tipos de fallos producidos por mantenimiento

### 3.6.5.5 Pantalla de tipos de fallos producidos por calibración

En la Figura 51 se muestran los fallos que se producen cuando la máquina va a cambiar de tipo de tela producción, el usuario deberá seleccionar uno de los fallos al momento de parar la máquina.



*Figura 51.* Pantalla de tipos de fallos producidos por calibración

### 3.6.5.6 Pantalla de tipos de fallos producidos por producción

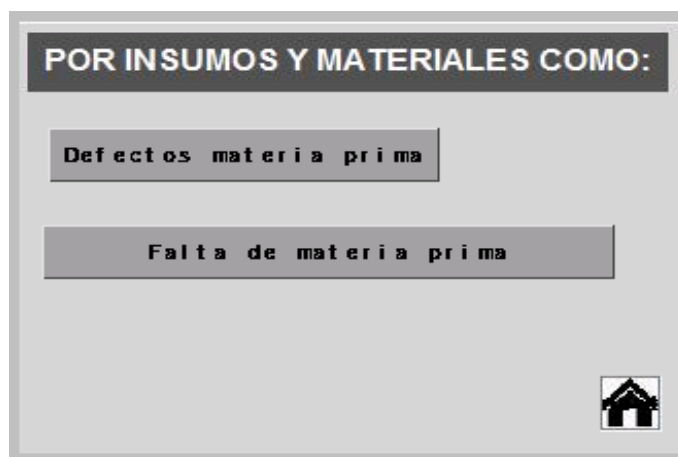
En la Figura 52 se muestran los fallos que se producen cuando la máquina va a detenerse por defectos o problemas de tejido identificados durante el proceso productivo, el usuario deberá seleccionar uno de los fallos al momento de parar la máquina.



*Figura 52.* Pantalla de tipos de fallos producidos por producción

### 3.6.5.7. Pantalla de tipos de fallos producidos por insumos y materiales

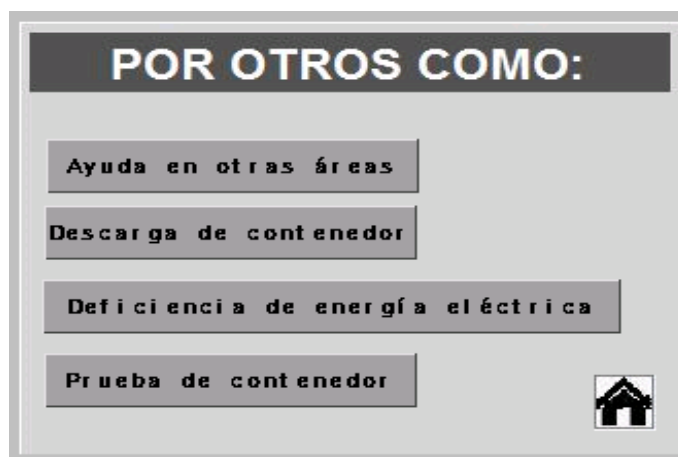
En la Figura 53 se muestran los fallos que se producen cuando se detectan problemas en la materia prima, el usuario deberá seleccionar uno de los fallos al momento de parar la máquina.



*Figura 53.* Pantalla de tipos de fallos producidos por insumos y materiales

### 3.6.5.8. Pantalla de tipos de fallos producidos por otros (actividades varias)

En la Figura 54 se muestra los fallos que se producen cuando se moviliza al personal operativo de la planta por motivos extras al proceso, el usuario deberá seleccionar uno de los fallos al momento de parar la máquina.



*Figura 54.* Pantalla de tipos de fallos producidos por otros (actividades varias)

### 3.7 Diseño e implementación de la base de datos

#### 3.7.1 Diseño de base de datos conceptual

Para la implementación de la base de datos se utilizó MySQL, de acuerdo a lo explicado en el punto 3.3.4, para el proyecto se creó la base de datos de tipo plana denominada "tesis" en donde se implementó una tabla llamada "mcfp", donde se almacena los datos que se reciben en la tarjeta de adquisición Arduino MEGA como son: fallos automáticos, fallos externos y datos de producción

En la Tabla 15 se detalla las variables que se almacenan en "mcfp" y que tipo de datos poseen.

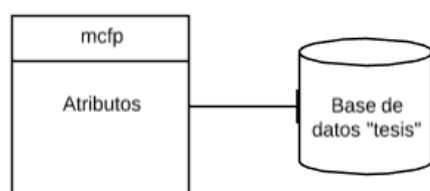
**Tabla 15**

*Tipos de datos y variables de la tabla "mcfp"*

<b>Variable</b>	<b>Tipo de datos</b>
Evento	text
Fallo	text
Producción	int(100)
Tipo	varchar(500)
Vueltas	bigint(100)
Velocidad	int(100)
Fecha	date
Hora	time

### 3.7.2 Diseño de la base de datos físico

Descrito el tipo de base datos que se utilizó en la implementación de este proyecto, en la Figura 55 se muestra su estructura la cual es sumamente simple por el tipo de recolección de datos que se está realizando.



*Figura 55.* Estructura base de datos

### 3.7.3 Creación de la base de datos

Para la gestión y creación de la base de datos se utilizó la herramienta *phpMyAdmin* escrita en PHP, la cuál maneja la administración de MySQL. Con esta herramienta se puede crear, eliminar y modificar bases de datos y las tablas que esta contienen. En la Figura 56, se muestra la base de datos "tesis" y su única tabla "mcfp".



**Figura 56.** Herramienta de gestión y modificación para base de datos

Con esta herramienta la información se encuentra disponible a cualquier momento, ya que si es necesario se puede genera el reporte de los datos obtenidos de las máquinas. Existe dos reportes que se los pueden observar en una página web realizada de igual manera en PHP, el primero de los reportes muestra los datos generales adquiridos, obteniendo como dato el tiempo total de funcionamiento de cada máquina con su producción total, en el segundo reporte se obtiene el cálculo total de los tiempos muertos producidos por máquina y los fallos que ocasionaron esas paras de producción. Adicional se puede descargar y guardar la información en hoja de Excel.

Para el proceso de almacenamiento de datos se utilizó la tarjeta de adquisición Arduino MEGA, en la cuál se realizó la programación en el IDE (Entorno de Desarrollo Integrado) de Arduino mostrado en la Figura 57 , donde se establece una conexión entre la tarjeta y PHP, con la cual permitirá el envío de los datos hacia la base de datos instalado en el servidor.

```

void BaseDatos3(String fechapa) { //ALARMA NEEDLE

// Proceso de envio de muestras al servidor
Serial.println("Envio de dato, conectando...");
if (cliente.connect(server, 80)>0) { // Conexion con el servidor(client.connect(server, 80)>0
  cliente.print("GET /tesis/control/conexion_arduino.php?encendida_php="); // Enviamos los datos por GET
  cliente.print(apagada);
  cliente.print("svacia_php=");
  cliente.print(fallo3);
  cliente.print("sproduccion_php=");
  cliente.print(vacio);
  cliente.print("stipo_php=");
  cliente.print(tipo);
  cliente.print("svueltas_php=");
  cliente.print(vueltas1);
  cliente.print("svelocidad_php=");
  cliente.print(velocidad1);
  cliente.println(" HTTP/1.0");
  cliente.println("User-Agent: Arduino 1.0");
  cliente.println();
  Serial.println("Envio con exito (al archivo controller/index y models/herramienta)");
  delay (1000);
} else {
  Serial.println("Fallo en la conexion");
  delay (2000);
}
if (!cliente.connected()) {
  Serial.println("Desconectando");
}
}

```

**Figura 57.** Líneas de código para conexión entre Arduino y PHP

El código de los dos reportes generados se encuentran descritos en el Anexo C y Anexo D respectivamente.



# Capítulo 4

## PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se presentan las pruebas realizadas al dispositivo electrónico, donde se evaluó tanto la parte del software y del hardware para garantizar de esta manera su correcto funcionamiento. Además se presentarán los resultados obtenidos con la ayuda de la implementación del registro automático de fallos, el cuál permitió obtener los datos pertinentes para la elaboración de los cálculos necesarios para la adquisición del OEE (Overall Equipment Effectiveness) del proceso, identificando los principales problemas y generando recomendaciones para el mejoramiento del proceso.

### 4.1 Pruebas FAT

Las pruebas FAT se las realiza para inspeccionar los sistemas instalados en fábrica siguiendo un lista donde se verifica parámetros de rendimiento, mismas que son realizadas en las instalaciones de la empresa Textil Padilla Cia. Ltda., en la ciudad de Quito.

### 4.1.1 Hardware

Para la evaluación que se realiza al hardware del dispositivo instalado en las máquinas circulares, se toma en cuenta los siguientes puntos.

- Inspección visual
- Conexión
- Estructura del diseño
- Verificación señales

#### 4.1.1.1 Inspección visual

**Tabla 16**  
*Pruebas, inspección visual*

Descripción	Si	No
1. Acabado de acuerdo a las especificaciones	x	
2. Placas de identificación	x	
3. Señalización de componentes		x
4. Montaje de borneras y accesorios	x	
5. Perforaciones para ingreso de cable	x	
6. Verificar la integridad física de los componentes	x	

Como resultado de las pruebas de inspección visual realizadas al tablero de control donde fue instalada, se puede observar que la placa electrónica, se encuentra adecuadamente instalada, esta placa posee identificación de las diferentes partes que la conforman para facilitar su

conexión y desconexión en el caso de realizar mantenimientos eléctricos y evitando de esta forma afectar a la funcionalidad del dispositivo.

Además a este tablero eléctrico que posee la máquina, se le realizó adecuaciones en cuanto a perforaciones para la adaptación del cableado que irá desde la máquina hacia a el dispositivo instalado en la misma.

#### 4.1.1.2 Conexión

**Tabla 17**  
*Pruebas, conexión*

<b>Descripción</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>
1. Conexión de acuerdo al diseño aprobado	x	
2. Rotulado de cables	x	
3. Ensayo de continuidad en los diferentes puntos de conexión	x	
4. Rango de protección de acuerdo al diseño	x	

La conexión se la realizó de acuerdo al diseño establecido el mismo que se encuentra en el Anexo E, el cuál fue realizado con respecto al diagrama eléctrico que posee la máquina para no afectar en su funcionamiento, en cuanto al cableado se realizó la identificación de origen - destino para reducir tiempo en cuanto al montaje y desmontaje del dispositivo eléctrico.

### 4.1.1.3 Estructura del diseño

**Tabla 18**

*Pruebas, estructura del diseño*

<b>Descripción</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>
1. Tamaño de acuerdo al diseño aprobado	x	
2. Material resistente adecuada a temperatura de la máquina	x	
3. Distribución de componentes de acuerdo al diseño	x	

Las pruebas de estructura del diseño son importantes, ya que el material y el tamaño del dispositivo electrónico se los escogió de acuerdo a las condiciones ambientales que posee la planta y las temperatura que emite la máquina, y con esto evitar problemas a futuro con su funcionamiento.

### 4.1.1.1.4 Verificación señales

**Tabla 19**

*Pruebas, verificación señales*

<b>Descripción</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>
1. Verificación de voltajes de entradas al dispositivo	x	
2. Verificación de alimentación de fuente de 5 Vdc	x	
3. Verificación de alimentación de fuente de 7 Vdc	x	
4. Verificación de voltajes de salidas de la máquina	x	

La verificación de las señales internas de la máquina y las señales externas a la misma, se las obtuvo con la ayuda de un multímetro, con el que se analizaron los valores que posee cada señal para evitar un mal funcionamiento con el dispositivo de adquisición de datos, y obtener

datos falsos en el registro instalado.

#### 4.1.2 Software

Para la evaluación que se realiza al software, se establecieron los siguientes criterios.

- Comunicación
- Diseño HMI
- Base de datos

##### 4.1.2.1 Comunicación

**Tabla 20**

*Pruebas, comunicación*

Descripción	Si	No
1. Verificación de conexión entre HMI y Arduino	x	
2. Verificación de conexión entre servidor y Arduino	x	

La verificación de la comunicación entre el servidor y tarjeta de adquisición de datos se la realiza con la ayuda del software SQL Front, por medio del cual se pueden observar los datos que van registrando, con ello también se puede comprobar que existe comunicación entre la interfaz y la tarjeta, por medio del ingreso de los datos al registro.

#### 4.1.2.2 Base de datos

**Tabla 21**

*Pruebas, base de datos*

<b>Descripción</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>
1. Verificación de existencia de las tablas en el sistema	x	
2. Verificación de registro de datos en las tablas	x	
3. Verificación de registro de datos mediante Arduino	x	
4. Verificación de la estructura de la base de datos	x	

La prueba que se realizó en la base de datos, se la hizo con la ayuda del software SQL Front y también con la revisión de los reportes generados en la página web, con estas pruebas se observa los datos que se están registrando ya que la información puede ser errónea, causando problemas en la implementación de la mejora del proceso productivo.

#### 4.1.2.3 Diseño HMI

**Tabla 22**

*Pruebas, diseño HMI*

<b>Descripción</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>
1. Verificación de distribución de pantallas	x	
2. Verificación de navegación	x	
3. Verificación de uso del color	x	
4. Verificación del estado de los equipos	x	
5. Verificación de comando e ingreso de datos	x	

Para verificar el funcionamiento del HMI se realiza una evaluación mediante los indicadores propuestos en la Guía Gedis la cuál esta descrita en la Tabla 23, el rango de evaluación es

de 1 a 5 según el nivel de importancia que es fijado por el cliente.

**Tabla 23**  
*Pruebas, evaluación de HMI*

<b>Arquitectura</b>	<b>Tipo</b>	<b>Medida</b>	<b>Valor</b>	<b>Peso</b>
Correspondencia con el proceso	Cuantitativa	$[SI, NO]$ [5, 0]	5	0,4
Número de capas	Cuantitativa	$[le < 4, le > 4]$ [5, 0]	5	0,4
Existencia de mapas	Cualitativa	$[a, m, na]$ [5, 3, 0]	3	0,3
<b>Distribución</b>	<b>Tipo</b>	<b>Medida</b>	<b>Valor</b>	<b>Peso</b>
Consistencia	Cuantitativa	$[SI, NO]$ [5, 0]	5	0,3
Densidad	Cualitativa	$[a, m, na]$ [5, 3, 0]	3	0,2
Simetría y balance	Cualitativa	$[a, m, na]$ [5, 3, 0]	5	0,3
Flujo de proceso	Cualitativa	$[claro, med, -]$ [5, 3, 0]	4	0,3
<b>Navegación</b>	<b>Tipo</b>	<b>Medida</b>	<b>Valor</b>	<b>Peso</b>
Correspondencia con la arquitectura	Cuantitativa	$[a, m, na]$ [5, 3, 0]	5	0,3
Accesibilidad	Cuantitativa	$[a, m, na]$ [5, 3, 0]	5	0,4
Consistencia	Cualitativa	$[SI, NO]$ [5, 0]	5	0,3
<b>Color</b>	<b>Tipo</b>	<b>Medida</b>	<b>Valor</b>	<b>Peso</b>
Visibilidad	Cualitativa	$[SI, NO]$ [5, 0]	5	0,2
Contraste con el fondo	Cuantitativa	$[a, m, na]$ [5, 3, 0]	5	0,2
Número de colores	Cuantitativa	$[4 < c < 7, c > 7]$ [5, 0]	5	0,2
Diferencia entre colores	Cuantitativa	$[a, m, na]$ [5, 3, 0]	5	0,2
Uso de colores primarios	Cualitativa	$[SI, NO]$ [5, 0]	5	0,2
Consistencia	Cualitativa	$[SI, NO]$ [5, 0]	5	0,1
<b>Información textual</b>	<b>Tipo</b>	<b>Medida</b>	<b>Valor</b>	<b>Peso</b>
Número de tamaños	Cuantitativa	$[SI, NO]$ [5, 0]	5	0,3
Número de fuentes	Cuantitativa	$[f < 4, f > 4]$ [5, 0]	5	0,25
Visibilidad del texto	Cualitativa	$[SI, NO]$ [5, 0]	5	0,5
Espaciamiento	Cualitativa	$[SI, NO]$ [5, 0]	5	0,4

CONTINÚA 

<b>Estado de los equipos</b>	<b>Tipo</b>	<b>Medida</b>	<b>Valor</b>	<b>Peso</b>
Facilidad de reconocimiento	Cualitativa	$[a, m, na]$ [5, 3, 0]	5	0,4
Visibilidad del estado del equipo	Cualitativa	$[SI, NO]$ [5, 0]	5	0,3
Consistencia	Cualitativa	$[SI, NO]$ [5, 0]	5	0,2
<b>Valores del proceso</b>	<b>Tipo</b>	<b>Medida</b>	<b>Valor</b>	<b>Peso</b>
Visibilidad	Cuantitativa	$[a, m, na]$ [5, 3, 0]	5	0,3
Ubicación	Cuantitativa	$[a, m, na]$ [5, 3, 0]	5	0,2
Consistencia	Cualitativa	$[SI, NO]$ [5, 0]	5	0,1
<b>Gráficos y tablas</b>	<b>Tipo</b>	<b>Medida</b>	<b>Valor</b>	<b>Peso</b>
Formato	Cuantitativa	$[a, m, na]$ [5, 3, 0]	5	0,3
Ubicación	Cuantitativa	$[a, m, na]$ [5, 3, 0]	5	0,3
Visibilidad	Cuantitativa	$[a, m, na]$ [5, 3, 0]	5	0,3
Configuración de tendencias	Cualitativa	$[SI, NO]$ [5, 0]	0	0,2
<b>Comandos e ingreso de datos</b>	<b>Tipo</b>	<b>Medida</b>	<b>Valor</b>	<b>Peso</b>
Visibilidad	Cuantitativa	$[a, m, na]$ [5, 3, 0]	5	0,4
Maniobrabilidad	Cuantitativa	$[a, m, na]$ [5, 3, 0]	5	0,4
Retroalimentación	Cuantitativa	$[a, m, na]$ [5, 3, 0]	4	0,2
Consistencia	Cualitativa	$[SI, NO]$ [5, 0]	5	0,1
<b>Alarmas</b>	<b>Tipo</b>	<b>Medida</b>	<b>Valor</b>	<b>Peso</b>
Visibilidad de la ventana de alarmas	Cuantitativa	$[a, m, na]$ [5, 3, 0]	3	0,3
Accesibilidad	Cuantitativa	$[a, m, na]$ [5, 3, 0]	3	0,3
Ubicación	Cuantitativa	$[a, m, na]$ [5, 3, 0]	3	0,2
Información de los textos de alarmas	Cuantitativa	$[a, m, na]$ [5, 3, 0]	3	0,1
Visibilidad de alarmas en sinópticos	Cuantitativa	$[a, m, na]$ [5, 3, 0]	3	0,05
Reconocimiento de la situación	Cualitativa	$[SI, NO]$ [5, 0]	4	0,05

Con el uso de la siguiente Ecuación 4.1, se obtendrá el valor final de la evaluación realizada.



$$Indicador = \frac{\sum_{j=1}^J w_j Subind_j}{\sum_{j=1}^J w_j} \quad (4.1)$$

Donde:

- J = número de sub indicadores
- $w_j$  = peso del sub indicador
- Subind = valor del sub índice

**Tabla 24**  
*Resultados de Guía Gedis*

<b>Indicador</b>	<b>Medida</b>	<b>Peso</b>
Arquitectura	4,45	0,1
Distribución	4,36	0,1
Navegación	5	0,2
Color	5	0,2
Información Textual	5	0,1
Estado de los equipos	5	0,05
Valores del proceso	5	0,1
Gráficos y tablas	4,09	0,05
Comandos e ingreso de datos	4,82	0,05
Alarmas	3.05	0,05
<b>Total</b>	<b>4,73</b>	

En la Tabla 24, se puede observar el resultado final de la evaluación de la Guía Gedis, el cuál es 4,73. Este total indica que la interfaz realizada se encuentra en un nivel de aceptación alto garantizando buen funcionamiento.

## **4.2 Metodología para disminuir tiempos de paro en proceso tejeduría**

Para la generación de las recomendaciones mediante el uso del método de mejoramiento continuo, es necesario calcular en primera instancia el OEE (Overall Equipment Effectiveness) del proceso, ya que con este dato se determinará el estado que se encuentra el mismo.

Con la ayuda de la implementación del dispositivo electrónico implementado en cada máquina se registró de manera automática los diferentes fallos que se producen durante todo el tiempo que tarda la pieza de tela en salir, donde se generan diferentes paros en el proceso, los cuales causan tiempos muertos.

Dentro de las industrias todo lo referente a pérdida de tiempo productivo genera pérdida de dinero, por este motivo es importante identificar que causa esos paros innecesarios y en otros casos necesarios en la producción, para ya identificados proceder a realizar una optimización de tiempos que ayuden a mejorar el proceso de estudio.

### **4.2.1 OEE (Overall Equipment Effectiveness)**

Toda máquina está diseñada para generar una cierta capacidad de producción, que en la realidad no se cumple por los diferentes motivos que se presentan en el proceso productivo. Con el cálculo y obtención del OEE, se puede identificar las pérdidas que ocurren durante el proceso de fabricación, las mismas que afectan directamente y hacen que las máquinas no cumplan con la capacidad ideal del 100%.

Por este motivo el OEE, es una herramienta de partida para identificar un método de mejora continua en cualquiera empresa y para obtenerlo es necesario identificar las pérdidas

generadas en cada factor que conforma la siguiente Ecuación 4.2:

$$OEE = (Disponibilidad) \times (Rendimiento) \times (Calidad) \quad (4.2)$$

$$OEE = (83\%) \times (96\%) \times (95\%)$$

$$OEE = 76\% \quad (4.3)$$

**Tabla 25**  
*Valoración indicadores OEE*

OEE	Valoración	Descripción
0% - 64%	Deficiente (Inaceptable)	Se produce importantes pérdidas económicas. Baja competitividad.
65% - 74%	Regular	Es aceptable solo si se está en proceso de mejora. Se produce pérdidas económicas. Baja competitividad.
75% - 84%	Aceptable	Continuar la mejora para alcanzar una buena valoración. Ligeras pérdidas económicas. Competitividad ligeramente baja.
85% - 94%	Bueno	Entra en valores de clase mundial. Buena competitividad.
95% - 100%	Excelente	Valores de clase mundial. Alta competitividad.

El resultado obtenido en la Ecuación 4.3, según la Tabla 25, indica que el OEE se encuentra dentro del rango donde cuya valoración es ACEPTABLE, siendo este resultado un indicativo para que el proceso siga mejorando para obtener una mejor valoración, reducir aún más las ligeras pérdidas económicas que todavía poseen y mejorar la competitividad, en

los siguientes puntos que se describe la obtención de cada factor.

#### 4.2.1.1 Disponibilidad

Es el dato obtenido con respecto al tiempo de funcionamiento de la máquina, este dato se ve afectado directamente con las paras no planificadas durante el proceso de producción, las mismas que pueden ser: Arranques, averías, cambios, esperas, entre otros.

A continuación, se muestra la Ecuación 4.4 con la que se calcula el porcentaje que corresponde al factor de disponibilidad de cada máquina.

$$Disponibilidad = \frac{TiempoProductivo}{TiempoDisponible} \times 100\% \quad (4.4)$$

Donde:

$$TiempoProductivo = TiempoDisponible - TiempoMuerto \quad (4.5)$$

#### a) Evaluación del factor de disponibilidad

En este punto se realizó la comparación de los datos obtenidos con la implementación del registro automático de tiempos muertos de cada máquina y los datos teóricos que son calculados mediante el uso de fórmulas usadas en el proceso de tejeduría.

Para obtener el tiempo teórico por rollo se realiza el siguiente cálculo:

$$Tiempo\ por\ rollo\ teórico = \frac{\#vuel\ tas\ rollo}{velocidad} [min] \quad (4.6)$$

Por este motivo es importante que el operario ingrese los datos característicos de cada tipo de tela en la interfaz del dispositivo como: velocidad y número de vueltas por rollo, ya que con estos datos se obtiene el tiempo teórico que dura en producirse un rollo.

En la Tabla 26, se puede observar el tipo de tela que se realizó por cada máquina durante el mes de Agosto, en cuanto a los datos visualizados en la columna de tiempo por rollo real, se registró automáticamente el tiempo que tardó cada rollo en producirse por cada tipo de tela, con todo el conjunto de datos adquiridos, se realizó el cálculo del promedio y desviación estándar utilizando las siguientes fórmulas respectivamente:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (4.7)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad (4.8)$$

Donde:

- $X_i$  es el conjunto de datos
- $n$  es el número total de datos
- $\bar{X}$  promedio
- $S$  desviación estándar

El valor colocado en la columna antes mencionada, se lo obtuvo con la siguiente ecuación:

$$Tiempo\ rollo\ real = \bar{X} \pm S [min] \quad (4.9)$$

Es importante recalcar que el dato mostrado en la columna correspondiente al tiempo real que toma en producirse el rollo, es el rango general en que se encuentra este dato que solo servirá para identificar la variación que existe entre los dos tiempos, con este dato obtenido no se realiza ningún tipo de cálculo para obtener la disponibilidad por máquina, ya que para ello se tomó todos los tiempos muertos obtenidos durante la producción de rollos diarios mediante el uso del registro automático implementado.

**Tabla 26**  
*Tiempos reales vs tiempos teóricos por rollo*

Máquina	Tipo tela	Velocidad (RPM)	#Vueltas rollo	Tiempo rollo teórico (min)	Tiempo rollo real (min)
#08	Pique Jaspeado	22.00	1.000	45min	52 ± 1.2min
	Lacoast	22.00	1.365	63min	72 ± 3.88min
#09	Denis Jaspeado	23.00	1.120	49min	58 ± 1.25min
	Denis	23.00	1.270	55min	60.33 ± 0.8min
#10	Rony	23.00	1.090	47min	60 ± 2.13min
	Denis	23.00	1.040	45min	54 ± 1.38min
#25	Lacoast Polo	23.00	1.030	45min	52 ± 1.28min
	Lacoast	23.00	1.040	45min	57 ± 2.08min

En la Tabla 27, se muestra los datos correspondientes al tiempo disponible por máquina, como se puede observar la máquina #8 tuvo una planificación de producción de 28 días, la máquina #9 tuvo una planificación de producción de 27 días, la máquina #10 tuvo una planificación de 24 días de funcionamiento y por último la máquina #25 tuvo una planificación de producción de 29 días durante el mes de Agosto.

Durante el funcionamiento establecido en cada máquina, se tomaron los tiempos muertos conjuntamente con los principales fallos que los generan, los mismos que fueron obtenidos

durante el tiempo de producción de cada rollo, estos datos fueron acumulados para conseguir el tiempo muerto total del proceso de la planta de algodón.

**Tabla 27**

*Tiempos muertos por máquina y producción*

Máquina	Tiempo disponible (min)	Tiempo muerto total (min)
#08	40.320,00	5.498,00
#09	38.880,00	4.783,00
#10	34.560,00	6.924,00
#25	41.760,00	9.664,00
<b>TOTAL PROCESO</b>	155.520,00	26.869,00

Para obtener el resultado del factor de disponibilidad se reemplazan los valores obtenidos de tiempo disponible 155.520,00 minutos y el tiempo muerto total 26.869,00 minutos correspondientes a todo el proceso de algodón, en la Ecuación 4.10, donde al realizar el cálculo respectivo se obtiene el dato de disponibilidad del mes de Agosto donde incide directamente en este dato el registro de tiempos muertos implementado en el proceso de tejeduría.

$$TiempoProductivo = 155.520 [minutos] - 26.869,00 [minutos]$$

$$TiempoProductivo = 128.651,00 [minutos]$$

$$Disponibilidad = \frac{128.651,00 [\text{minutos}]}{155.520 [\text{minutos}]} \times 100\% \quad (4.10)$$

$$Disponibilidad = 0,827 \times 100\% \simeq 83\%$$

#### 4.2.1.2 Rendimiento

Es el dato referencial a la capacidad de producción de la máquina durante el tiempo que se encontró operativa, en este dato también afectan los tiempos de paras que se producen y en otras ocasiones la manipulación de la velocidad la misma que disminuida a la que normalmente se encuentra funcionando la máquina.

En la Ecuación 4.11, se muestra el cálculo que se necesita realizar para obtener el porcentaje que corresponde al factor de rendimiento de la máquina.

$$Rendimiento = \frac{ProducciónReal}{CapacidadProductiva} \times 100\% \quad (4.11)$$

##### a) Evaluación de factor de rendimiento

Con la implementación del registro automático de fallos durante el proceso de producción de tela de algodón, se capturó la producción real por máquina, esta información servirá para que en este punto se realice la comparación de los datos teóricos con los reales.

Para obtener la producción teórica por máquina es necesario utilizar el dato generado en la Ecuación 4.6, para calcular la producción por día.



$$\#Rollos\ te\acute{o}ricos = \frac{1440 [min]}{Tiempo\ por\ rollo\ te\acute{o}rico [min]} \quad (4.12)$$

En la Tabla 28, se muestra la producci3n de rollos te3ricos por m3quina, la cual depende del tipo de tela que fue planificada a realizarse durante el mes de Agosto, versus la producci3n real generada.

**Tabla 28**  
*Rollos te3rica vs Rollos real*

<b>M3quina</b>	<b>Tipo tela</b>	<b>#Rollos te3rico</b>	<b>#Rollos reales</b>
#08	Pique Jaspeado	62	59
	Lacoast	598	565
#09	Denis Jaspeado	116	92
	Denis	598	565
#10	Rony	150	138
	Denis	589	570
#25	Lacoast Polo	128	100
	Lacoast	775	747

En la Tabla 29, se muestra el resultado producido por cada m3quina, obteniendo el total de kilogramos generados por toda la planta de algod3n.

**Tabla 29**  
*Producción teórica vs producción real*

Máquina	Producción teórica [kg]	Producción real [kg]
#08	15.840,00	15.147,62
#09	17.136,00	16.076,07
#10	17.736,00	17.684,43
#25	21.672,00	20.448,78
<b>TOTAL PROCESO</b>	72.384,00	69.356,90

Para obtener el resultado del factor de rendimiento se reemplaza los valores obtenidos de producción teórica total de 72.384,00 [kg] y la producción real total de 69.356,90 [kg] correspondientes a todo el proceso de algodón, en la Ecuación 4.13, se observa el dato de rendimiento obtenido durante el mes de Agosto de acuerdo a la producción generada.

$$Rendimiento = \frac{69.356,90 [kg]}{72.384,00 [kg]} \times 100\% \quad (4.13)$$

$$Rendimiento = 0,958 \times 100\% \simeq 96\%$$

#### 4.2.1.3 Calidad

Este dato corresponde a las piezas bien a la primera producidas por cada máquina, este dato se ve afectado especialmente con las piezas que no cumplen con los estándares de calidad.

En la Ecuación 4.14, se observa el cálculo que se debe realizar para la obtención del porcentaje que corresponde al factor de calidad de las piezas que produce cada máquina.

$$Calidad = \frac{(ProducciónReal - UnidadesDefectuosas)}{ProducciónReal} \times 100\% \quad (4.14)$$

En la Ecuación 4.15, se observa el dato correspondiente a la calidad obtenida durante el mes de Agosto.

$$Calidad = \frac{(69.356,90 [kg] - 3728,05 [kg])}{69.356,90 [kg]} \times 100\% \quad (4.15)$$

$$Calidad = 0,946 \times 100\% \simeq 95\%$$

## 4.2.2 Evaluación de tiempos muertos en el proceso de tejeduría

Para proponer la estrategia que ayudará a la reducción de tiempos muertos producidos en el proceso de tejeduría, principalmente es importante identificar las causas de paros que afectan directamente al factor de disponibilidad y rendimiento calculados en los puntos anteriores.

### 4.2.2.1 Causas de paro en el proceso de producción de tela de algodón

Los motivos de paro identificados en cada una de las máquinas pertenecientes al proceso de producción de tela de algodón son similares, por esta razón se realizó una estandarización de los diferentes paros que afectaron a todo el proceso productivo.

La toma de datos de los paros producidos se los receptó durante todo el mes de Agosto

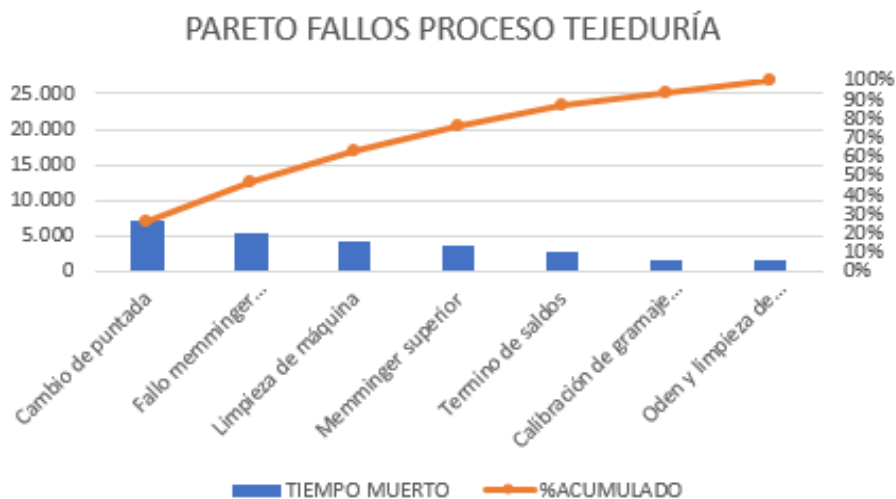
2019, esta información esta presentada en la Tabla 30, los fallos presentados son los que más relevancia produjeron en el proceso en cuanto a tiempos muertos.

**Tabla 30**

*Diagrama de Pareto de los fallos proceso tejeduría*

<b>Motivo/Fallo</b>	<b>Minutos</b>	<b>%</b>	<b>%Acumulado</b>
Cambio de puntada	7.059,00	26%	26%
Fallo memminger inferior	5.568,5	21%	47%
Limpieza de máquina	4.253,5	16%	63%
Fallo memminger superior	3.568,5	13%	76%
Termino de saldos	2.880,00	11%	87%
Calibración de gramaje y rendimiento	1.800,00	7%	94%
Orden y limpieza de planta	1.740,00	6%	100%
<b>TOTAL</b>	<b>26.869,00</b>	<b>100%</b>	

El tiempo muerto total en el proceso es de 26.869,00 minutos durante el periodo analizado, en el cuál los principales fallos de paro según la gráfica del diagrama de Pareto de la Figura 58, muestra que: Cambio de puntada, fallo de memminger inferior, limpieza de máquina y fallo de memminger superior, son los fallos que se encuentran entre el 80%, indicando de esta forma que estos fallos deben ser analizados para disminuir el tiempo de paro que afecta directamente al proceso productivo.



*Figura 58.* Estructura base de datos

#### 4.2.2.2 Estrategias para la disminución de tiempos muertos en el proceso de tejeduría

En este punto se realiza la recomendación para la reducción de tiempos muertos, usando la metodología 5S la que ayudará a generar una costumbre en las actividades a desempeñar en el proceso de tejeduría. Una planta de producción sin poseer un programa de mejora continua oculta un sin número de problemas, que al final acarrea pérdidas económicas.

A continuación, se realizará una descripción breve de cada fallo para que de esta forma se entienda porqué se las realizan y con esto enfocarse en la estrategia que ayude a disminuir el tiempo total muerto generado durante el proceso productivo.

Para que la metodología de 5S genere buenos resultados, es necesario un control por parte de supervisores de manera semanal y por parte del jefe de producción de manera mensual,

para así poder evidenciar las mejoras en el proceso productivo.

La recomendación de la estrategia para reducir los tiempos muertos se hizo con la clasificación de acuerdo a los siguientes criterios:

**a) Paros obligatorios durante el proceso de producción**

- **Cambio de puntada**

El paro por cambio de puntada se lo realiza dependiendo de los pedidos de tela que se generan por parte del cliente, esta actividad por lo general se lo realiza varias veces. pero durante el periodo de evaluación por máquina se realizó hasta dos veces el cambio de puntada en todo el proceso productivo.

Este tiempo se refiere cuando una máquina se encuentra produciendo un determinado tipo de tela y al cumplir con la producción requerida, y por lograr la meta productiva total, la máquina es cambiada de puntada y para ello se necesita el paro de la misma, modificando y calibrando su parte mecánica para poder obtener el resultado de la tela en cuanto a las características que la distinguen como son: rendimiento y gramaje. Estas características se encuentran estandarizadas por el Departamento de Calidad, pero por la diferencia de proveedores del hilo, se pierde tiempo hasta obtener las características deseadas de la tela a producirse.

- **Limpieza de máquina**

El paro por limpieza de máquina, lo realizan al término de cada pieza de tela, ya que el proceso de tela de algodón genera pelusa que en algunos casos produce motas y estas motas durante

el proceso de funcionamiento de la tela, se alojan en el cilindro de la máquina produciendo en algunos casos rotura de agujas o defectos en el tejido.

Por este motivo este paro se lo realiza de forma obligatoria por cada rollo producido.

- **Término de saldos**

El paro por término de saldos, sucede cuando el cono de hilo se encuentra en proceso de finalizar, en ese momento el operario realiza la conexión entre la hebra del cono antiguo y el cono nuevo, y mientras se produce la transición de hebra la máquina pasa parándose, ya que los sensores de los memminger detectan motas o la fibra del hilo en algunos casos es distinta a la que se encontraba trabajando.

- **Orden y limpieza de planta**

El paro por orden y limpieza de la máquina, se lo realiza al momento de cambio de turno, dependiendo de la cantidad de contaminación de pelusa que se genere por turno en el proceso, los operarios realizan la limpieza de toda el área de trabajo, ya que la pelusa genera un ambiente incomodo para los operarios en la ejecución de sus actividades normales y puede afectar a las piezas terminadas si la pelusa que se encuentran expuesta al polvo o aceite se adiere al producto.

Para lograr reducir los tiempos muertos producidos por los tres fallos antes descritos se recomienda la siguiente estrategia:

1. El Departamento de Producción deberá revisar y planificar de mejor manera la producción de tela del proceso de algodón, ya que la empresa trabaja principalmente para

solventar pedidos de clientes conocidos, por este motivo se debe realizar un estudio de las principales telas que son solicitadas durante todos los meses, para generar una cantidad de kilos aproximados y que los cambio de paro que se producen por cambio de producción se disminuyan, ya que esto no solo afecta al tiempo productivo sino que los mecanismos mecánicos que posee la máquina se desgastan, afectando a largo plazo en la calidad del producto.

2. Al ser la limpieza de máquina una actividad obligatoria se propone realizar un análisis para realizarla después de la producción de dos o más rollos y no por la terminación de cada rollo, pero para ello se debe verificar que esta optimización de tiempo no acarree daños en el producto.

#### **b) Paros no obligatorios por características de la materia prima**

- **Fallo memminger superior e inferior**

El paro por fallos en los memminger superiores e inferiores que posee la máquina se debe ha que el hilo que pasa desde los carretes por los guía hilos hacia las agujas, se rompe haciendo que la máquina pare, por este motivo los operarios deben estar atentos ya que por lo general este fallo se produce durante varias veces hasta que salga el rollo.

1. Verificación de la calidad de la materia prima con la ayuda de los profesionales textiles que posee la empresa, lograr estandarizar las características principales de la fibra con la cual no se tiene problemas en el proceso y evitar comercializar con proveedores con los que se obtenido fibras defectuosas, para así lograr optimizar perdida de tiempo durante el proceso.



En este punto también se enmarca la actividad de termino de saldos, ya que en algunas veces que se combinan hilos de diferentes proveedores, que como se explica anteriormente no pueden poseer las mismas características afectando directamente al proceso.

### **c) Paros obligatorios por validaciones durante el proceso de producción**

- **Calibración de gramaje y rendimiento**

El paro por calibración y rendimiento se refiere a que el operador debe parar la máquina durante la producción de cada rollo para tomar una muestra de la tela, esta muestra es llevada hasta el departamento de calidad donde se verificará los datos estandarizados del producto por tipo de tela, este proceso se realiza hasta validar y llegar al resultado deseado.

1. El Departamento de calidad posee una tabla de datos de rendimientos y gramajes ya estandarizados a los que debe llegar cada tipo de tela que se encuentra produciendo, este tipo de paro se ve afectado de igual forma por la calidad de la materia prima la cual es adquirida de diferentes proveedores, en este caso al realizar las modificaciones mecánicas en la máquina que ya se encuentran también normadas, no se llega al resultado esperado por las diferentes características que posee la fibra, perdiendo de esta forma tiempo hasta lograr calibrar a la máquina y obtener el producto deseado.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

- Con la implementación del registro automático se logró obtener los datos reales en cuanto a los tiempos muertos y producción, los mismos que permitieron realizar el análisis OEE (Overall Equipment Effectiveness) del proceso y con ello conocer el estado actual que se encuentra la planta de algodón, identificando directamente el factor (rendimiento, disponibilidad y calidad) que se encuentra con menor porcentaje y al que se debe tratar de corregir para que el proceso productivo mejore.
- Se identificaron los principales fallos externos a la máquina que afectan al proceso de producción de tejeduría, estos fueron obtenidos mediante el análisis realizado con los operarios durante todo el proceso productivo, los mismos que fueron categorizados para ayudar a la toma de decisiones por parte de coordinadores y supervisores de producción. Para la recolección de estos fallos se realizó la implementación de un HMI, tomando en cuenta la recomendaciones dadas mediante la Guía Gedis y el proceso en el que se encuentra instalado.
- La adquisición de los datos obtenidos directamente de la máquina, mediante la in-

instalación del dispositivo electrónico, beneficia en este caso para la generación de un estrategia de disminución de tiempos muertos con la ayuda de la metodología de 5S y la herramienta de Pareto, ya que se identificó las principales causas de todos los fallos categorizados, los cuales ocasionan mayores pérdidas en el proceso. Esta recomendación tendrá resultados futuros con la adquisición de mayor número de datos que permitirá tomar decisiones de cambio productivo.

## Trabajos Futuros

- Para el registro automático de fallos y producción se plantea la posibilidad para un futuro proyecto de cambiar las tarjetas de adquisición de datos Arduino MEGA, por un PLC, y de esta manera escalandolo a nivel industrial, no se lo realizó en principio así ya que fue presentado como plan piloto y todo depende de los resultados obtenidos.
- Con la implementación del escáner de detección de problemas el cual se conecta al hardware de la máquina, se disminuiría la carga que posee el operario que se dedica a revisar la calidad de las piezas que produce toda la planta, ya que la máquina al detectar una falla en el producto, registraría el número de rollo que posee el defecto y con esto se optimizaría tiempos en el proceso de revisión de calidad.

## Referencias

Arduino (2019). Arduino Mega 2560. Recuperado Julio 21, 2019, de <http://arduino.cl/arduino-mega-2560/>.

ATEXGA (1991). El proceso textil - guía de prevención de riesgos laborales. Recuperado Febrero 4, 2019, de <http://www.atexga.com/prevencion/es/guia/el-proceso-textil.php>.

Barraguer, X. M. (2016). Sistema de control distribuido nuevas soluciones para adaptarse a las exigencias del mercado. pages 38–42.

Bernal, J. J. (2013). Seis sigma: Proyectos de mejora basados en datos estadísticos | PDCA Home. Recuperado Febrero 12, 2019, de <http://www.atexga.com/prevencion/es/guia/el-proceso-textil.php>.

Celanese Acetate (2001). *Complete textile glossary*.

CIAI (2014). Distintos acabados textiles. Recuperado Febrero 4, 2019, de <http://www.ciaindumentaria.com.ar/plataforma/distintos-acabados-textiles/>.

Ciampolini, L. y Regli, P. Fichtner, W. (1998). Automatización y control. *Proceedings of the*

1998 4th International Workshop on Thermal Investigations of ICs and Microstructures, pages 179–183.

Ciurans, C. S. (2007). *Simulación y control de procesos por ordenador 2<sup>a</sup>*.

Crespo, E. (2016). Bus SPI. Recuperado Julio 22, 2019, de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/11/13/bus-spi/>.

Cutro, A. (2010). Bases de datos en red. Recuperado Febrero 13, 2019, de <http://www.dataprix.com/262-bases-datos-red>.

Cuvi, N. (2009). Auge y decadencia de la fábrica de hilados y tejidos de algodón la industrial, 1935-1999. pages 63–95.

Deler, J.-p. (1930). Transformaciones regionales y organización del espacio nacional ecuatoriano entre 1830 y 1930.

Díaz, J. (2013). Los ecuatorianos no se identifican con la producción nacional, según Javier Díaz | Revista Líderes. Recuperado Marzo 26, 2019, de <https://www.revistalideres.ec/lideres/ecuatorianos-identifican-produccion-nacional-javier.html>.

Díaz, J. (2018). Los números del sector textilero se recuperan | Revista Líderes. Recuperado Marzo 26, 2019, de <https://www.revistalideres.ec/lideres/numeros-sector-textilero-recuperan-ecuador.html>.

DIEE (2013). Distribucion, empleo y ventas generadas por empresas del sector textil en el ecuador.

Ecuador.com (2006). Ecuador: El arte de tejer, segunda parte: Excursiones de un día a Otavalo. Recuperado Febrero 4, 2019, de <https://www.ecuador.com/blog/ecuador-el-arte-de-tejer-segunda-parte-excursiones-de-un-dia-a-otavalo/>.

Ecuador.com (2007). Productos textiles del Ecuador. Recuperado Febrero 4, 2019, de <https://www.ecuador.com/blog/productos-textiles-del-ecuador/>.

García, E. (2012). *Automatización de procesos*.

Gualotuña, D. (2013). Diferencias entre Oracle y PostgreSQL. Recuperado Febrero 13, 2019, de <https://www.ecuador.com/blog/productos-textiles-del-ecuador/>.

Herrera, Jonathan Armas, M. y Arzola, M. (2012). Análisis de los diferentes métodos de mejora continua. *UNEXPO, Vicerrectorado Puerto Ordaz.*, pages 193–204.

HETPRO (2009). Pantalla inteligente táctil LCD genérica 2.8â Nextion NX3224T028 | HeT-Pro. Recuperado Julio 23, 2019, de <https://hetpro-store.com/pantalla-inteligente-tactil-lcd-generica-2.8-nextion-nx3224t028/>.

Lee, A. y Neefus, J. (2012). Industria textil: Historia, salud y seguridad. *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*, page 89.

Masabanda, C. (2011). El proceso de producción de textiles ~ industria textil. Recuperado

Febrero 4, 2019, de <http://industextilcarlos.blogspot.com/p/el-proceso-de-produccion-de-textiles.html>.

Mehta, B. y Reddy, Y. (2015). Distributed control system. *Industrial Process Automation Systems*, pages 75–133.

Mejía, F. (2015). Programa de textilización - ciencias textiles : Capítulo 7 - Diseño textil en general. Recuperado Febrero 12, 2019, de <http://industextilcarlos.blogspot.com/p/el-proceso-de-produccion-de-textiles.html>.

Naylamp (n.d.). Shield Ethernet W5100. Recuperado Julio 23, 2019, de <https://naylampmechatronics.com/arduino-shields/12-shield-ethernet-w5100.html>.

NEXTION (2011). NEXTION Basic HMI Display. Recuperado Mayo 26, 2019, de <https://nextion.itead.cc/>.

Ordóñez, M. (2013). Los dos lados de la tela. page 8.

Padilla, T. (2018). Textil Padilla. Recuperado Febrero 8, 2019, de <http://textilpadilla.com.ec/>.

Palomino, M. (2012). Peguche: taller de tejidos de José Cotacachi (parte 1). Recuperado Febrero 4, 2019, de <http://www.am-sur.com/am-sur/ecuador/Otavalo/Peguche-taller-tejidos-Jose-Cotacachi-ESP-01.html>.

Panamericanos, T. (2012). Tecnología de ITMA: Tejeduría plana y preparación de tejeduría | Textiles Panamericanos. Recuperado Febrero 12, 2019, de



<https://textilespanamericanos.com/textiles-panamericanos/articulos/2012/01/tecnologia-de-itma-tejeduria-plana-y-preparacion-de-tejeduria/>.

Pérez, D. (2007). ¿Qué son las bases de datos? Recuperado Febrero 12, 2019, de <http://www.maestrosdelweb.com/que-son-las-bases-de-datos/>.

Rectron (2002). 1N4001 thru 1N4007. *Test*, (88503):1–5.

Rivera, M. d. P. (2012). Introducción a los procesos textiles. Recuperado Febrero 4, 2019, de <https://es.slideshare.net/mariadrivera/introduccion-a-los-procesos-textiles>.

Robledo, P. (2017). Lean+SixSigma+TOC ofrecen métodos para la mejora continua de procesos en BPM - Albatian. Recuperado Febrero 4, 2019, de <https://albatian.com/es/blog/lean-sixsigma-toc-ofrecen-metodos-para-la-mejora-continua-de-procesos-en-bpm/>.

Rodríguez, A. (2007). *Sistemas SCADA 3.5.3*.

Rouse, M. (2015). ¿Qué es MySQL? Recuperado Febrero 13, 2019, de <https://searchdatacenter.techtarget.com/es/definicion/MySQL>.

Salazar, B. (2016). Metodología de las 5s - Ingeniería Industrial. Recuperado Febrero 4, 2019, de <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/gestion-y-control-de-calidad/metodologia-de-las-5s/>.

Salvetti, D. (2012). Sistemas de control: Lazo abierto/cerrado. Recuperado Febrero 13, 2019, de <http://eet602ei.blogspot.com/2012/05/sistemas-de-control-lazo-abiertocerrado.html>.

Sanchis, R., Romero, J. A., y Ariño, C. V. (2010). *Automatización industrial*.

Sharp (2003). PC817. *Current*, pages 0–3.

Sharp (2009). 1N4729A - 1N4758A Zener Diodes. *Datasheet*, (April):1–4.

Taipe, M. A. M. (2018). *Diseño, elaboración e implementación de un manual de procedimientos en base al sistema de calidad 5s en el proceso productivo de tejeduría para reducir desperdicios, tiempos muertos y evitar reparar tela en la empresa tejidos pintex s.a.* . PhD thesis, Tecnológico Superior Cordillera.

Tecnologías, I. (2018). Bases de datos Access. Recuperado Febrero 13, 2019, de <https://www.tecnologias-informacion.com/access.html>.

Victor Olaya (2017). *Sistemas de información geográfica*.

Viñas, E. (2010). Modelo E-R. Recuperado Febrero 13, 2019, de <https://proyectopentahodw.wordpress.com/tag/modelo-de-datos-relacional/>.

Vishay (2002). Schottky barrier plastic rectfier. (1):1–4.

Woollam, C. (1986). Flowshop with no idle machine time allowed. *Computers & Industrial Engineering*, 10(1):69–76.

Xitumul, A. (2009). *Diseño e implementación de un sistema de control de tiempos no productivos para la mejora de la eficiencia en una línea de producción de bebidas carbonatadas*. PhD thesis, Universidad de San Carlos de Guatemala.

## Anexo A

Diagrama eléctrico general de la etapa  
de adquisición de datos.

## Anexo B

Código adquisición de datos y  
funcionamiento de HMI.

## Anexo C

Código PHP reporte general de datos.

## Anexo D

Código PHP reporte cálculo tiempos  
muertos por fallos.

## Anexo E

Diagrama de conexión - control.