

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ
INSTITUTO DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y MANUFACTURA
MAESTRÍA EN TECNOLOGÍA



**SISTEMA DE MONITOREO DE EFECTIVIDAD CON
HERRAMIENTAS DE LA INDUSTRIA 4.0, EN UN EQUIPO DE
INSERCIÓN AUTOMÁTICA**

TESIS DE GRADO QUE PRESENTA:

ROCÍO MORFÍN DÍAZ

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRÍA EN TECNOLOGÍA

DIRECTOR DE TESIS

DR. LUIS CARLOS MÉNDEZ GONZÁLEZ

DR. LUIS ALBERTO RODRÍGUEZ PICÓN

Dedicatoria

A mi padre Onofre A. Morfín Garduño que su gran trayectoria sirvió como ejemplo o motivación para el desarrollo de este posgrado. A mi madre Minerva A. Díaz Fernández por enseñarme el sentido de la perseverancia.

A mis amigos y familiares cercanos que estuvieron a mi lado en este proceso de aprendizaje motivando e impulsando día con día.

Agradecimientos

Al apoyo recibido por parte del Dr. Luis C. Mendéz González al creer en este proyecto y apoyar para que saliera adelante.

A todas las aportaciones y trabajo en conjunto con el Dr. Luis Alberto Rodríguez Picón que ayudaron a fortalecer este proyectos.

Y finalmente a la empresa Electrónica BRK por abrimos las puertas y habernos permitido trabajar en colaboración en busca de herramientas para mejorar su operación.

Productos de la investigación

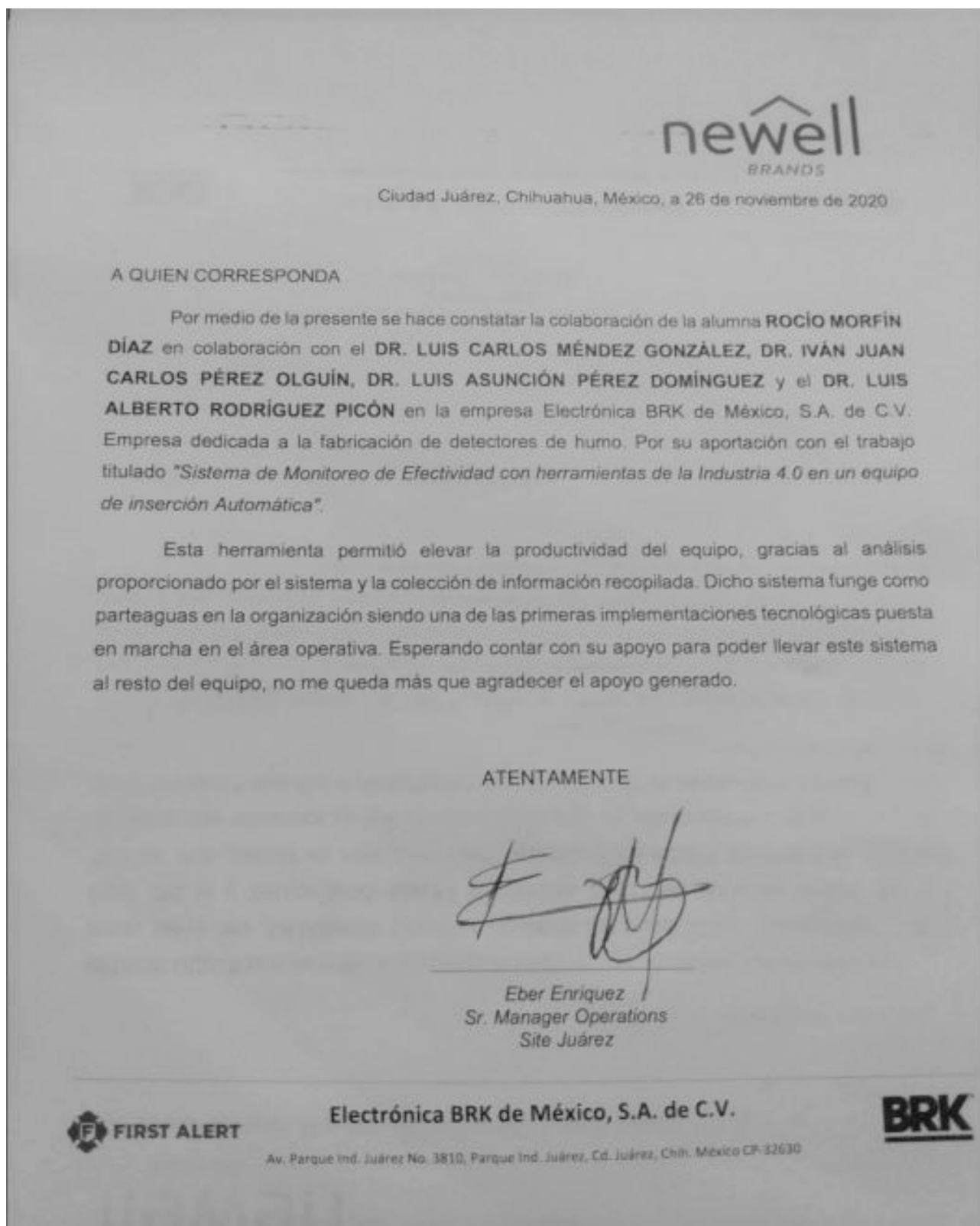


Figura 1: Carta de la empresa con la que tuvo colaboración

Adopción de la industria 4.0 en pequeñas empresas: caso de estudio

Adoption of Industry 4.0 in small companies: case study

Morfín-Díaz, R.*, Méndez-González, L.C., Rodríguez-Picon, L.A., Davalos-Ramírez, J.O., Morfín-Garduño, O.A.

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Instituto de Ingeniería y Tecnología, Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura, Ciudad Juárez, Chihuahua.

Email: *al182975@alumnos.uacj.mx; luis.mendez@uacj.mx; luis.picon@uacj.mx; jose.davalos@uacj.mx; omorfín@uacj.mx

Innovación tecnológica: Mejoramiento de procesos de manufactura a través del instrumento para monitorear la eficiencia del proceso de producción.

Área de aplicación industrial: Área de procesos de manufactura, innovación tecnológica.

Abstract

As part of the technological evolution proposed by Industry 4.0, the adoption of information technologies in manufacturing processes presents a benefit in the way of managing industrial processes. However, not all companies are convinced to bet on this evolution, due to the high demand for resources that the implementation of each platform implies, as well as the shortage of professionals empowered to start it up. In this work, Industry 4.0 tools such as: cyber physical systems, data mining and big data are incorporated into a technological platform developed for a company in the electronics sector where the technological lag is still present. The technological platform developed consists of a monitoring system for the efficiency of a selected operation. That corresponds to the restriction operation of the most critical area in the entire value chain of the company. This platform is made up of three parts. The first of signal acquisition and processing to convert them into relevant process information, which is developed in Labview by interacting with

Figura 2: Portada de artículo publicado

Resumen

Como parte de la evolución tecnológica que propone la industria 4.0, la adopción de las tecnologías de la información en los procesos de manufactura presenta un beneficio en la forma de administrar los procesos industriales. Sin embargo, no todas las compañías están convencidas de apostar por dicha evolución, debido a la alta demanda de recursos que la implementación de cada plataforma implica, así como la escasez de profesionales facultados para su puesta en marcha. En este trabajo se incorporan herramientas de la industria 4.0 como: los sistemas ciber físicos, minería de datos y big data en una plataforma tecnológica desarrollada para una empresa del sector electrónico donde el rezago tecnológico aún está presente. La plataforma tecnológica desarrollada, consiste en un sistema de monitoreo de la eficiencia de la operación seleccionada. Correspondiente a la operación restricción del área más crítica de toda la cadena de valor de la empresa. Dicha plataforma se compone por tres partes. La primera de adquisición y procesamiento de señales para convertirlas en información relevante del proceso, misma que es desarrollada en Labview interactuando con componentes de la maquinaria de manera directa y en tiempo real. La segunda es el medio de almacenamiento de la información donde se utiliza una base de datos en Microsoft SQL. Y por último tableros digitales de información desarrollados en la plataforma PowerBi, que analizan y proyectan los resultados del desempeño de la operación. Denotando de esta manera las áreas de oportunidad del proceso que contribuyen a una baja eficiencia del proceso productivo y a la acumulación de tiempo muerto durante el turno. Con el objetivo de demostrar el beneficio de utilizar plataformas tecnológicas para la captura y análisis de la información en los procesos de manufactura. Y pretendiendo facultar al personal operativo y técnico con herramientas que les permitan monitorear y mejorar un proceso.

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Antecedentes	2
1.2. Planteamiento del Problema	4
1.3. Objetivo	4
1.3.1. Objetivos Específicos	4
1.4. Hipótesis	5
1.5. Justificación	5
1.6. Alcances	5
1.7. Delimitaciones	6
2. Marco Teórico.	7
2.0.1. Elementos de la industria 4.0.	10
2.1. Análisis del sistema	24
2.1.1. Fundamentos de la máquina	25
2.1.2. Medición de eficiencia	27
3. Metodología	29
3.1. Materiales	29
3.2. Identificación de señales eléctricas de interés	30
3.3. Selección y configuración de sistemas de adquisición de datos	32
3.4. Integración de hardware	35
3.5. Desarrollo de monitor de eficiencia	37
3.5.1. Programación de sistema de recolección de datos y monitor de eficiencia en Labview	39
3.6. Programación y configuración de base de datos	50
3.6.1. Conexión con la base de datos	53
3.7. Monitor de resultados	55
3.7.1. Creación de paquete de instalación	57
3.8. Programación y análisis de datos PowerBi	61
3.8.1. Extracción de fuente de datos	62
3.8.2. Formato	63
3.8.3. Análisis de la información	65
3.8.4. Publicación de tableros	69
3.9. Validación del sistema	70

4. Resultados	72
4.1. Implementación del sistema	72
4.2. Integración del hardware	73
4.3. Monitor de proceso en Labview	74
4.4. Almacenaje de la información	77
4.5. Análisis de datos Power Bi	77
4.6. Resultados de la validación	81
4.7. Analisis de la información recopilada	83
4.8. Entrenamiento	86
5. Conclusiones	88
5.1. Trabajo a futuro	89
Bibliografía	89
Anexos	95
A. Anexo I: Lista de asistencia a entrenamiento	96
B. Anexo II: Formato de checklist de validación utilizado	98

Índice de figuras

1.	Carta de la empresa con la que tuvo colaboración	II
2.	Portada de artículo publicado	III
2.1.	Conceptos abordados en el capítulo	7
2.2.	Elementos de la industria 4.0	11
2.3.	Elementos de un Bussiness Intelligence System	13
2.4.	Etapas de la extracción del conocimiento de la información	14
2.5.	Arquitectura 5C de sistemas ciber físicos	15
2.6.	Arquitectura de un sistema embebido	16
2.7.	Clasificación de sensores	17
2.8.	Ventana principal de NI MAX	19
2.9.	Pasos para la adquisición de señales	20
2.10.	Alternativas en el diagrama de bloques para programación de DAQ	21
2.11.	Librería de bases de datos en Labview	24
2.12.	Cadena de valor de la fabricación de alarnas de humo	24
2.13.	IDEF 0, proceso de armado de tablilla	25
2.14.	Localización de componentes principales del equipo.	27
2.15.	Fórmulas del cálculo de componentes del OEE.	28
3.1.	Esquema de la metodología utilizada	29
3.2.	Indicador de señal de “en ciclo”.	30
3.3.	Sensor de inserción de nuevo componente.	31
3.4.	Sensor de carga de material.	32
3.5.	Tarjeta de adquisición de datos utilizada.	33
3.6.	Composición de la DAQ NI USB 6501	33
3.7.	Pantalla principal NIMax	34
3.8.	Librería NI-DAQmx	34
3.9.	Circuito electrónico utilizado	35
3.10.	Diseño de pistas del circuito electrónico	36
3.11.	Modelo 3D del circuito electrónico utilizado	36
3.12.	Pinout del la DAQ NI USB-6501	37
3.13.	Componentes del sistema	38
3.14.	Diagrama de flujo del sistema de recolección de datos	39
3.15.	Estructura while "maestro/esclavo	40
3.16.	Algoritmo de recolección de datos	41
3.17.	Subvi de recolección de datos	42

3.18. Selección de canales	42
3.19. Diagrama de flujo contabilización de defectos	43
3.20. Diagrama de flujo contabilización de piezas producidas	44
3.21. Diagrama de flujo detección de tiempo muerto	45
3.22. Estructura de eventos en ciclo maestro	46
3.23. Diagrama de tiempos para identificación de eventos	47
3.24. Diagrama de bloques para cálculo del OEE	48
3.25. Subrutina para calcular OEE	49
3.26. Cálculo de los componentes del OEE (diagrama de bloques)	49
3.27. Cálculo del OEE (diagrama de bloques)	50
3.28. Creación de nueva base de datos	51
3.29. Configuración de tabla OEE	52
3.30. Configuración del nombre de la tabla	52
3.31. Creación de tabla en árbol principal	53
3.32. Configuraciones de base de datos en archivo UDL	54
3.33. Escritura de base de datos en la tabla OEE	55
3.34. Escritura de base de datos en la tabla Microparos	55
3.35. Panel frontal del monitor de resultados	56
3.36. Subvi cambio de hora	56
3.37. Consulta a base de datos microparos	57
3.38. Creación de ejecutable	58
3.39. Configuración de información del ejecutable	59
3.40. Configuración de archivos fuente	59
3.41. Ejecutable generado	60
3.42. Configuración del instalador	60
3.43. Proceso para la creación de tableros en PowerBi	61
3.44. Tipo de vinculación con la base de datos	62
3.45. Selección de tabla a analizar	63
3.46. Selección del formato de los datos	64
3.47. Ejemplo de columna personalizada	65
3.48. Visualizaciones disponibles en Power Bi	66
3.49. Visualizaciones del promedio del día del OEE	66
3.50. Visualizaciones de texto con configuración de navegación	67
3.51. Configuración gráfica de pay	68
3.52. Configuración gráfica de barras	68
3.53. Configuración gráfica lineal	69
3.54. Pasos para publicar el tablero	69
3.55. Mensaje de confirmación de la publicación.	70
3.56. Pantalla de mantenimiento para validación del sistema.	71
4.1. Sistema funcionando en producción	72
4.2. Circuito de acoplamiento de señales eléctricas.	73
4.3. Interfáz de usuario del sistema de adquisición de datos	74
4.4. Indicadores de elementos del OEE en la interfáz de usuario de Labview	75
4.5. Métricos de producción desplegados en la interfáz de usuario de Labview	75
4.6. Gráficos de elementos clave en la interfáz de usuario de Labview	76

4.7. Histórico de eventos de tiempo muerto	76
4.8. Tabla de microparos en base de datos	77
4.9. Tablero del OEE	78
4.10. Tablero de disponibilidad	79
4.11. Tablero de rendimiento	79
4.12. Tablero de calidad	80
4.13. Vista móvil para los tableros.	80
4.14. Checklist de validación	82
4.15. Porcentaje de contribución al OEE.	84
4.16. Contribuidores de tiempo muerto	84
4.17. Promedio de tiempo muerto por hora	85
4.18. Porcentaje de fallas de inserción ³ <i>por componente</i>	86
4.19. Entrenamiento en línea de Sistema de Monitoreo de OEE	87
A.1. Evidencia de entrenamiento	97
B.1. Evidencia de entrenamiento	99

Índice de tablas

2.1. Tipos de datos predefinidos	23
3.1. Asignación de puertos en NI USB 6501	37
3.2. Visualizaciones utilizadas en los tableros secundarios	67

Capítulo 1

Introducción

Uno de los principales retos de la industria hoy en día es la creación de procesos flexibles y eficientes al menor costo posible [58]. En gran parte, esto es debido a dos factores identificados: la competencia globalizada con la que se cuenta hoy en día y los requerimientos cambiantes por parte de los clientes. Por lo que para llegar a satisfacer estas dos necesidades es necesario un cambio más allá de las técnicas de manufactura ya aplicadas; la industria demanda un cambio radical, desde la estructura de las organizaciones hasta los procesos de manufactura y las tecnologías aplicadas en ello [7].

Al igual que en las transformaciones industriales pasadas, la industria 4.0 pretende transformar la forma de trabajo y el ambiente industrial mediante una fusión entre el mundo digital, físico y biológico de las industrias [40]. Teniendo como base la habilidad de obtener información en tiempo real conectando todos los elementos involucrados en la cadena de valor del producto [22]. Y como principal propósito el poder de analizar la información y con ello generar conocimiento, que termina convirtiéndose en tendencias, causas o un reporte de resultados [26].

Desde el punto de vista de la manufactura, la industria 4.0 busca asegurar una flexibilidad y una correcta escalabilidad en los sistemas de manufactura al integrar las tecnologías de la información como medio para el monitoreo de los procesos, mejorando así las estrategias operacionales [10]. Con la combinación de herramientas de la industria 4.0, se busca incrementar la productividad de los procesos de producción, al reducir tiempos de ciclo, cambios de modelos, tiempos muertos o costos de operación [9].

Esto hace que la industria 4.0 sea muy atractiva para las compañías manufactureras, sin embargo, su adopción no es igual de sencilla para todas. Es el caso de las pequeñas empresas donde Dassisti [10] señala que parte de los paradigmas a los que estas empresas se enfrentan al momento de querer adoptar las tecnologías y plataformas de la industria 4.0 es: su limitada capacidad económica, la falta de estandarización en sus procesos y el uso de hardware y software independiente, lo que complica el proceso de estandarización. Aunando en el punto de vista técnico, la falta de protocolos de comunicación dentro de los equipos o su uso variado de ellos es una de las barreras más costosas a vencer por parte de las pequeñas empresas [29].

Horváth [29] resaltan que si bien existen muchas barreras a las que las pequeñas empresas

se enfrentan al momento de querer adoptar esta cuarta revolución. También hay ganancias al momento de implementarlas, que recaen en un aumento en la productividad y con ello en las ganancias del negocio.

1.1. Antecedentes

A lo largo de la historia, la industria ha presenciado cuatro grandes transformaciones: la mecanización, industrialización, automatización y finalmente la industria inteligente [19]. La primera data entre 1760 y 1840 con la invención de la máquina de vapor como principal fuente de energía para los sistemas motrices de la época. La segunda gran transformación fue dada al remplazar la fuente de energía del vapor por la utilización de la electricidad a finales del siglo XIX. De igual forma la inclusión del modelo de producción en masa es considerado parte de esta transformación. La tercera transformación fue marcada en la década de los 60's con la integración de procesos automatizados y las tecnologías de la información (TIC's) en las industrias. Finalmente la más reciente, la cuarta transformación conocida como industria 4.0 [49].

La industria 4.0 dentro de la evolución que propone para las industrias manufactureras, se encuentra la adopción de elementos clave para constituir el concepto de industria inteligente. Desarrollando un ambiente inteligente en donde la barrera entre el mundo real y el digital cada vez sea más pequeña [60].

La industria 4.0 busca optimizar la utilización de recursos, reducir los tiempos de almacenaje y distribución e integrar una forma de producción personalizada, que permita establecer un contacto más cercano con los clientes [57]. Facultando así a las compañías manufactureras de herramientas tecnológicas que les faciliten la administración y control de sus procesos, así como la toma de decisiones basadas en la información recopilada de producción.

Uno de estas herramientas o elementos de la industria 4.0 son los sistemas ciber físicos (CPS, por sus siglas en inglés) los cuales son sistemas capaces de adquirir datos, procesar información, controlar tareas e interactuar con las personas a través de interfaces tecnológicas [7]. Esto mediante una interacción continua entre herramientas computacionales y los sistemas industriales operando de manera retroalimentada en tiempo real [48]. Estableciendo así un vínculo entre los componentes físicos (sensores, actuadores, robots, sistemas embebidos, entre otros) con el medio virtual establecido [1].

Herwan, et al., [28] ejemplifican una de las tantas aplicaciones de los sistemas ciber físicos con un sistema para monitorear variables físicas como vibración, sonido, corriente y torque en equipos de maquinado. Para de esta manera poder rastrear el estado de las herramientas y lograr pronosticar su vida útil. Gracias a la información recopilada del equipo de maquinado con el sistema de monitoreo, se establece un control más efectivo de cambio de herramientas, reduciendo así los costos por refacciones de estos equipos. Dentro de las fortalezas de dicha propuesta se encuentra el combinar los sistemas ciber físicos con el almacenamiento en la nube de manera que las señales adquiridas del equipo de maquinados puedan ser almacenadas y visualizadas en un entorno libre y compartido.

Los sistemas ciber físicos como esta interacción, demandan el manejo, recolección y análisis de datos. De modo que la minería de datos, otro elemento más de la industria 4.0, es involucrado en esta clase de aplicaciones. La minería de datos por definición analiza e identifica patrones dentro de la recolección en grandes cantidades de datos. Con ello se puede extraer conocimiento y realizar predicciones como la realización de mantenimientos preventivos, detección y pronóstico de fallas, aseguramiento de la calidad y la toma de decisiones para el mejoramiento del proceso [26]. Con la ayuda de los sistemas ciber físicos se busca recolectar la información de manera paralela sin interferir en el proceso analizado.

De acuerdo con Köksal, et al. [33] una de las áreas de la manufactura que se ha visto más beneficiada por la minería de datos es la calidad del producto. Múltiples herramientas de solución de problemas como: 6s o Kaizen, demandan la captura de datos para analizar, definir, controlar y monitorear el problema o defectos. El autor resalta como principales propósitos de las aplicaciones de la minería de datos en la calidad del producto, el pronóstico de la calidad por medio de herramientas como el SPC (Control Estadístico de la Producción). Así como la optimización de parámetros para poder garantizar siempre la misma garantía del producto, aunque el proceso de fabricación no sea exactamente igual. Y por último, la clasificación del producto, monitoreando las variables de salida del proceso para dictaminar el estado funcional del producto y tener así una acertada detección de defectos.

Otra alternativa para llevar a la industria a una adecuada recolección de información en tiempo real es necesario adoptar tecnologías como el M2M (“machine to machine” por sus siglas en inglés). Se le conoce como M2M a la comunicación automática entre dispositivos, compartiendo información entre sí para monitorear, rastrear y sustentar decisiones con una red autónoma de dispositivos “inteligentes” [46]. Los autores proponen un sistema de monitoreo y gestión de mantenimiento, con un sistema de recolección de información monitoreando señales claves del equipo que permitan visualizar en tiempo real el tiempo muerto, microparos y problemas crónicos para tener un mejor control y respuesta por parte del equipo y personal de mantenimiento al momento de revisar maquinaria.

Por último el almacenamiento en la nube ayuda almacenar de manera segura este conjunto de datos extraídos del proceso. De la misma manera que permite compartir los resultados del análisis en plataformas web al alcance y disposición de múltiples usuarios [61]. Evitando así la instalación y uso de softwares complejos para cada dispositivo de consulta, así como los mantenimientos excesivos para la conservación de la información en las bases de datos convencionales.

Es así cómo los sistemas ciber físicos en conjunto con elementos como la nube y la minería de datos se unen en un mismo propósito, haciendo posible el monitoreo de los sistemas industriales en tiempo real. Para con ello poder extraer información clave del proceso de producción, que facilite la toma de decisiones a nivel directivo y así mejorar los procesos industriales [53].

1.2. Planteamiento del Problema

A pesar de los beneficios que trae la industria 4.0 a la industria manufacturera, que representa un 17 % del PIB, el proceso de adopción en nuestro país no es del todo favorable. Según la International Data Corporation, el 57 % de las empresas mexicanas trabajan a un nivel considerable de digitalización, mientras que otro 41 % menciona que no tiene planes futuros de digitalización, lo que deja ver que este proceso no está avanzando simultáneamente en todas las empresas del país, dejando algunas más rezagadas que otras [30].

El caso de estudio de este proyecto es una empresa perteneciente al sector industrial de fabricantes electrónicos que en la actualidad enfrenta múltiples retos de actualización tecnológica. La mayoría de sus sistemas de información aún se encuentran sustentados por formatos en papel. Lo que representa una desventaja al momento de:

- Obtener información de los procesos
- Consultar registros pasados
- Generar históricos
- Mejoras en el proceso basadas en el análisis de la información.
- Facilitar el acceso a la información
- Tener al alcance la información

Uno de los procesos más críticos con los que cuenta la planta es el armado de tablilla, donde recientemente se ha identificado una disminución del 20 % de la producción promedio diario. Dicho fenómeno se le atribuye principalmente al desgaste de la maquinaria, sin embargo, no se tiene una noción clara de qué factores podrían estar interfiriendo con este resultado. Lo que hace evidente para la empresa empezar apostar por la adopción de nuevas tecnologías producto de la industria 4.0 que le permitan mejorar su situación.

1.3. Objetivo

Desarrollar un sistema de adquisición y monitoreo de efectividad (OEE) con herramientas de la industria 4.0 en la operación restricción de la celda de armado de tablilla que le permita a los directivos de la empresa identificar los principales contribuidores de la baja eficiencia en dicha operación y con ello sustentar una mejor toma de decisiones para mejorar el proceso.

1.3.1. Objetivos Específicos

- Identificar señales a adquirir en el sistema de inserción.
- Seleccionar y configurar dispositivo de adquisición de datos.

- Desarrollo del circuito de acoplamiento de señales eléctricas con requisitos electrónicos de la tarjeta de adquisición de datos.
- Desarrollar programación de monitor de eficiencia en Labview.
- Desarrollar tablero de resultados de producción en PowerBi.
- Realizar pruebas de validación al sistema con los usuarios.
- Capacitar a los usuarios sobre el uso y mantenimiento del sistema desarrollado.

1.4. Hipótesis

Con la ayuda del sistema de monitoreo de la eficiencia de la operación seleccionada, se podrán identificar los principales contribuidores de la baja eficiencia, para con ello de manera conjunta determinar soluciones que reduzcan estos factores, presentando así un mejor resultado de eficiencia en la operación.

1.5. Justificación

“La flexibilidad en la producción debe traducirse en la flexibilidad de los trabajadores“ [47]. Es un hecho que una de las principales metas de la industria 4.0 es la inmersión de la digitalización en la industria. Con el fin de demostrar los beneficios del uso de las herramientas de la industria 4.0 en las industrias manufactureras, el sistema propuesto busca evidenciar el proceso de producción con el que se cuenta por medio del monitoreo de OEE. Equipando así de herramientas sólidas a cada departamento involucrado para la toma de decisiones que contribuyan a mejorar el proceso de manufactura.

De igual manera el sistema propuesto busca imponer el beneficio del manejo de la información por medio de plataformas tecnológicas que ayuden a reducir los errores de captura o posible manipulación de la información. Garantizando así información fidedigna a todos los usuarios y la eliminación de actividades de reporte que en su momento representaban tiempo invertido por parte del personal de producción.

Con este sistema se pretende poner la información de producción al alcance de todos los usuarios involucrados. Con herramientas que les permitan a los usuarios visualizar de una manera gráfica y amigable tendencias e históricos de las variables de interés del proceso. Bajo la comodidad de poder visualizarlo en cualquier dispositivo móvil al alcance.

1.6. Alcances

El sistema propuesto se comprenderá de tres partes, la primera una plataforma de recolección de datos desarrollada en Labview, que estará directamente vinculada con la maquinaria.

Segundo, un servidor de base de datos para almacenar toda la información capturada. Y tercero, tableros electrónicos que visualicen el análisis de los resultados capturados durante el turno. Para con ello poder ejercer una toma de decisiones efectiva por parte del equipo y directivos de la compañía.

La implementación del sistema se realizará en una máquina de auto inserción de componentes electrónicos. Buscando capturar la información necesaria para poder dictaminar acciones claves que contribuyan al mejoramiento de la eficiencia de la operación.

Finalmente se capacitará al personal involucrado en el uso del sistema, así como se entregará un manual de usuario para el uso y configuración del sistema para la futura implementación del sistema en otras áreas de producción.

1.7. Delimitaciones

- El trabajo no se centra en el análisis de la información recabada del proceso.
- El sistema propuesto se implementará solamente en la operación restricción de inserción automática de componentes electrónicos.
- Debido a que la empresa no aceptó trabajar con un medio de almacenamiento de la información en la nube. Se deberá implementar un mantenimiento mensual a la base de datos.
- Tiempos muertos mayores a 10min. No podrán justificarse sin la intervención del usuario.
- Únicamente se podrá tener acceso a los tableros de visualización de resultados bajo la red de la compañía.
- Los usuarios deberán tener una cuenta corporativa en PowerBi para poder acceder a los tableros.

Capítulo 2

Marco Teórico.

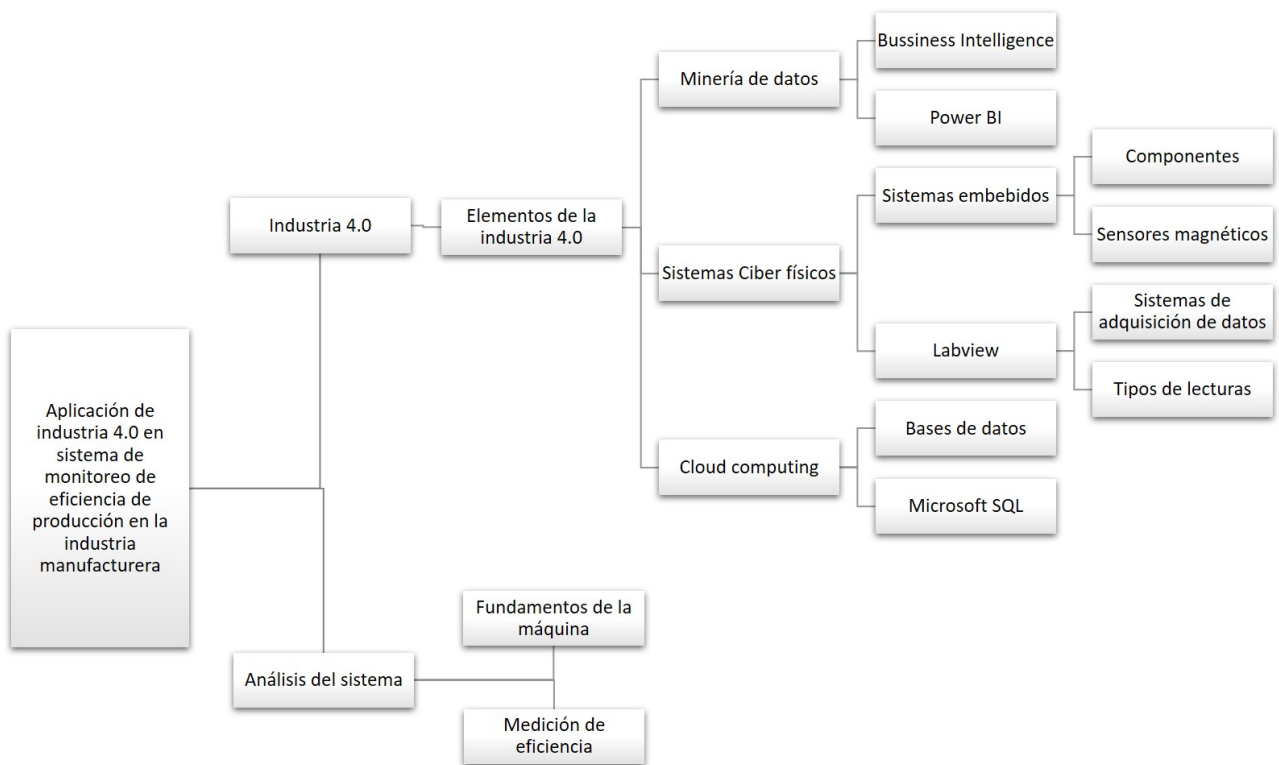


Figura 2.1: Conceptos abordados en el capítulo

A lo largo de la historia, la industria como parte de su evolución ha presenciado cuatro grandes transformaciones: la mecanización, la industrialización, la automatización y finalmente la industria inteligente o industria 4.0 (Frank, et al., 2019).

La primera data entre 1760 y 1840 con la invención de la máquina de vapor como principal fuente de energía para los sistemas motrices de la época. Esta primera transformación marco un impacto al empezar a sustituir ciertos procesos artesanales con los primeros sistemas motrices.

La segunda gran transformación fue dada al remplazar la fuente de energía del vapor por la utilización de la electricidad a finales del siglo XIX. Al mismo tiempo, la inclusión del modelo de producción en masa es considerado parte de esta transformación. La tercera transformación fue marcada en la década de los 60's con la integración de procesos automatizados y las tecnológicas de la información (TIC's) en las industrias [49]. Finalmente, la más reciente, la cuarta transformación conocida como industria 4.0. La cual propone un nuevo modelo, basado en el uso de las tecnologías de la información, de organización y de control de la cadena de valor a través del ciclo de vida del producto y a lo largo de los sistemas de productivos [38].

Este trabajo busca integrar conceptos de la industria 4.0 para el desarrollo de una herramienta que contribuya a la mejora de un proceso en particular de la empresa del caso de estudio. En este capítulo se detallan los conceptos teóricos utilizados para la realización del proyecto. Mismos que se muestran en el diagrama de la Figura 2.1.

2.0.0.1. Industria 4.0.

La industria 4.0 parte del principio de querer vincular a las personas con los productos y la maquinaria formando en conjunto un nuevo sistema de producción. Permitiendo un mejor intercambio fluido de información entre ellos. Hacia un futuro donde las personas colaboraren con robots y estén soportados por sistemas tecnológicos inteligentes que asistan sus actividades de trabajo [23].

Esta iniciativa surge como una transformación de la manera tradicional en que las industrias son manejadas. El término fue adoptado por el gobierno alemán en el "Plan de Acción de Estrategias Tecnológicas rumbo al 2020" establecido en el 2011 [31]. Para más tarde empezar a propagarse por China, Estados Unidos, Brasil, España, entre otros.

La Organización de las Naciones Unidas del Desarrollo Industrial [21] define la industria 4.0 como un nuevo nivel organizacional y de control sobre la cadena de valor, orientado a cumplir con requisitos de los clientes cada vez más personalizados. Teniendo como base la habilidad de obtener información relevante de todas las instancias relacionadas con la cadena de valor del producto. Llegando a una transición a redes inteligentes, que permitan procesos dinámicos de reingeniería y brinden la capacidad de responder con flexibilidad a las interrupciones y fallas [60]. Generando mejoras a los procesos industriales y beneficiando a las áreas involucradas como manufactura, ingeniería, logística y la cadena de suministros [27].

La conexión entre personal, maquinaria y sistemas crea conexiones dinámicas y autoorganizadas, optimizadas en tiempo real dentro y entre las empresas. Estos se pueden optimizar de acuerdo con diferentes criterios, como los costos, la disponibilidad y el consumo de recursos [21]. Su principal idea es explotar el potencial de las nuevas tecnologías emergentes con conceptos como: el uso de internet y IOT como medio de comunicación, la integración de los procesos técnicos y los procesos de negocio en las empresas y el mapeo digital y la virtualización del mundo real [51].

Roblek, et al., [50] señala que la industria 4.0 representa el progreso en tres puntos en especial. El primero la digitalización de la producción, implementando sistemas de información

para la correcta administración de los procesos de producción y planeación. El segundo: la automatización, que si bien no es tema nuevo, sí representa un cambio al buscar implementar sistemas de adquisición de datos para los equipos y líneas de producción. Y finalmente el tercer punto, el reforzar un vínculo con la manufactura de la empresa y el personal ejecutivo.

Wang, et al., [59] identifica 7 beneficios que brinda la implementación de la industria 4.0 para la manufactura:

1. Flexibilidad. Los dispositivos y equipos gobernados por las tecnologías propuestas por la industria 4.0 cuentan con la facilidad de reconfigurarse automáticamente para producir múltiples tipos de productos. Lo que ayuda a hacer frente al mercado en constante cambio y a las exigentes demandas de consumo.
2. Productividad. Facilidad de poder producir diferentes productos de lotes pequeños de manera más eficiente. Por un lado, el tiempo de configuración se minimiza al reducir los cambios de modelos y por otro lado, a medida que el proceso de producción se optimiza con la ayuda de la retroalimentación y coordinación de big data, las rutas de fabricación promedio se reducen y se mejora la tasa de utilización de máquinas y otros recursos.
3. Recursos y eficiencia energética. Con base en el análisis de big data, podemos establecer un conocimiento preciso del proceso de producción y el sistema de garantía con un nivel estable de calidad del producto y la tasa de productos terminados. Por lo tanto, las materias primas necesarias se pueden determinar antes de la producción y se puede minimizar la redundancia del producto. Además, se adoptan nuevas medidas que incluyen el ahorro de energía durante los descansos y el uso de nuevas tecnologías.
4. Transparencia. Con base en el análisis de big data, podemos cuantificar los indicadores de rendimiento relacionados con máquinas, productos y sistemas. Permitiendo la toma de decisiones precisas y efectivas más rápidamente.
5. Integración. La integración vertical de los subsistemas jerárquicos con la industria 4.0 conduce las empresas a través de redes de valor y la integración digital de ingeniería de extremo a extremo. Sobre la base de esta red de colaboración global, los clientes, las actividades de diseño, la fabricación y la logística pueden interactuar por encima de la nube. Lo que genera un paradigma de producción sostenible, que también tiene un profundo impacto en el estilo de vida, la cultura y la organización social.
6. Rentable. A pesar de la inversión inicial que representa el adoptar las nuevas tecnologías propuestas por la industria 4.0. Dicha inversión es recuperable comparándola con la cantidad de ahorros reflejados en el aumento de la productividad y eficiencia de sus procesos.
7. Amigable con el personal. Las máquinas funcionan automáticamente por sí mismas para que ningún trabajador necesite realizar tareas de rutina. Con la asistencia de análisis de big data, potentes herramientas de software y medidas de interfáz más amigables y flexibles, el mantenimiento y el diagnóstico se vuelven mucho más fáciles.

La innovación, toma un valor central en el camino hacia el nuevo paradigma de la industria 4.0 en cualquiera de sus tres grandes vías: la innovación interna, a través del intraemprendimiento, la innovación abierta en cooperación, y la innovación externa en colaboración con empresas tecnológicas, benchmarks y startups, creando nuevas cadenas de valor con más espacio para nuevos jugadores [24].

Lo que promueve este cambio de paradigma es exigir formar nuevos profesionales de la industria con una visión transversal, alto nivel tecnológico y nuevas competencias que les permitan desenvolverse con éxito [24].

2.0.1. Elementos de la industria 4.0.

Hoy en día la industria es considerada una nueva era de la industrialización basada en plataformas de conectividad [9]. Dicha conectividad es lograda gracias a las nuevas tecnologías emergentes a raíz de la aparición de la industria 4.0.

La Industria 4.0 se caracteriza por el uso de la automatización y la digitalización en los procesos altamente desarrollados, así como el uso de la electrónica y las tecnologías de la información. La integración y el análisis en tiempo real de datos optimizan los recursos utilizados en producción, logrando así un mejor rendimiento de los procesos [35]. Se engloba en una combinación de tecnologías aplicadas en los procesos industriales de la actualidad.

Zhong, et al. [62] identifican cinco tecnologías clave de la industria 4.0 la Figura 2.2 describe cada uno de ellos.



Figura 2.2: Elementos de la industria 4.0

2.0.1.1. Minería de datos

La industria 4.0 ha permitido ampliar la información obtenida de los procesos. Con el big data, los volúmenes de información que actualmente se manejan pueden ser mayores a los terabytes. Sin embargo recolectar tanta información deja de ser útil si no se tiene un fin, en este caso un análisis de la información que pueda ser traducido a resultados, tendencias o predicciones.

La minería de datos puede definirse como el proceso de descubrir relaciones significativas o patrones al examinar grandes cantidades de datos [42]. Para ello se emplean técnicas de minería de datos que persiguen el descubrimiento del conocimiento contenido en la información almacenada de modo ordenado en bases de datos.

La minería de datos es considerada un paso del proceso de extracción de conocimiento a partir de datos. Este proceso conlleva las etapas descritas en la Figura 2.4. según Jian & Kamber [25], importantes para poder efectuar la minería de datos:

Utilizando tecnologías de reconocimiento de patrones, redes neuronales, lógica difusa, algoritmos genéticos, estadística, entre otras técnicas de análisis de datos la minería de datos contribuye en la extracción del conocimiento. Asencios [5] clasifica las herramientas empleadas en la extracción del conocimiento en dos grupos: las técnicas de verificación, en las que el sistema se limita a comprobar hipótesis suministradas por el usuario; y los métodos de descubrimiento, en los que se han de encontrar patrones potencialmente interesantes de forma automática, incluyendo en este grupo todas las técnicas de predicción.

Los árboles de decisión y las bases de reglas se interpretan muy fácilmente, pero se sustentan en un nivel de decisión "duro": si-no. Adoleciendo así de una fineza predictiva. Por otro lado, las evaluaciones por puntuación, lineales o con funciones logísticas son un poco más sofisticadas pero como sólo adicionan resultados no se recomienda utilizarlas para relaciones multivariantes. Para obtener un nivel más predictivo se hace uso de las redes neuronales, quienes tienen la virtud de adaptarse a valores indefinidos o incluso inexistentes [5].

2.0.1.1.1. Business Intelligence

Recientemente, las empresas han recurrido progresivamente a soluciones de software progresivas para hacer frente a las cargas de trabajo, garantizar la rentabilidad y mantener la ventaja competitiva dentro de sus propios negocios. Aunque hay varias opciones abiertas, las herramientas de Business-Intelligence y Business-Analytics son las soluciones de gestión de datos más ampliamente utilizadas [13].

Los servicios BI ("Business Intelligence", por sus siglas en inglés) van enfocados al uso de datos en una empresa para facilitar la toma de decisiones, teniendo como características comunes la accesibilidad a la información y la orientación al usuario final [52]. La palabra se refiere a tecnologías, usos y prácticas para la recopilación, integración, análisis y presentación de la información de la empresa. Teniendo como principal objetivo es mantener el criterio empresarial basado en datos [13].

La implementación de estos sistemas de información proporciona diversos beneficios para las empresas, dentro de los que el autor enumera [11]

- Crear un vínculo virtuoso de información

- Permiten una visión única, histórica, persistente y de calidad de toda la información.
- La posibilidad de crear y gestionar métricos o indicadores clave de la empresa.
- Contar con información actualizada
- Mejorar la competitividad del negocio.

2.0.1.1.2. PowerBi PowerBi herramienta introducida en el 2015 por Microsoft como una herramienta evolutiva de PowerPivot [17] es uno de los softwares BI más utilizados por las empresas. Permite muchas otras aplicaciones que pueden ser útiles para la elaboración de de informes, destacando su gran versatilidad: todo tipo de gráficas, capacidad de importar otro tipo de visualizaciones, análisis de KPI (“Key Performance Indicator“, por sus siglas en inglés) para valorar los cumplimientos de objetivos [52], además de su versátil manera de vincularse con diferentes fuentes de almacenamiento de información como MySQL, Microsoft SQL, archivos de texto u hojas de datos.

Además, al ser servicios BI basados en sistemas de almacenamiento de datos tipo “nube“, el informe publicado puede ser visualizado por muchos usuarios sin que esto afecte al rendimiento de la página y a su vez visualizado en diferentes tipos de dispositivos como computadoras o dispositivos móviles [52].



Figura 2.3: Elementos de un Bussiness Intelligence System

2.0.1.2. Sistemas Ciber físicos

La industria 4.0 dentro de la evolución que propone para las industrias manufactureras, se encuentra la adopción de elementos clave para constituir el concepto de industria inteligente. Uno de estos elementos de la industria 4.0 son los sistemas ciber físicos (CPS, por sus siglas en inglés) los cuales son sistemas capaces de adquirir datos, procesar información, controlar tareas e interactuar con las personas a través de interfáces tecnológicas [7]. Esto es mediante una

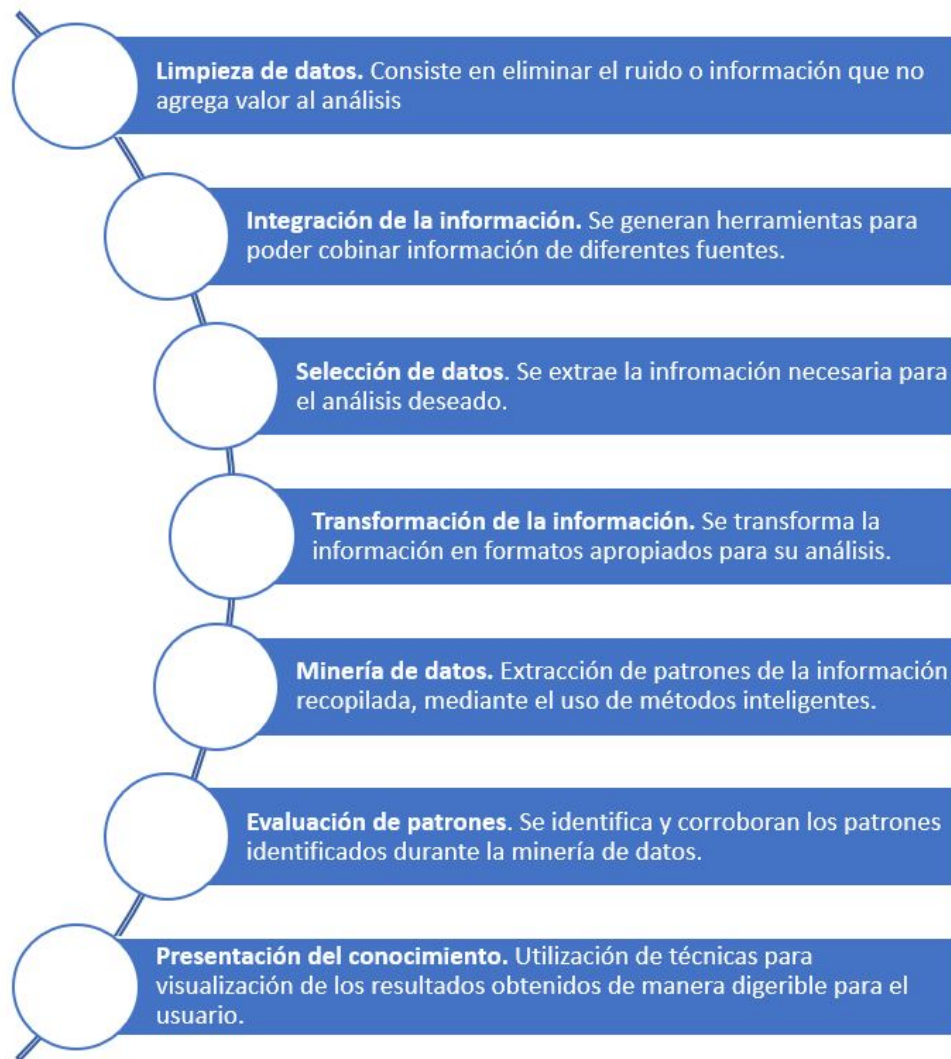


Figura 2.4: Etapas de la extracción del conocimiento de la información

interacción continua entre herramientas computacionales y los sistemas industriales operando de manera retroalimentada en tiempo real [48] y habilitando el procesamiento y el acceso a la información recopilada a través del internet [32].

Los sistemas ciber físicos cuentan con múltiples aplicaciones dentro del sector industrial como la predicción de mantenimientos, la gestión de herramientas y refacciones en centros de maquinados, el control de inventarios y el monitoreo de la eficiencia de los procesos. Teniendo un diferentes áreas de aplicación en sectores clave como el aeroespacial, automotriz, químico, energía y transporte [32].

Si bien son varios los componentes de una aplicación de industria 4.0, Foit, et al. [18] clasifica los sistemas ciber físicos en una arquitectura de 5 niveles como se muestra en la Figura 2.5. Donde cada componente es distribuido de manera jerárquica. Por ejemplo, en la base se sitúan los sensores y medios físicos conectados al sistema para generar la recolección de datos. En el segundo nivel se encuentran los sistemas computacionales utilizados para la captura y

procesamiento de los datos del sistema. El tercer nivel alberga el modelo virtual sobre el que el sistema será analizado, mientras que el cuarto se encarga de presentar de la información ya procesada. Y finalmente el quinto nivel es la retroalimentación por parte del usuario hacia el sistema en base a los resultados capturados.

Para el diseño de un sistema ciber físico es importante cumplir con las siguientes características: debe ser descentralizado, es decir los elementos del CPS deben ser autónomos únicamente cuestiones como fallas o decisiones complejas manejarlas en un alto nivel. Deben tener la capacidad de adquirir la información en tiempo real. Se debe buscar que sean modulares, para hacer remplazos sencillos e incrementar o disminuir el tamaño del sistema de manera sencilla. Los CPS deben interactuar con un medio virtual. Y finalmente ser estandarizados para garantizar su interoperabilidad en el sistema [41].

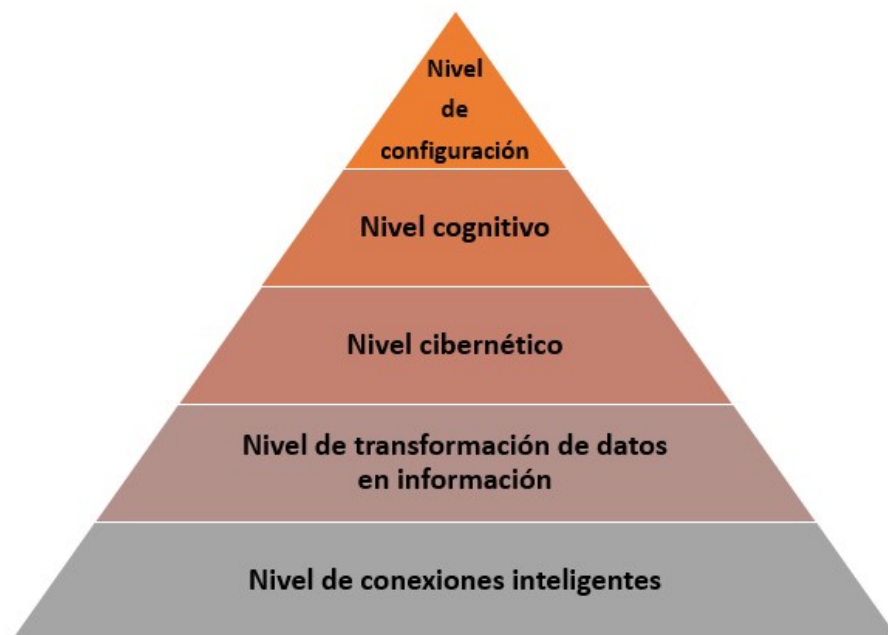


Figura 2.5: Arquitectura 5C de sistemas ciber físicos

2.0.1.2.1. Sistemas Embebidos Los procesos industriales constan de nuevas técnicas de control avanzado que contienen muchas operaciones matemáticas las cuales no pueden ser manejadas por un controlador convencional como un PLC, pero si por un dispositivo electrónico que permita la programación en diversas plataformas y que permita obtener datos en tiempo real, transformando un proceso controlado bajo la industria 3.0 a uno controlado por la 4.0. Para esto se utilizan los sistemas embebidos que son la combinación de hardware y software similares a una computadora, pero con la diferencia que se encuentran en una sola tarjeta [2].

Salas [4], define los sistemas embebidos como todo circuito electrónico capaz de realizar operaciones de computación en tiempo real, que sirvan para una tarea específica en un producto. Dentro de las aplicaciones industriales ejemplo se encuentran sistemas de monitoreo, sistemas de medición, sistemas de prensado automático, sistemas de atornillado, entre otros [2].

La arquitectura de un sistema embebido esta compuesta por un microprocesador, capaz de ejecutar tareas a un determinada velocidad controlada por una velocidad de reloj; una unidad de memoria o almacenamiento, dónde las instrucciones del procesar podrán ser almacenadas de manera temporal o permanente y periféricos o unidades de entradas y salidas que son los encargados de interactuar con los sistemas externos [4].

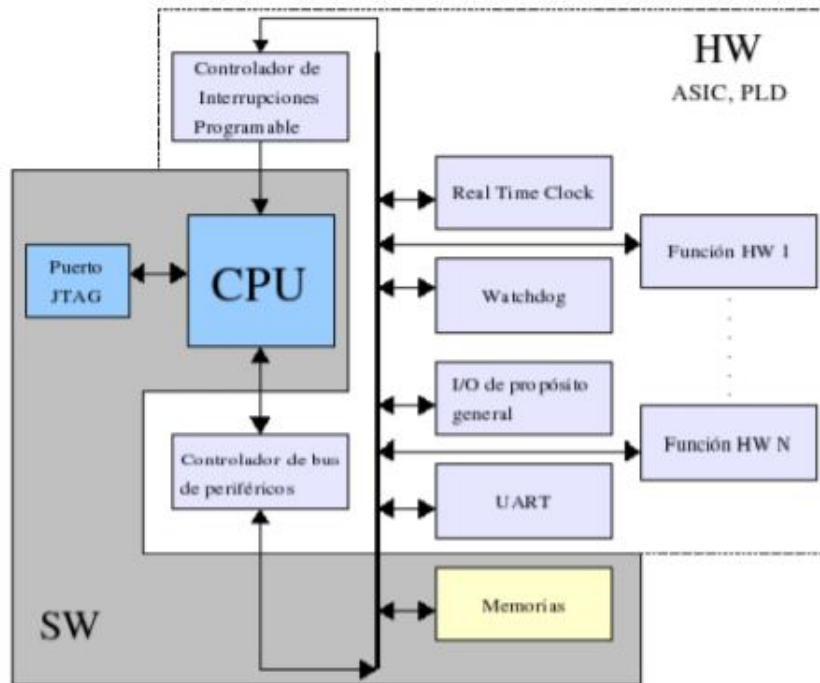


Figura 2.6: Arquitectura de un sistema embebido

Una de las aplicaciones de los sistemas embebidos es la adquisición de datos (DAQ), el cual es un proceso encargado de medir parámetros físicos reales de variables como voltaje, corriente, temperatura, flujo, nivel, posición, etc. Dicha información se ingresa a la computadora para su posterior análisis y procesamiento con el fin de obtener una salida de información [45].

Para realizar el proceso de adquisición de datos se requiere el uso de un sensor o transductor, el cual proporciona señales eléctricas proporcionales a la magnitud física de la variable a medir. El método básico para realizar la manipulación de los datos incluye el uso de tarjetas de adquisición (DAQ boards).

2.0.1.2.2. Componentes Los componentes fundamentales de un sistema embebido son: la arquitectura de hardware subyacente, los dispositivos de acceso (fundamentalmente sensores) y el software de control, en general un sistema operativo de tiempo real de altas prestaciones y optimizado para funcionar en sistemas de tiempos óptimos de respuesta, bajo consumo y alta

fiabilidad [54].

Existen varias alternativas para la implementación de un sistema embebido: dispositivos lógicos programables (FPGAs, CPLDs), sistema sobre silicio (SoC), micro-controlador, micro-procesador, SoC + FPGA y ASIC; su utilización está determinada por el cumplimiento de restricciones temporales, funcionales y económicas. L

Hardware El término hardware en cualquier sistema se refiere a los componentes físicos que lo forman o constituyen; estos componentes permiten realizar un conjunto de tareas al ejecutar programas o software [8].

Dispositivos de acceso

Se le conoce como dispositivos de acceso a todos los periféricos del sistema encargados de recopilar o ejecutar acciones o eventos en un sistema, ambos basados en el principio de transducción. Un transductor es conocido como un dispositivo capaz de convertir una variable física en otra que tiene un dominio (unidad) diferente [47].

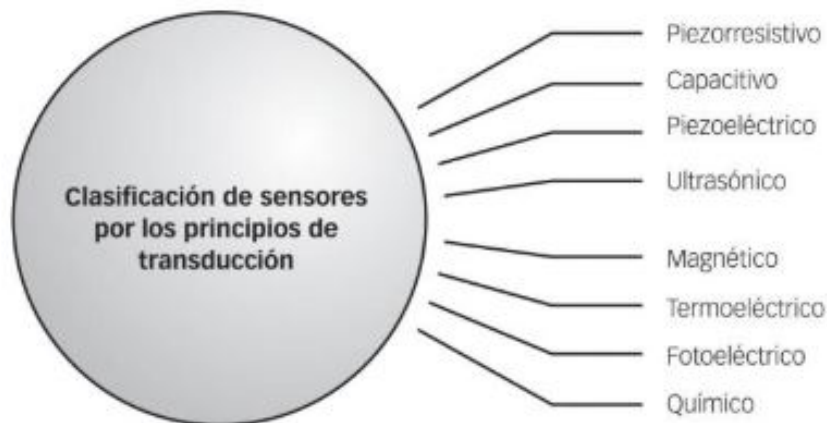


Figura 2.7: Clasificación de sensores

Software de control El software se utiliza para controlar los productos electrónicos y usualmente se ejecuta sobre un microprocesador interno, un microcontrolador, un procesador digital de señal (DSP), una compuerta programable en campo (FPGA), un controlador lógico programable (PLC) y a veces en una PC de propósitos generales adaptada para fines específicos [55]

En el software embebido se pueden distinguir diferentes categorías: El original o básico, indispensable para el funcionamiento del aparato, el cual constituye su sistema operativo ad-hoc; el lenguaje de programación de bajo nivel, como ensamblador que se maneja por registros asemejando la lógica utilizada por las computadoras; y el lenguaje de alto nivel como el C++,

Java, PHP, Python, entre otros.

Labview (“Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench“, por su acrónimo en inglés) es un lenguaje de programación de entorno gráfico en el que se pueden crear aplicaciones de una forma rápida y sencilla. El software como tal es capaz de realizar simulaciones, captura y analizar datos y crear animaciones [15]. Además de contar con una amplia variedad de librerías que lo hace compatible con muchos de los productos y marcas del mercado.

Labview es desarrollado por la compañía norteamericana National Instruments, con su base central en Austin, Texas. La primer versión comercial de este programa salió al mercado en 1986 con su primera versión Labview 1.0 [56].

La programación utilizada en Labview es considerada una programación en capas de software y hardware [15]. A diferencia de los lenguajes de programación en código, labview al ser gráfico utiliza cables para marcar secuencias y jerarquía de la información o variables. El flujo de datos dictamina el orden de ejecución de las funciones programadas en el diagrama de bloques [6]. Por lo general el flujo de datos suele considerarse de izquierda a derecha sin embargo depende de las técnicas utilizadas, lo que en ocasiones puede resultar complicada la programación o el entendimiento del programa por un tercero.

Los programas o rutinas, son llamados VI (virtual instruments, por sus siglas en inglés) los cuales se componen de tres partes esenciales: diagrama de bloques, en el se genera todo el código de la programación, se agregan estructuras y funciones que permiten desarrollar las tareas deseadas; panel frontal, es el equivalente a la interfáz de usuario, en el se despliegan los resultados de los indicadores y se manipulan las entradas mediante los controles; y finalmente los conectores, que sirven para compartir o transmitir datos entre programas [6].

Así como las librerías, Labview cuenta con extensiones o programas que sirven como complementos para las funciones que el software ofrece, uno de dichas extensiones es el NI MAX. NI MAX fue una herramienta desarrollada para la listar, configurar y probar dispositivos periféricos que deseen vincularse con Labview [56]. Por default tiene un aspecto muy similar al administrador de dispositivos de windows, en el árbol de la izquierda como se muestra en la Figura 2.8. Cada que un dispositivo sea conectado a la computadora se deberá ver reflejado sobre dicho menú. En algunas ocasiones de no aparecer será necesario buscar el driver en la sección de recursos de la página de NI [14].

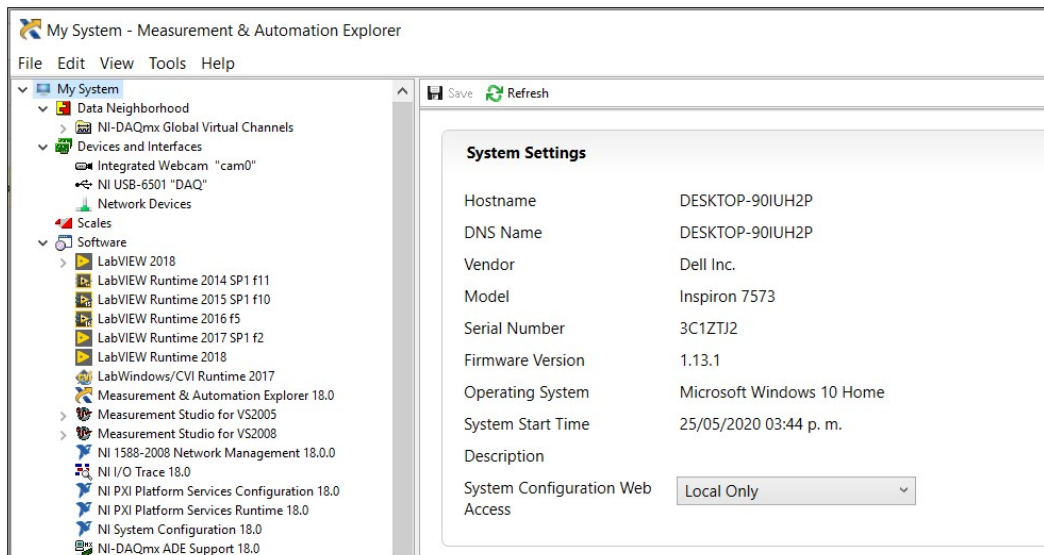


Figura 2.8: Ventana principal de NI MAX

Al iniciar una aplicación de adquisición de datos es recomendable utilizar la herramienta de NI MAX para probar el funcionamiento del dispositivo previo a su utilización.

2.0.1.2.3. Sistema de adquisición de datos

Las tarjetas de adquisición son la base de la instrumentación virtual, ya que mediante su uso se realiza la comunicación de parámetros físicos del mundo real con la computadora lo cual permite interactuar físicamente con señales tanto virtuales como reales. Las tarjetas de adquisición pueden adquirir o generar señales de acuerdo a su funcionalidad y características comerciales [45]. Dentro de sus principales características identificadas por Perez, 2012 [43] en los siguientes[12]:

- Funcionamiento específico.
- Fuertes limitaciones
- Reactivos y tiempo real.

Para la correcta adquisición de señales, Vizcaino [56] sugiere los siguientes pasos a seguir señalados en la Figura 2.9 y descritos más adelante.



Figura 2.9: Pasos para la adquisición de señales

1. Se crea la tarea o el canal a utilizar. En el caso específico de este proyecto al utilizar 6 señales utilizaremos los primeros 6 bits digitales de la tarjeta.
2. Configurar tiempo de adquisición. En este caso se configuró en modo continuo es decir que siempre va estar teniendo la facultad de adquirir las señales sin depender en su totalidad del trigger. Para fines prácticos este subvi se ejecuta cada 1000ms
3. Configurar el trigger.
4. Escribir o leer datos. En el caso de la aplicación únicamente lee los datos correspondientes a las señales de interés.
5. Limpiar canal.

Labview cuenta con dos librerías destinadas a las funciones específicas de las DAQs. Por una parte se encuentra el DAQ Assistant en la librería de Express, que es una especie de asistente guiado para crear, configurar y ejecutar tareas con la DAQ [56]. Al colocarlo sobre el panel de control solo basta con darle click y se ejecutará de manera automática el asistente

que guía al usuario durante la configuración del dispositivo. Por otro lado Labview cuenta con una librería especial para la programación y configuración de las DAQs, dicha librería es la de DAQmx. La diferencia entre las herramientas que brinda esta librería contra el DAQ assistant es que se puede tener un mejor control de la forma de ejecución de cada tarea, así como llevar la programación a un nivel más específico. La Figura 2.10 contrasta la manera básica de configurar una DAQ con ambas formas.

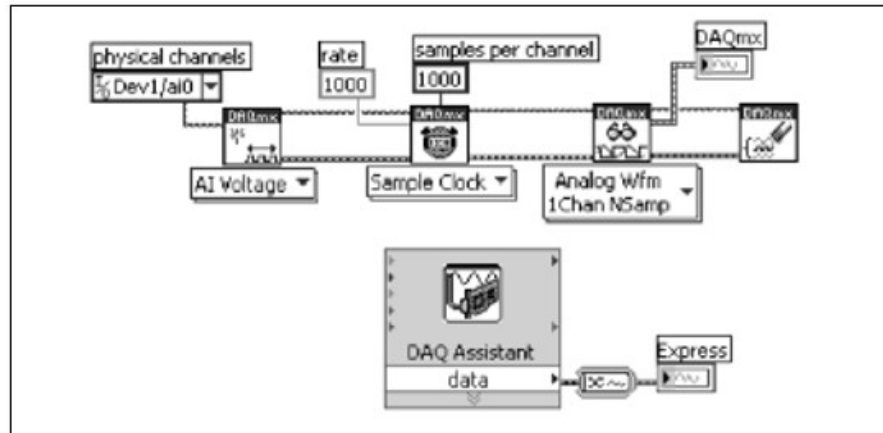


Figura 2.10: Alternativas en el diagrama de bloques para programación de DAQ

2.0.1.3. Cloud Computing

Como parte de las propuestas tecnológicas de la industria 4.0, el Cloud Computing, o computación en la nube, es un modelo computacional que permite a proveedores tecnológicos ofrecer servicios informáticos a través del servicio de internet. Esta prestación de servicios permite al cliente el acceso bajo demanda y a través de la red a un conjunto de recursos compartidos y configurables que pueden ser rápidamente asignados y liberados con una mínima gestión por parte del proveedor y cliente. Permite acceder a los servicios y recursos contratados proporcionando flexibilidad de dimensionamiento y acceso. Le brinda la ventaja al cliente de ahorrarse la inversión de la infraestructura tecnológica, ya que simplemente se requiere un navegador web con conexión a la red para tener acceso a los procesos o a la información [36].

Armbrust [3] considera que desde el punto de vista del aprovechamiento del hardware y el precio, la nube generó tres aspectos. Primero, la aparición de recursos informáticos infinitos disponibles bajo demanda, lo suficientemente rápido como para seguir los aumentos de carga, eliminando así la necesidad de que los usuarios de la nube planifiquen con mucha anticipación el suministro. Segundo, la eliminación de un compromiso inicial por parte de los usuarios de la nube, lo que permite a las empresas comenzar con poco y aumentar los recursos de hardware solo cuando hay un aumento en sus necesidades. Y tercero, la capacidad de pagar por el uso de recursos informáticos a corto plazo según sea necesario, recompensando así la conservación al dejar que el almacenamiento se termine cuando no ya no es útil.

2.0.1.3.1. Bases de datos

La base de los sistemas de almacenamiento de información en la nube provienen del uso de sistemas de bases de datos. Dónde físicamente la información es almacenada en un equipo de almacenamiento. Este tipo de herramientas siguen vigentes en la actualidad pues no todas las compañías cuentan con los recursos suficientes para pagar el almacenamiento de su información en una plataforma en la nube. Sin embargo existe gran controversia entre ambos sistemas pues el mantener una base de datos funcional conlleva ciertos gastos de mantenimiento que la empresa debe también considerar.

Un sistema de base de datos, también llamado sistema de gestión de bases de datos (DBMS), consiste en una colección de datos interrelacionados, conocidos como bases de datos, y un conjunto de programas de software para administrar y acceder a los datos. Los programas de software proporcionan mecanismos para definir estructuras de bases de datos y almacenamiento de datos; para especificar y gestionar el acceso a datos concurrentes, compartidos o distribuidos; y para garantizar la coherencia y la seguridad de la información almacenada a pesar de fallas del sistema o intentos de acceso no autorizado [25].

2.0.1.3.2. Microsoft SQL SQL Server es un sistema de bases de datos desarrollado por Microsoft. Contiene una variedad de características y herramientas que se pueden utilizar para desarrollar y administrar bases de datos y soluciones basadas en ellas. Las versiones recientes desarrollaron una extensión para el análisis y reporte de datos [44].

Una base de datos relacional es una colección de tablas. Gabillaud [20] en su libro define a una tabla como una estructura lógica utilizada para el almacenamiento de datos. Cada tabla consta de un conjunto de atributos (columnas o campos) y generalmente almacena un gran conjunto de renglones (registros o filas). Para permitir una buena organización de la información cada columna es identificada con un nombre y tipo de dato [20]. En la 2.1 se identifican los principales tipos de datos definidos en SQL. De requerir algo más personalizado es necesario desarrollar una estructura denominada dominio [16].

Tipo de dato	Descripción
BIT	Cadena de bits de longitud fija.
BIT VARYING	Cadena de bits de longitud variable.
CHARACTER	Cadena de caracteres de longitud fija.
CHARACTER VARYING	Cadena de caracteres de longitud variable.
NUMERIC	Número decimal.
DECIMAL	Número decimal con precisión y escala definidos.
INTERGER	Número entero.
SMALLINT	Número entero pequeño.
REAL	Número con coma flotante con precisión predefinida.
FLOAT	Número con coma flotante con precisión especificada.
DOUBLE PRECISION	Número con coma flotante con más precisión predefinida que la de tipo REAL.
DATE	Fecha (compuesta por año, mes y día).
TIME	Hora (compuesta por hora, minutos y segundos).
TIMESTAMP	Fecha y hora (compuesta por año, mes, día, hora, minutos y segundos).

Tabla 2.1: Tipos de datos predefinidos

Cada registro en una tabla relacional representa un objeto identificado por una clave única y descrito por un conjunto de valores de atributo [25]. Al realizar un consulta se realiza un barrido para cada uno de los registros de la tabla, para eficientizar este proceso se establecen claves primarias, que son columnas con valores únicos e irrepetibles que sirven para identificar los renglones en la tabla, de esta manera las búsquedas resultan más sencillas [16].

La esencia de un sistema de administración de bases de datos son las operaciones que permite en los datos que está diseñado para contener. Todas las operaciones en una base de datos SQL se realizan en el contexto de una transacción [GR93] que proporciona la atomicidad de grupos de operaciones. SQL proporciona cuatro clases principales de operación y de manipulación de datos: seleccionar, ayudar a busca datos dentro de un patron de búsqueda específico y delimitado; insertar, agrega registros (renglones) nuevos de información en la tabla; actualizar, modifica la información contenida en una o varias celdas especificadas de la tabla y eliminar, que borra registros de la tabla [37].

Microsoft SQL Server al ser uno de los sistemas de bases de datos mas utilizados, cuenta con diferentes complementos para poder ser vinculado con otras plataformas de desarrollo, una de ellas Labview. Labview dentro de su amplia gama de extensiones y librerías cuenta con una dedicada exclusivamente a las bases de datos "Labview Database Connectivity Toolkit" (véase Figura 2.11. Esta herramienta es utilizada para para crear una conexión desde Labview a la base de datos y poder realizar toda clase de operaciones en ella. Ofrece una gama completa de funciones como consultar, insertar, eliminar y actualizar registros en la base de datos [34].

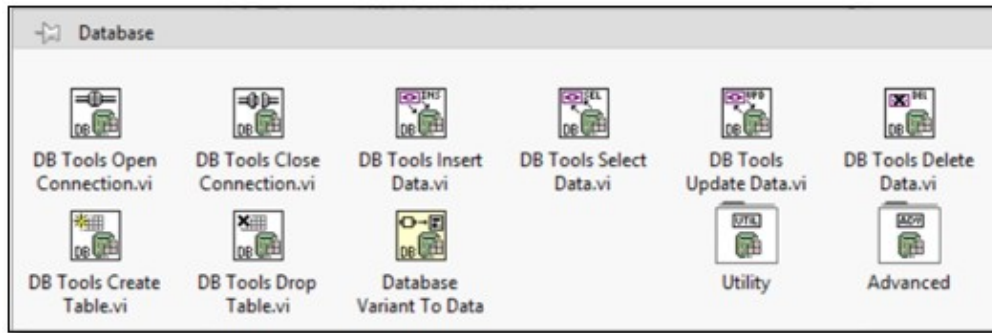


Figura 2.11: Librería de bases de datos en Labview

2.1. Análisis del sistema

La empresa con la que se vincula esta investigación cuenta con más de 25 años en el mercado. A pesar de ser una empresa pequeña esta bien posicionada en el mercado y cuenta con un factor de seguridad en el mercado alto; debido a que los productos que desarrolla son equipo de seguridad para el hogar que en países como: Estados Unidos, Canadá, Australia son reglamentarios.

Una de las fortalezas de esta compañía es que, a pesar de trabajar con productos relativamente pequeños, el 90 % de los componentes del producto es de fabricación propia, dejando solo un 10 % a la proveeduría de materia prima. En la Figura 2.12, se puede visualizar el proceso de la cadena de valor de la producción donde se resaltan los principales procesos para la fabricación del producto.

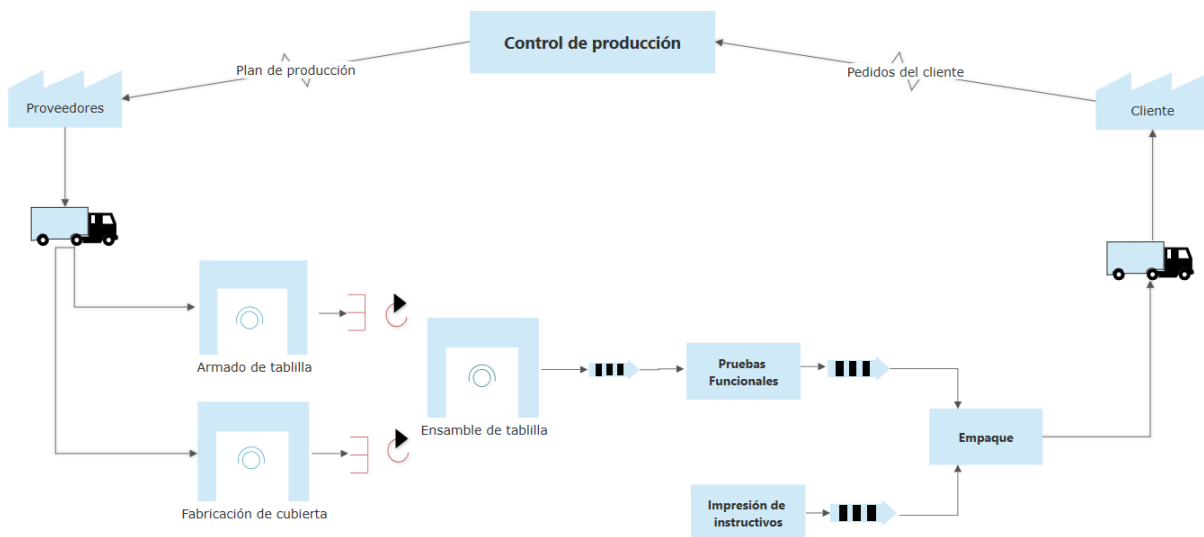


Figura 2.12: Cadena de valor de la fabricación de alarmas de humo

Este trabajo se concentra principalmente en el proceso de armado de tablilla. Este proceso fue seleccionado debido a que es esencial para fabricación del producto, además de ser uno de

los procesos con mayor área de oportunidad en cuanto a la productividad.

El proceso de armado de tablilla es una celda de trabajo conformada por 4 procesos: la inserción de componentes electrónicos, el proceso de soldadura, la prueba de continuidad y el corte de tablillas, como se muestra en la Figura 2.13. La inserción de componentes es considerada el proceso crítico de esta celda, pues una mala inserción repercute directamente en la calidad y funcionalidad del producto final. Dicho proceso de inserción esta constituido por 6 máquinas de inserción automática las cuales fueron seleccionadas para realizar el ejercicio de este trabajo.

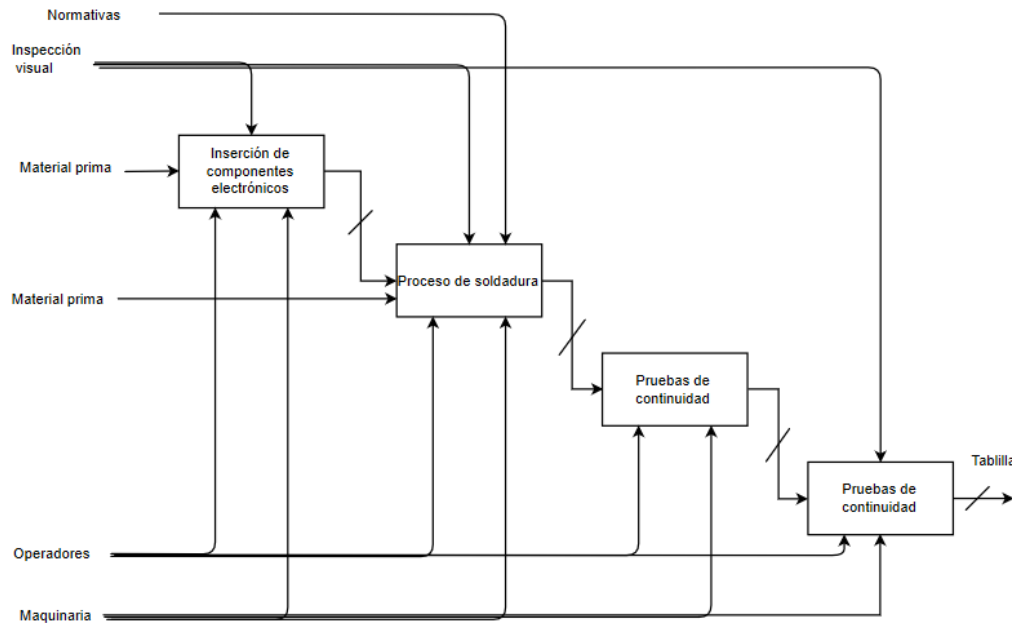


Figura 2.13: IDEF 0, proceso de armado de tablilla

En la actualidad esta celda tiene la capacidad de producir 2320 piezas por hora de acuerdo con el tiempo de ciclo de la operación restricción. Sin embargo, el promedio diario de producción es de 1800 piezas. Con el sistema a implementar se busca medir la eficiencia de la celda, OEE (Overall Equipment Efficiency, por sus siglas en inglés), para basado en tres factores: disponibilidad, desempeño y calidad, encontrar la causa de que la línea no este siendo utilizada al 100 %.

El equipo sobre el que se implementó el sistema de monitoreo de eficiencia es una máquina de inserción de componentes electrónicos. Este equipo manufacturado por la empresa Universal, tiene la capacidad de insertar 56 componentes por ciclo. A una velocidad promedio de 0.2s por componente.

2.1.1. Fundamentos de la máquina

La máquina seleccionada es una RADIAL construida por UNIVERSAL. Su funcionamiento busca asemejar el proceso de armado de tablillas electrónicas de conformada por componentes

"through hole" de una manera automática.

Dicha máquina se conforma por tres componentes principales: la cadena principal, el cabezal de inserción y el plato de localización.

La cadena principal se encarga de alimentar y acomodar componente por componente en el orden adecuado, respetando una secuencia de inserción previamente configurada. Dicha cadena es un mecanismo casado a los compartimientos que surten el material electrónico, de manera que en cada giro la cadena se va alimentando de un componente nuevo en ella para poder transferirlo hasta el cabezal principal, encargado de realizar la inserción.

La máquina cuenta con 32 compartimientos para cargar componentes electrónicos. Por lo general suele utilizarse varios compartimientos de un mismo componente para extender así el tiempo de cargado de material.

Por otro lado el cabezal de inserción es una especie de prensa que al detectar un nuevo componente lo inserta en la tablilla. Dicho cabezal cuenta con un dado en la parte inferior que sirve para doblar y recortar las terminales de cada componente. Lo que asegura que en procesos subsecuentes no se corra el riesgo de perder algún componente previamente insertado. Además de beneficiar en la estabilidad del proceso de soldado.

Por último dado que la ubicación del cabezal de inserción es fija el plato de localización, constituido por un sistema cartesiano, se encarga de alinear la tablilla con el componente para una adecuada inserción, moviendo a lo largo del eje "x" y "y".
La Figura 3.3 señala la ubicación en la máquina de estos tres componentes.

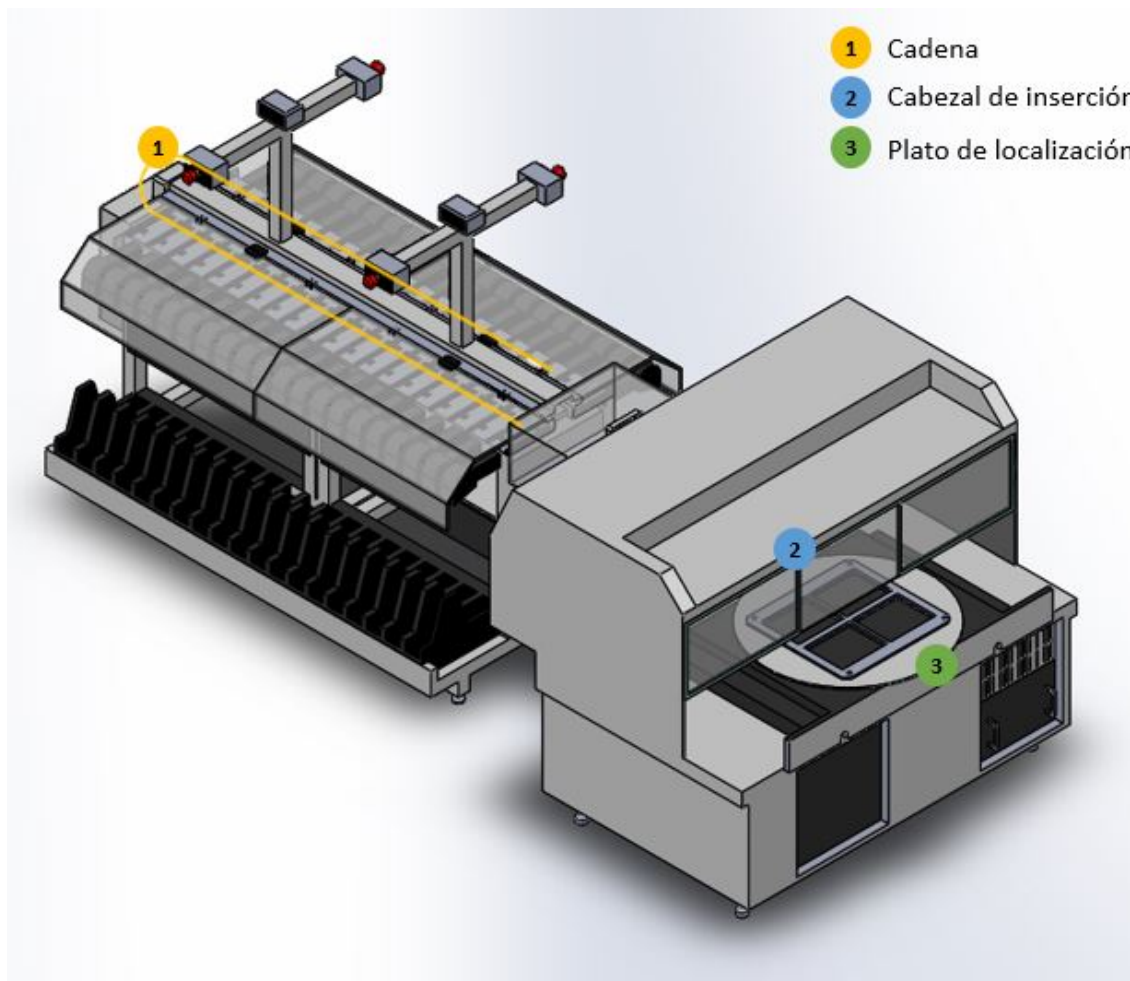


Figura 2.14: Localización de componentes principales del equipo.

2.1.2. Medición de eficiencia

El indicador OEE propuesto por Nakajima, tiene como objetivo medir la efectividad productiva de los equipos y reducir sus pérdidas a lo más próximo de cero [12]. El rol del OEE va más allá de solo monitorear, controlar y llevar la cuenta de las iniciativas de mejora del equipo. El OEE previene la suboptimización individual de las máquinas o líneas productivas, entregando un método sistemático de estabilización de objetivos de producción e incorpora herramientas y técnicas prácticas de gestión.

El resultado al usar la herramienta OEE muestra qué tan bien la empresa está utilizando sus recursos, que incluyen el equipo, el trabajo y la habilidad de satisfacer a sus clientes de la calidad especificada [39].

Dentro de las ventajas que ofrece están:

- Retorno de inversión (ROI): las empresas realizan grandes inversiones en maquinaria y necesitan obtener el máximo retorno de su inversión en el menor tiempo posible. El

sistema OEE persigue obtener la máxima productividad posible de estos procesos y el retorno de inversión desde su implantación es elevado.

- **Competitividad:** es fundamental disminuir las pérdidas productivas y conseguir una mayor competitividad.
- **Saca el máximo rendimiento a la maquinaria:** uno de los mayores beneficios de utilizar un sistema OEE es que el rendimiento de las 21 máquinas aumenta rápidamente desde su despliegue. Su aplicación se adapta perfectamente, tanto para exprimir nueva maquinaria desplegada en una línea de producción, como para implementarlo en otras máquinas con las que ya se esté trabajando.
- **Incrementa la calidad de los procesos:** los costes asociados a producto defectuoso suponen en empresas de todo el mundo una de las causas que generan mayor pérdida económica. Uniendo el sistema OEE y la tecnología se consiguen sistemas de trazabilidad más eficaces, que permiten hallar el origen de los descensos de calidad. Conseguir minimizar retrabajos y productos defectuosos es clave y genera un enorme ahorro de coste.
- **Capacidad de medir y decidir:** solo lo que se mide se puede gestionar y mejorar. Es muy importante conocer si un proceso productivo es eficiente o ineficiente, y cómo se puede optimizar.

Para su cálculo se hace uso de los siguientes elementos: la disponibilidad y el rendimiento, como se muestra a continuación en la figura siguiente .

$$\% \text{ Disponibilidad} = \frac{\text{tiempo disponible} - \text{tiempo muerto}}{\text{tiempo disponible}} \times 100$$

$$\% \text{ Desempeño} = \frac{\text{piezas teóricas} - \text{piezas producidas}}{\text{piezas teóricas}} \times 100$$

$$\% \text{ Calidad} = \frac{\text{piezas teóricas} - \text{rechazos}}{\text{piezas teóricas}} \times 100$$

Figura 2.15: Fórmulas del cálculo de componentes del OEE.

Capítulo 3

Metodología

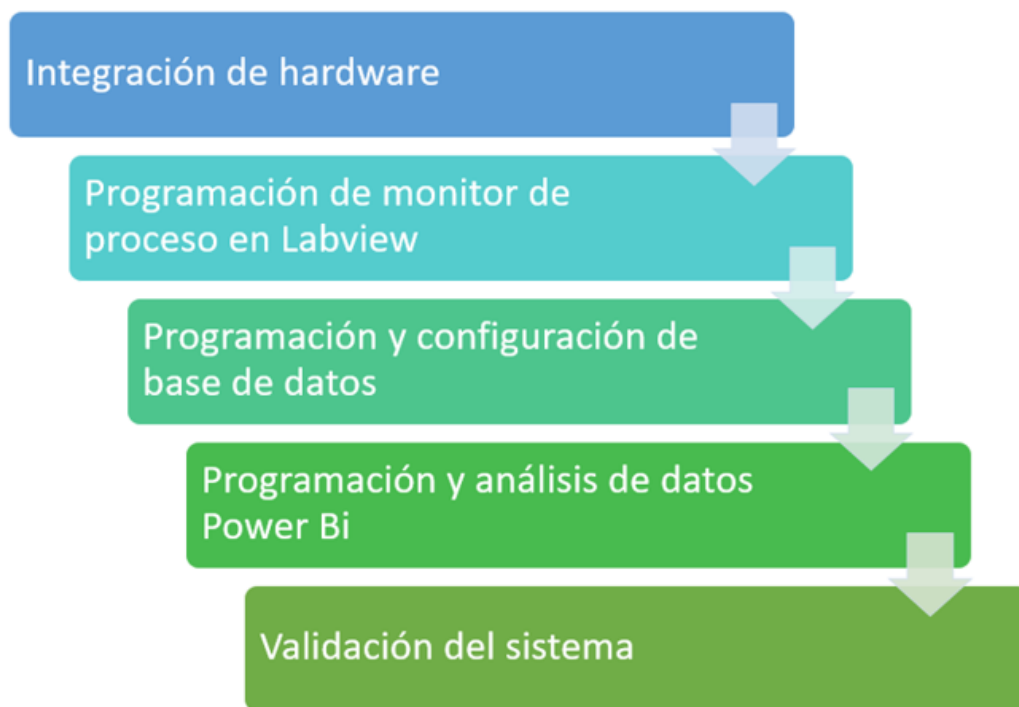


Figura 3.1: Esquema de la metodología utilizada

3.1. Materiales

Para la realización de este proyecto se hizo uso de los siguientes elementos:

- 4 Sensores magnéticos 165V62VL Elobau.
- 1 Sensor magnético 122230 Elobau.
- 1 Circuito electrónico de conmutación.
- 1 Fuente de voltaje variable 0-24V.

- 1 Tarjeta de adquisición de datos NI DAQ USB-6501.
- 1 UPS APC Pro 1000.
- 1 Computadora con monitor (DELL OptiFlex7010) conectada a la red empresarial con los siguientes softwares instalados: Labview 2019, Microsoft SQL 2014 y Power Bi desktop.

3.2. Identificación de señales eléctricas de interés

Para fines de la recolección de datos esperada en este proyecto se requirió obtener algunas señales claves de la máquina. Recordando el propósito del sistema, se busca poder dictaminar valores reales de: cantidad de piezas, tiempo muerto y defectos. Para lograrlo se extrajeron 3 señales clave: la primera de ellas la señal de “en ciclo” que se obtuvo de un indicador en el tablero de la máquinas, vease Figura 3.2. Dicha señal permanece encendida durante todo el ciclo y en caso de presentarse algún problema o falla durante el mismo se apaga.



Figura 3.2: Indicador de señal de “en ciclo”.

La segunda señal clave fue la del “conteo de componentes”. La máquina cuenta con una área de alimentación de la materia prima, en este caso los componentes electrónicos que se van a insertar. Cada uno de estos componentes se montan sobre unos cabezales que permiten que se desenrolle el material y a su vez se vaya alimentando la máquina de manera automática y con la secuencia requerida. Una vez montados los componentes sobre la cadena, esta sirve como mecanismo de transferencia para llevar de uno en uno cada componente a la sección de inserción.

Para poder identificar que componente es el próximo a insertar, la máquina cuenta con un sensor magnético en una posición previa a la inserción (veáse la Figura 3.3). Para fines de este proyecto, se utiliza la señal detectada por dicho sensor para llevar la cuenta de la cantidad de tablillas producidas. Dividiendo este contador entre la cantidad de componentes por tablilla que en este caso son nueve. Lo que nos permite a su vez conocer cuál es el componente próximo a insertarse.

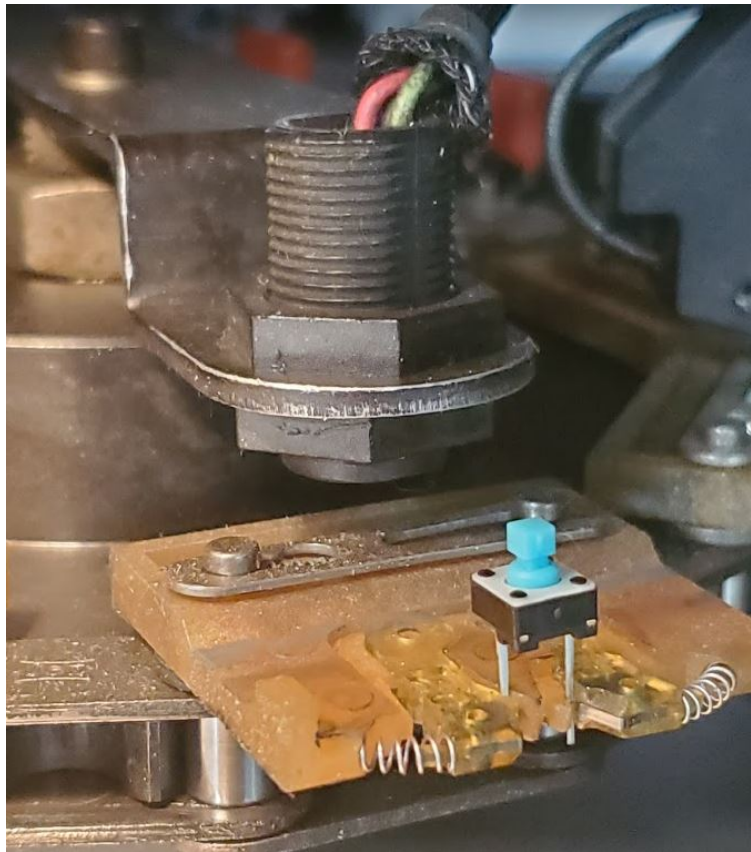


Figura 3.3: Sensor de inserción de nuevo componente.

Y por último la tercera señal de interés que se relaciona con las otras dos previas es la de "detectar si un componente ya se terminó". Esto se logra en combinación con no tener la máquina .^{en} ciclo", detectar el componente que se va a insertar y presenciar un cambio de estado en alguno de los cuatro sensores magnéticos ubicados en el área de alimentación véase Figura 3.4. Dicha sección de alimentación esta subdividida en 4 secciones conformadas por 15 cabezales cada una de ellas.



Figura 3.4: Sensor de carga de material.

3.3. Selección y configuración de sistemas de adquisición de datos

Dado que el sistema de monitoreo de eficiencia se realizó en Labview, albergado en una computadora, fue necesario considerar un medio para vincular las señales físicas de la máquina con entradas que el equipo de computo pudiese leer. Para lograrlo se utilizó una tarjeta de adquisición de datos proveída por la empresa de National Instruments DAQ NI USB-6501 , mostrada en la Figura 3.5.



Figura 3.5: Tarjeta de adquisición de datos utilizada.

La DAQ NI USB-6501, cuenta con 24 entradas y salidas digitales, así como con un circuito que proporciona protección de sobrevoltaje a sus líneas de E/S, un contador de 32 bits y un BUS de comunicación utilizado mediante USB, con conectividad USB plug-and-play. Dicha tarjeta es lo suficientemente simple para aplicaciones domésticas y académicas, pero lo suficientemente robusto y versátil para aplicaciones de laboratorio e industriales. La Figura 3.6 muestra la arquitectura del dispositivo.

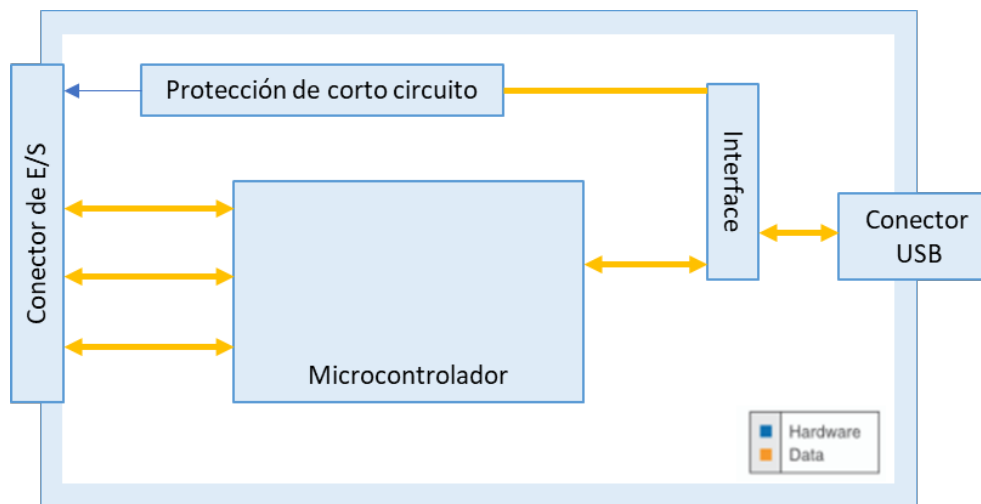


Figura 3.6: Composición de la DAQ NI USB 6501

National Instruments cuenta con un asistente llamado NiMax para administrar los dispo-

sitivos conectados al equipo de computo. Dicha herramienta permite personalizar las configuraciones de los dispositivos (en este caso de la tarjeta de adquisición de datos). Por otro lado cuenta con un apartado para probar directamente las entradas y salidas del dispositivo, lo que facilita el detectar problemas en los puertos. En esta ocasión NIMax fue utilizado para asegurarse de que el dispositivo estuviera visible y no hubiera ningún problema de comunicación entre la DAQ y el equipo de computo. En la Figura 3.7 se muestra el dispositivo detectado en el menú de la izquierda.

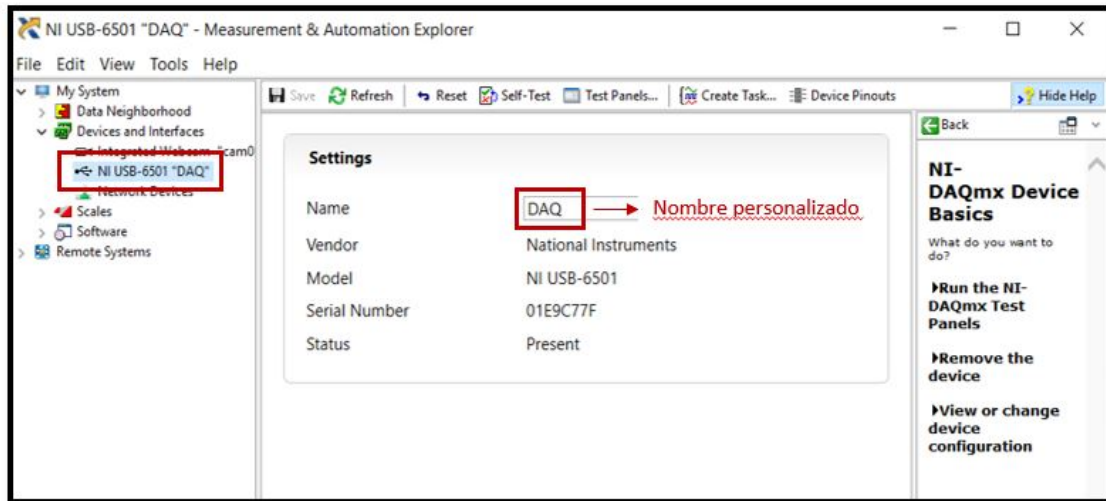


Figura 3.7: Pantalla principal NIMax

Para establecer la comunicación entre la tarjeta de adquisición de datos con la PC, es necesario asegurarse de tener instalada la librería de National Instrument llamada: "NI-DAQmx". Dicha librería es requerida para comunicar la tarjeta de adquisición de datos y poder controlarla, dado que en ella se almacenan las funciones principales de adquisición. En la Figura 3.8 se muestra la cartera de funciones manejadas en la librería.

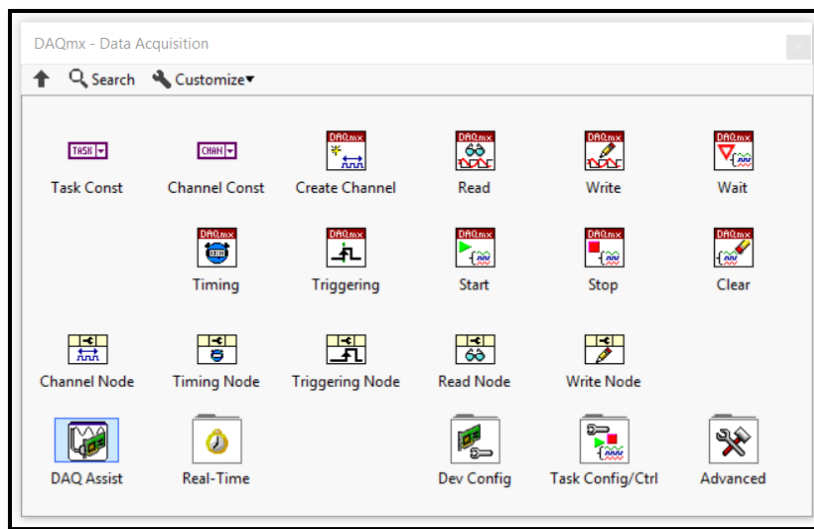


Figura 3.8: Librería NI-DAQmx

3.4. Integración de hardware

Una vez seleccionada la tarjeta de adquisición de datos se realizó la integración del hardware con el sistema de adquisición. Debido a que los niveles de la tarjeta de adquisición de datos y los utilizados por la máquina no son los mismo, fue necesario acondicionar por medio de un circuito intermedio las señales obtenidas de la máquina y traducirlos a niveles digitales manejados por el módulo de entradas y salidas de la DAQ.

Se diseñó un circuito electrónico constituido por relevadores que al recibir una señal de 24 V se conmuta un transistor PNP para energizar la bobina y con ello switchear al conector de salida 5V. Por cada señal de interés se tiene una señal de salida acondicionada a 5V. La Figura 3.9 muestra el esquemático del circuito diseñado para esta aplicación.

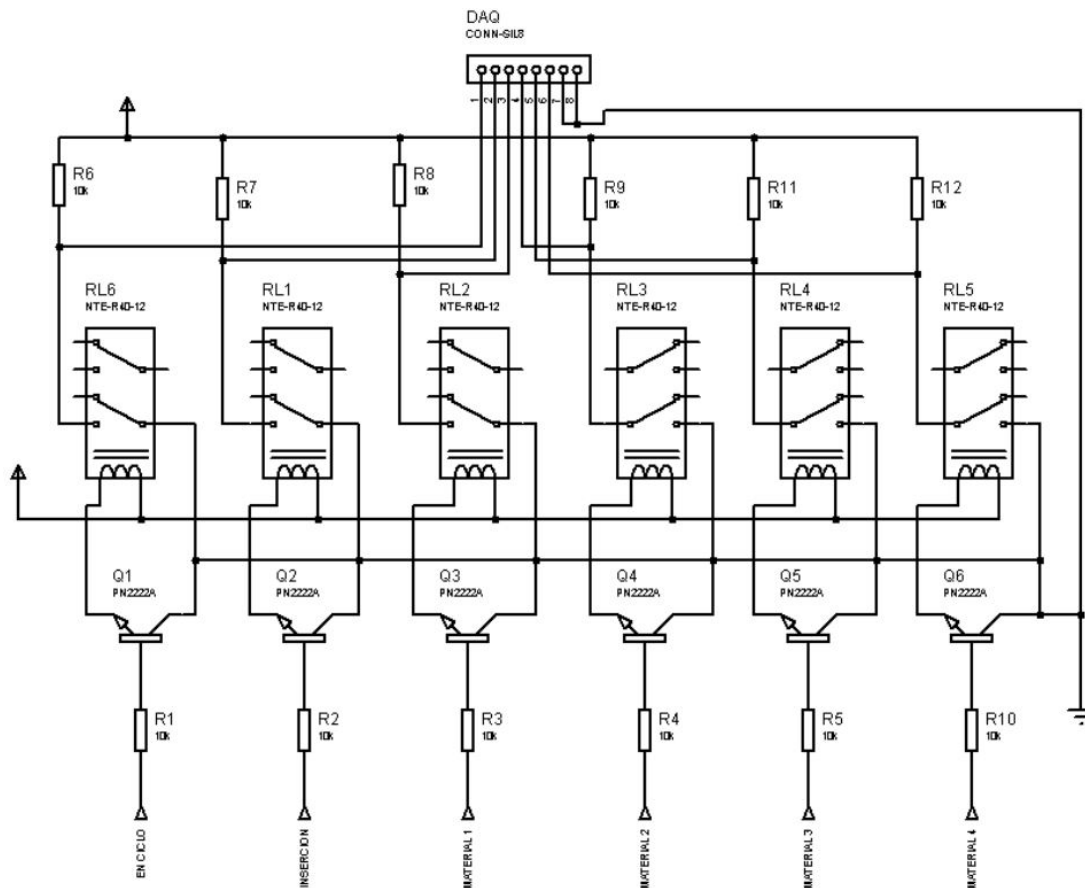


Figura 3.9: Circuito electrónico utilizado

Para el diseño del PCB del circuito electrónico se utilizó el software PROTEUS 8 Profesional donde se dibujo el diagrama esquemático del circuito para con ello generar la tablilla electrónica. En la Figura 3.10 se puede observar el diseño de los pads y pistas de la tablilla. Para las pistas se seleccionó un grosor de 3mm, reemplazando las pistas en 90° por ángulos de 45°. Al finalizar el diseño de la tablilla se genero el modelo en 3D para confrimar la distribución de los componentes y el tamaño de la tablilla en escala real (véase Figura 3.11).

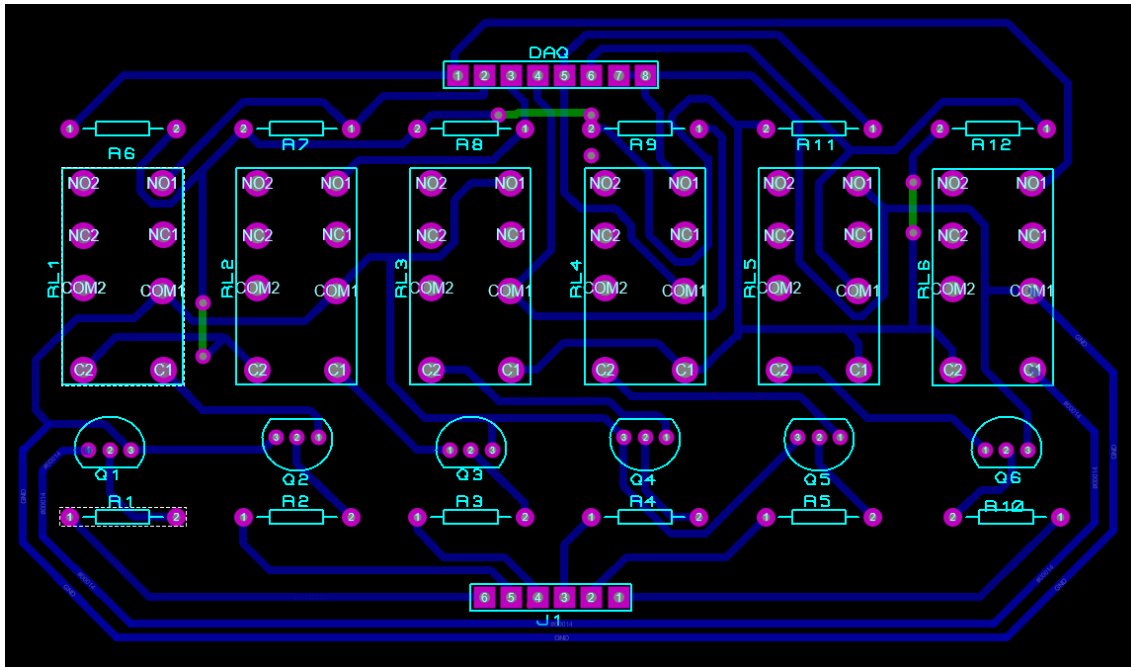


Figura 3.10: Diseño de pistas del circuito electrónico

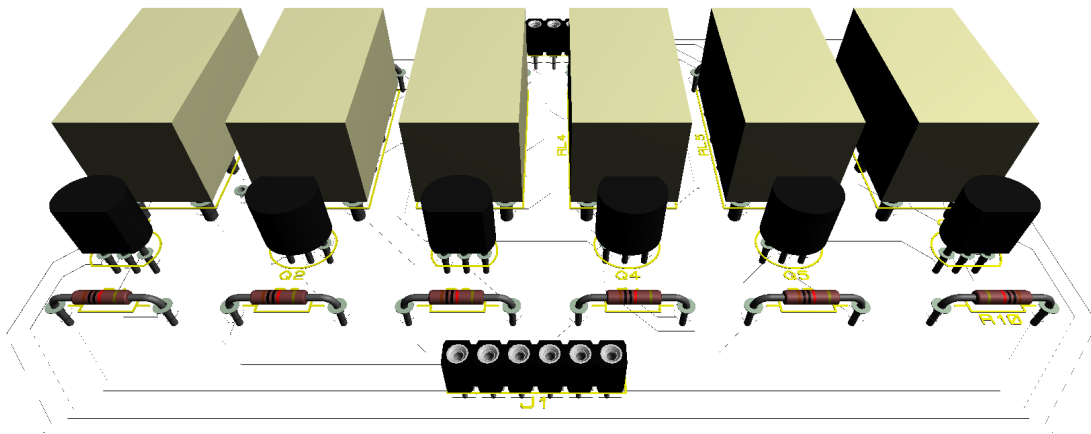


Figura 3.11: Modelo 3D del circuito electrónico utilizado

En la tablilla se contemplo la colocación de un conector en la entrada, donde se conectarán las señales de interés de la máquina; y un conector de salida donde se conectarán las terminales de entrada de la DAQ. De acuerdo al pinout de la tarjeta de adquisición, mostrada en la Figura 3.12, la tarjeta cuenta con 3 puertos digitales de 8 bits cada uno de ellos, que pueden ser configurados como entradas o salidas según la aplicación. La tabla 3.2 muestra los canales utilizados para cada señal de interés de la máquina.

USB-6501

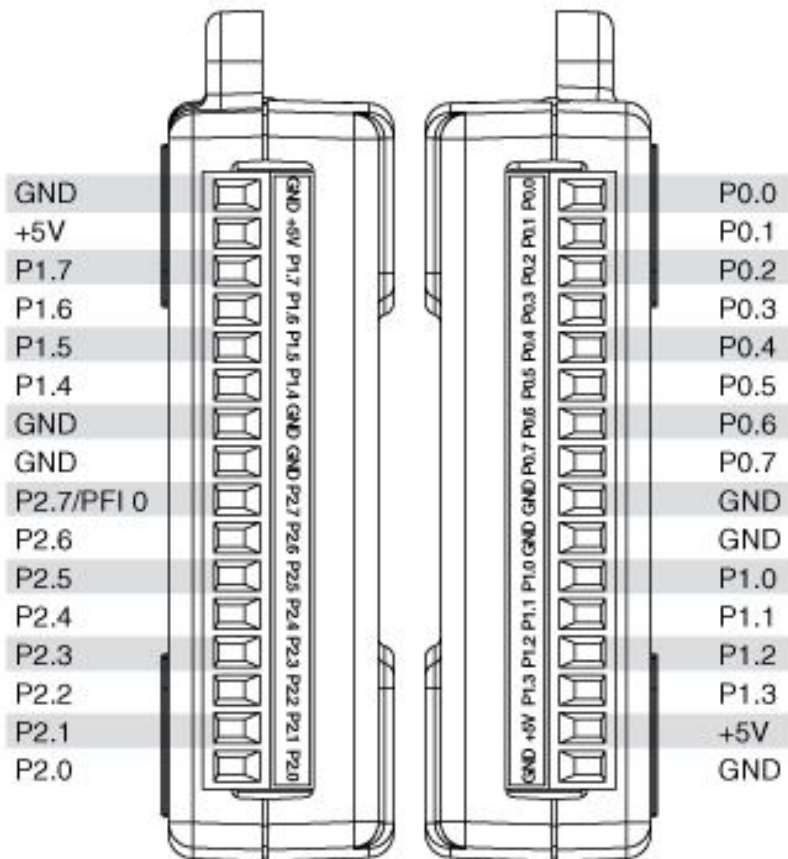


Figura 3.12: Pinout del la DAQ NI USB-6501

Entrada física	Señal
P0.0	Señal de "En ciclo"
P0.1	Señal de "Error"
P0.2	Señal de "Inserción"
P0.3	Señal de "Nuevo componente"
P0.4	Señal de "Sensor A de material"
P0.5	Señal de "Sensor B de material"

Tabla 3.1: Asignación de puertos en NI USB 6501

3.5. Desarrollo de monitor de eficiencia

El sistema implementado fue desarrollado para poder estar recolectando datos de la operación mientras que la máquina estuviese encendida, lo que le demanda al sistema un funcionamiento intensivo 24/7. Además de la capacidad de poder poner a disposición de cualquier usuario y dispositivo la información procesada.

Para lograrlo se dividió el sistema en tres partes como se muestra en la Figura 3.13. La primer parte se constituye por un sistema de recolección de datos desarrollada en Labview, encargado de traducir las señales de interés en métricos para el cálculo del OEE. La segunda parte esta constituida por la base de datos, quien almacena la información recopilada por el sistema de Labview en un servidor de Microsft SQL y sirve como puente para la tercer parte. La tercera parte se constituye por un tablero electrónico desarrollado en PowerBi, donde cualquier empleado puede acceder a la informaci'on del sistema visualizando los principales métricos del OEE y la operación.

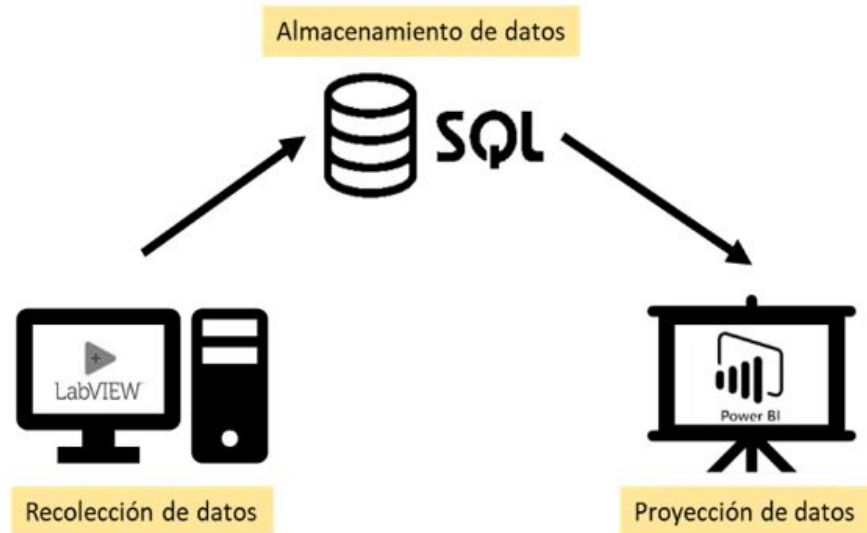


Figura 3.13: Componentes del sistema

3.5.1. Programación de sistema de recolección de datos y monitor de eficiencia en Labview

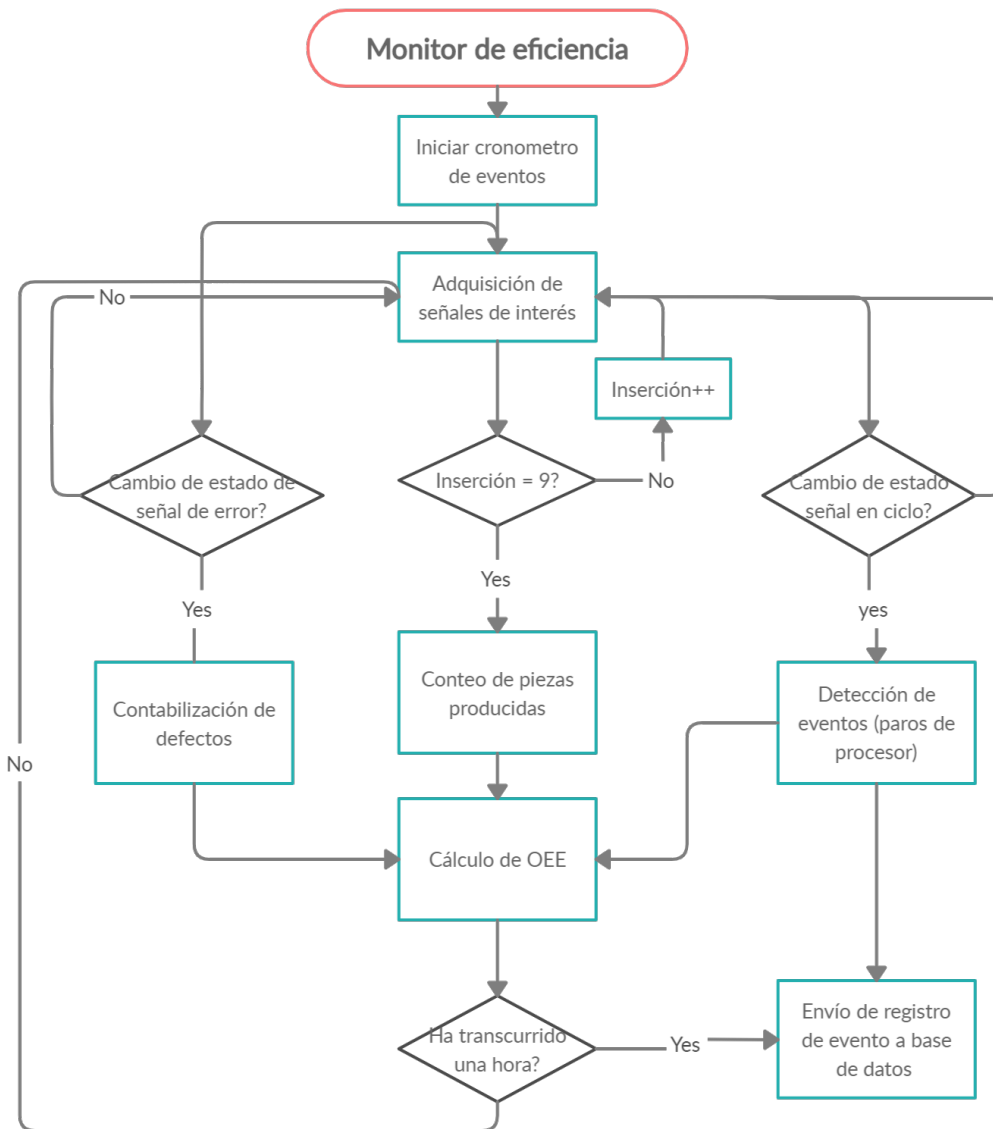


Figura 3.14: Diagrama de flujo del sistema de recolección de datos

Para el sistema de recolección de datos se desarrollo un programa en Labview gobernado por el diagrama de flujo presentado en la Figura 3.14. Como se puede observar en el diagrama el programa comienza con la recolección en tiempo real de las señales de interés. Dependiendo del estado de dichas señales se realiza la contabilización de defectos, la contabilización de piezas producidas y la detección de eventos para el cálculo de tiempo muerto. Cada una de estas señales corresponden a un componente del OEE (calidad, rendimiento, disponibilidad) que más tarde es calculado por el sistema. De manera paralela al transcurrir un evento se envía información del mismo a la base de datos, así como al concluir cada hora del turno enviando un resumen del OEE y sus componentes a la base de datos.

Todas y cada una de estas tareas deben ejecutarse de manera paralela para no perder información de ninguna parte, para ello se distribuyó el programa principal de Labview en una estructura maestro/esclavo.

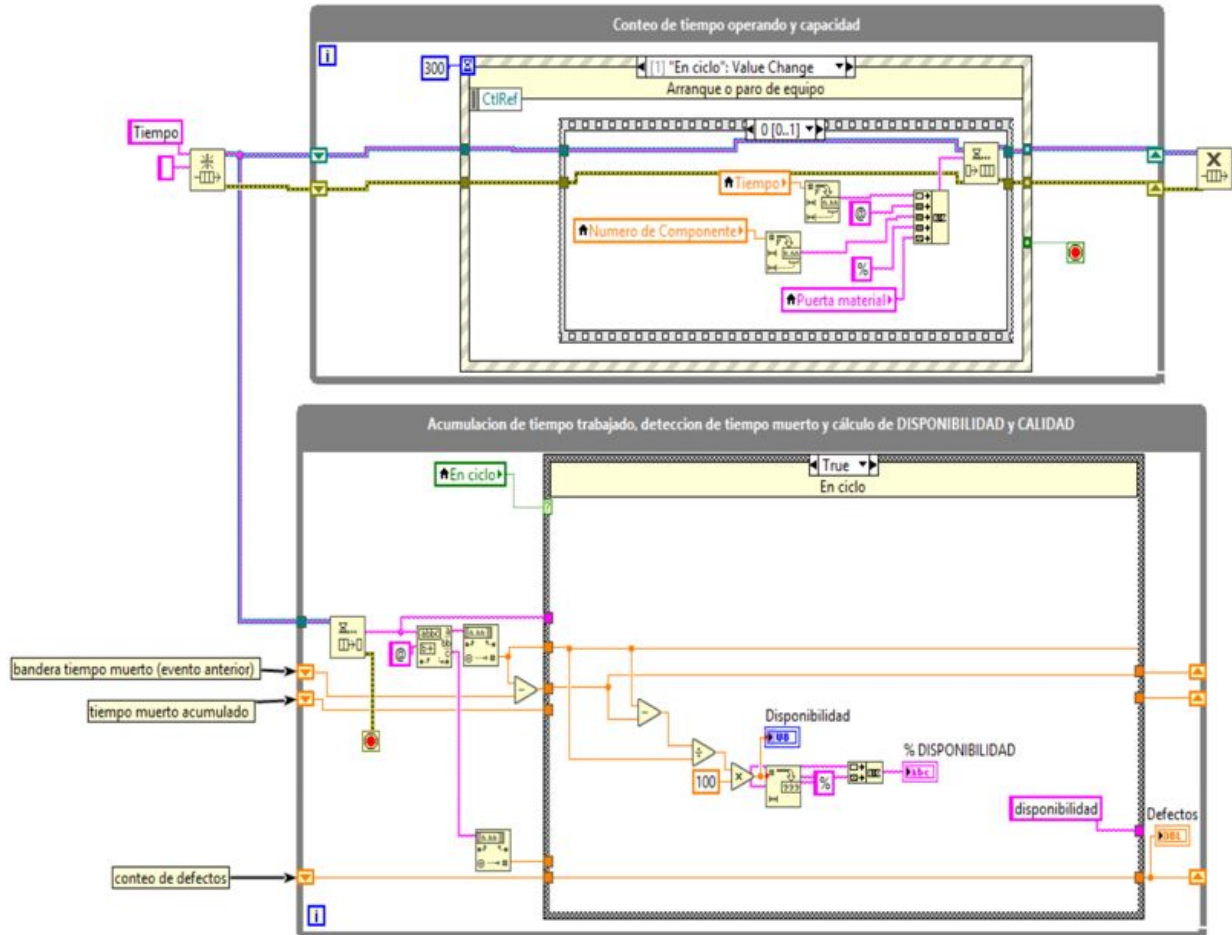


Figura 3.15: Estructura while "maestro/esclavo"

Se utiliza la estructura QUEUE para la transferencia de información entre ambos ciclos, debido a que los eventos pueden ser intermitentes y de una duración muy corta lo que podría prestarse a que se pierda la comunicación entre dos partes del programa. Con el QUEUE se asegura que aunque el ciclo esclavo aún no haya terminado de ejecutar sus tareas, los eventos capturados durante ese lapso de tiempo no se perderán, simplemente se quedan como en "cola" o "espera". Lo que permite que la ejecución de ambos ciclos tanto maestro como esclavo puedan ser ejecutados de manera independiente y asíncrona.

3.5.1.1. Recolección de datos

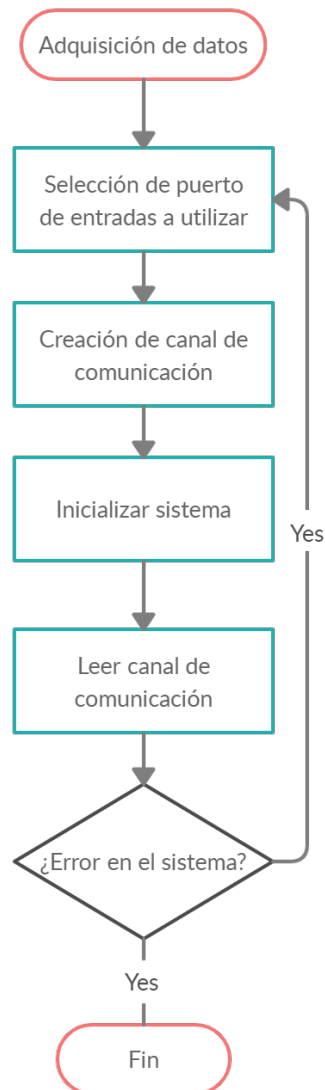


Figura 3.16: Algoritmo de recolección de datos

Para realizar y habilitar la recolección de datos se desarrolló el subVi (mostrado en la Figura 3.17) que establece una comunicación entre el software y la tarjeta NI USB6501. Aquí se establece los canales de entradas y salidas utilizados en la aplicación y la cantidad de muestras realizadas por ciclo. Al tratarse de más de una señal se manejan los resultados a nivel de puerto, convirtiendo la lectura en un arreglo de seis localidades cada una de ellas correspondientes a las señales de interés. Mismas que más adelante son utilizadas en otras secciones del programa.

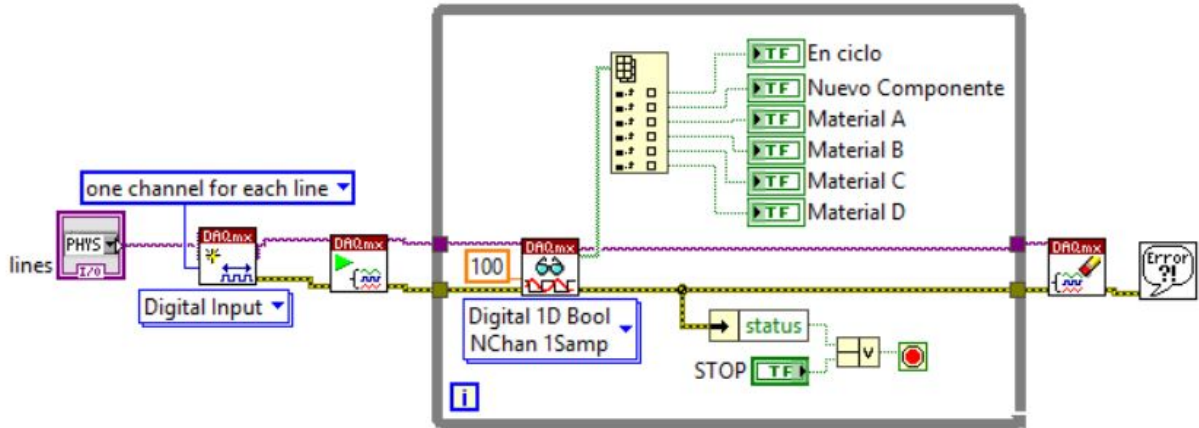


Figura 3.17: Subvi de recolección de datos

De acuerdo al pinout de la tarjeta DAQ, se manejó como línea todo el primer byte p0.0. De donde se utilizaron únicamente los primeros 6 bits para cada una de las señales de interés a adquirir. Por esta razón en el control de nombre: "lines" se selecciona todo el puerto 0 de la tarjeta DAQ, como se muestra en la Figura 3.24.

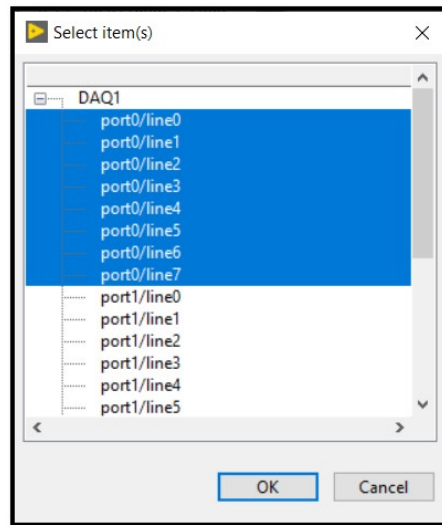


Figura 3.18: Selección de canales

Una vez configurado el puerto físico a utilizar en el la tarjeta de adquisición, se generó el canal de comunicación con la herramienta "create channel" donde se especificó que el tipo de lectura sería de un canal por cada línea y la forma en que los puertos fueron utilizados. Es decir si serían entradas o salidas digitales, contadores o analógicas. Sin embargo por la característica de la aplicación y de la tarjeta utilizada el ambiente analógico no es posible utilizarlo. Por dicha razón se selecciona la opción de "Digital Input".

Previo al ciclo del programa se ejecuta la instrucción de "Start task" para iniciar la tarea de adquisición de datos. Una vez adentro del ciclo while, el comando de lectura se estará ejecutando una vez cada 100ms por un tiempo indefinido hasta obtener un error o ser verdadero el valor de la señal de "STOP". Más adelante se puede observar como esta señal es ligada en otra parte del programa. Al ejecutarse el ciclo los valores de las entradas seleccionadas se actualizan en cada ciclo.

3.5.1.2. Contabilización de defectos

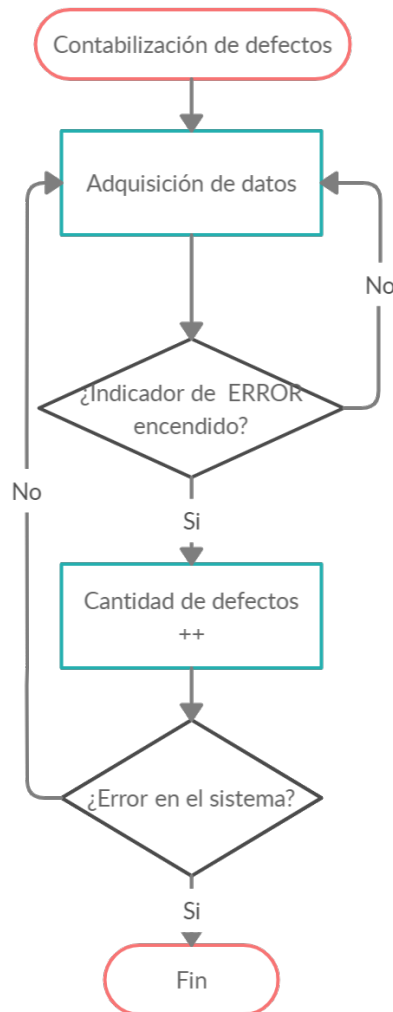


Figura 3.19: Diagrama de flujo contabilización de defectos

Para la contabilización de defectos se hace uso del recurso de la señal de interés ERROR, correspondiente a un indicador en la máquina que es activado al presenciar la ausencia de un componente o una mala inserción. Cada que esta señal es activada se activa la variable "Defectos", aumenta una unidad para llevar el conteo de defectos durante la hora y el turno.

Por otro lado al activarse la señal de error la señal de "en ciclo" percibe un cambio de estado, ejecutando las rutinas del ciclo esclavo para la detección de eventos.

3.5.1.3. Contabilización de piezas producidas

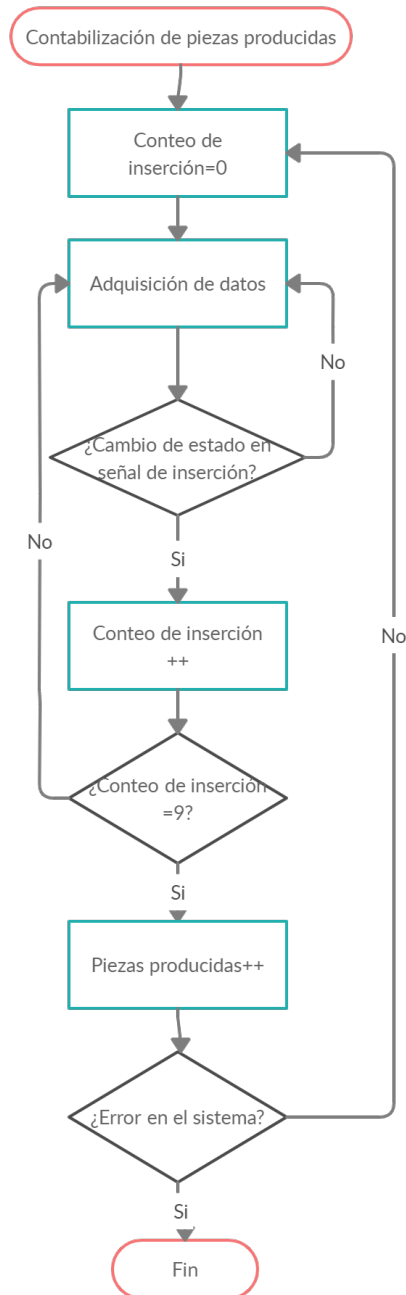


Figura 3.20: Diagrama de flujo contabilización de piezas producidas

Para el caso de la contabilización de las piezas producidas, se hace uso de la señal de "inserción". El sistema al percibir un cambio de estado de dicha señal, sumara una unidad a

un contador interno que al llegar a 9 (número correspondiente a la cantidad de componentes insertados en la tablilla) se resetea y agrega una unidad al contador de piezas producidas.

Es importante resaltar que tanto el contador de piezas producidas como el contador de defectos son temporales pues al presenciar un cambio de hora dicha información se envía a la base de datos y las variables son reseteadas para iniciar el conteo de la nueva hora a transcurrir. Además de que ambos contadores son utilizados para el cálculo en tiempo real del OEE en la operación, es por ello que ambos son ejecutados en el ciclo maestro de la estructura principal del programa de Labview.

3.5.1.4. Detección de tiempo muerto

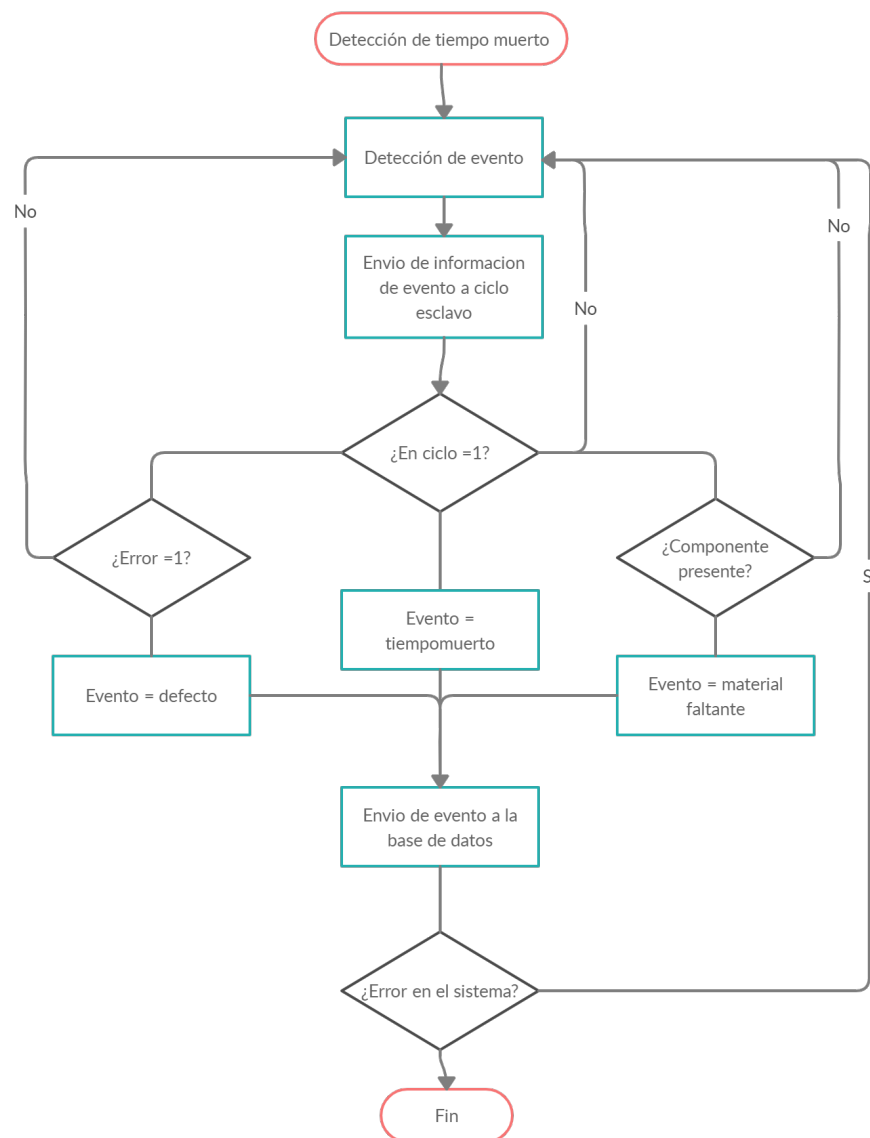


Figura 3.21: Diagrama de flujo detección de tiempo muerto

La captura del tiempo muerto se divide en dos partes, la primera que es albergada en el ciclo maestro, consisten en la detección de eventos. Mientras que la segunda, albergada en el ciclo esclavo, determina el motivo causal de cada evento así como su duración.

El ciclo maestro esta ejecutando la búsqueda de un cambio de estado en la variable en ciclo, proveniente del Subvi de adquisición de datos, por medio de una estructura de eventos. Al detectarlo, manda una cadena de caracteres constituida por el tiempo que transcurrió + el número de componente que se estaba insertando en ese momento + el estado de las puertas de cargado de material, como se muestra en la Figura 3.22. Dicha información es enviada al ciclo esclavo mientras el maestro se preparará para volverse a ejecutar de manera consistente sin interrupciones.

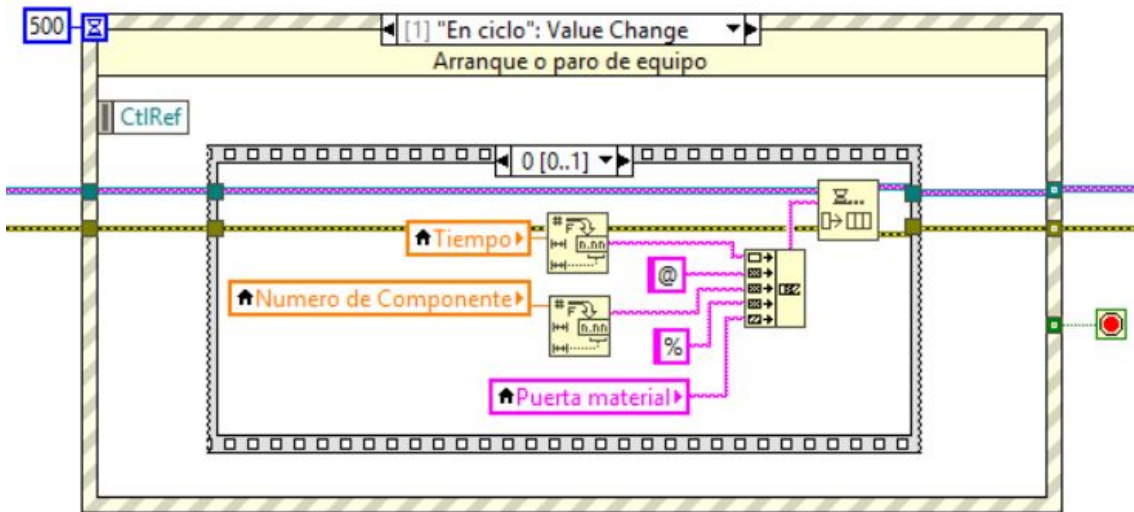


Figura 3.22: Estructura de eventos en ciclo maestro

Para la segunda parte, donde se detecta el motivo del evento, primero con el comando "Deque element" se lee el buffer del queue para leer la cadena enviada. Recordando que la estructura QUEUE trabaja bajo el principio del FIFO "first in, first off" lo que ayuda a conservar el orden de los eventos a pesar de acumularse. Para identificar el evento lo primero que se realiza es detectar la duración del mismo lo que en el programa se realizó por medio de flancos. Recordaremos que las cadenas de caracteres almacenadas en el QUEUE son generadas en cada cambio de estado de la variable en ciclo de modo que se tuvo que diferenciar si el flanco del evento era positivo o negativo para detectar si se trataba de el equipo trabajando o el equipo acumulando tiempo muerto. La Figura 3.23 ejemplifica esta determinación de acuerdo a cada cambio de estado.

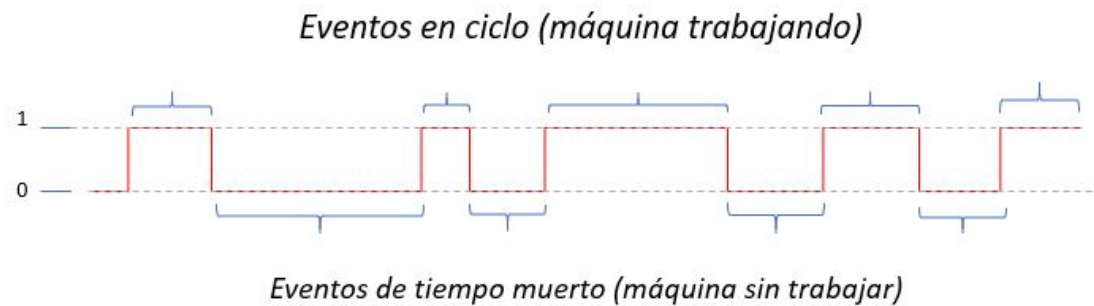


Figura 3.23: Diagrama de tiempos para identificación de eventos

Cada que el queue reciba una cadena el ciclo esclavo después de leerla, identificará el estado booleano de la variable "en ciclo". De ser verdadero su estado significa que acaba de concluir un evento de tiempo muerto y la máquina acaba de ponerse en marcha. Una vez identificada esta situación se calculó la duración del evento restando el tiempo actual menos el tiempo en que se efectuó el evento anterior teniendo como resultado la duración de dicho tiempo muerto. Posterior a ello se procede a una serie de comparaciones para dictaminar por medio de estructuras de casos el motivo causal del evento. Las condiciones para cada tipo de evento se describen a continuación.

- Tiempo muerto programado. Si la duración del evento es menor que el tiempo muerto programado para ausencias del operador. Aquí se contempla idas al baño
- Mala inserción. Tiempo muerto registrado al percibir un cambio en el estado de la variable "error"
- Falta de material. Se registra un evento con un cambio de estado en la variable "presencia de componente".

3.5.1.5. Cálculo del OEE

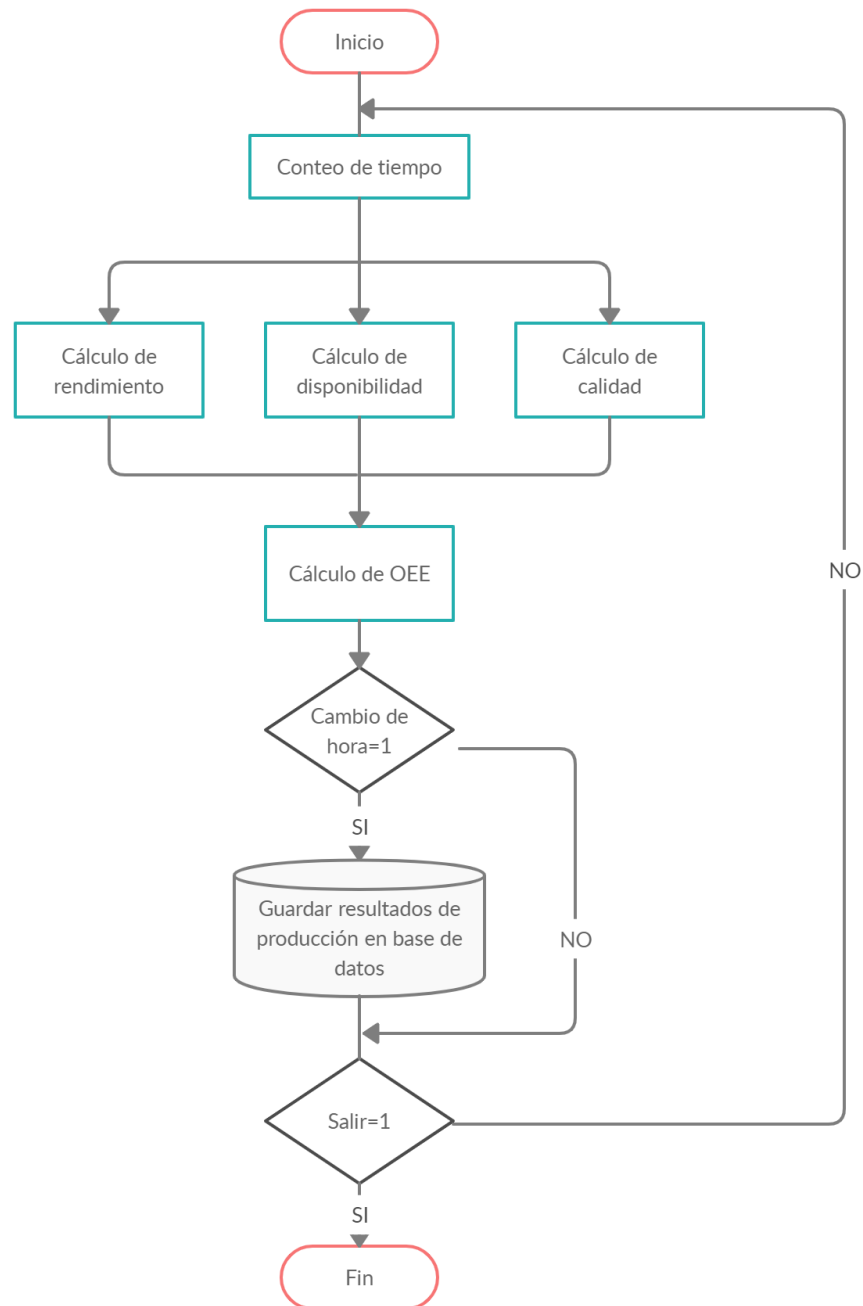


Figura 3.24: Diagrama de bloques para cálculo del OEE

Para el cálculo del OEE, se generó un SubVi que es llamado en el programa principal de la siguiente manera, como se muestra en la Figura 3.25. El OEE al tratarse del métrico de interés se debe asegurar que sea calculado en tiempo real y de manera continua. Para ello se agregó el subvi de su cálculo en el ciclo while maestro.



Figura 3.25: Subrutina para calcular OEE

El subvi se descompone por tres cálculos cada uno de ellos correspondientes a los componentes del OEE: disponibilidad, rendimiento y calidad.

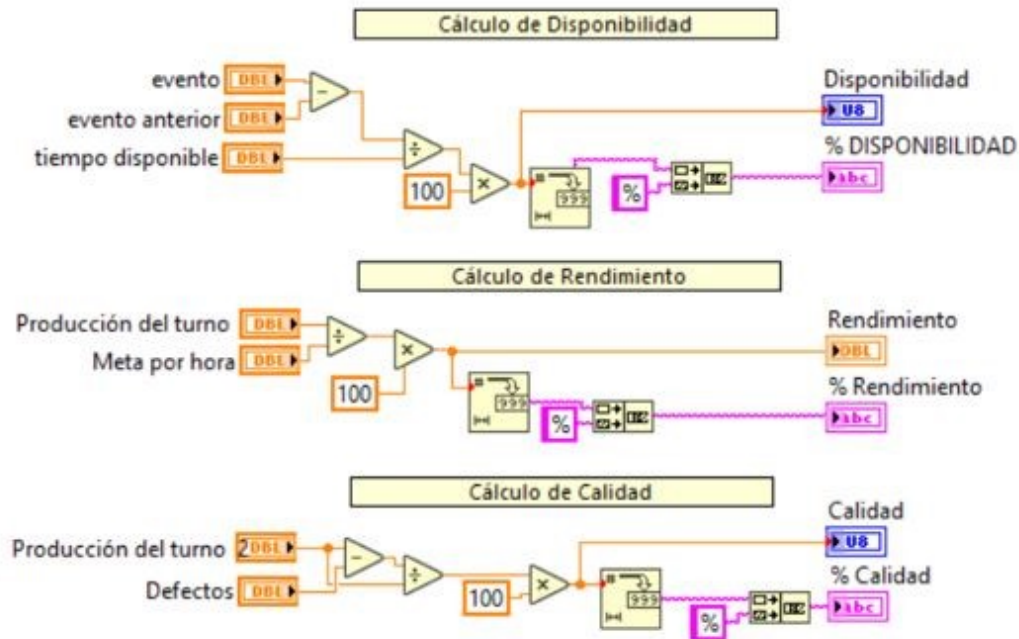


Figura 3.26: Cálculo de los componentes del OEE (diagrama de bloques)

Una vez calculados los componentes se genera el producto de cada resultado para obtener el OEE, como se muestra en la Figura 3.27. En cada cálculo para fines del manejo de la información se convierte cada resultante en una cadena de caracteres para facilitar su manipulación con la base de datos.

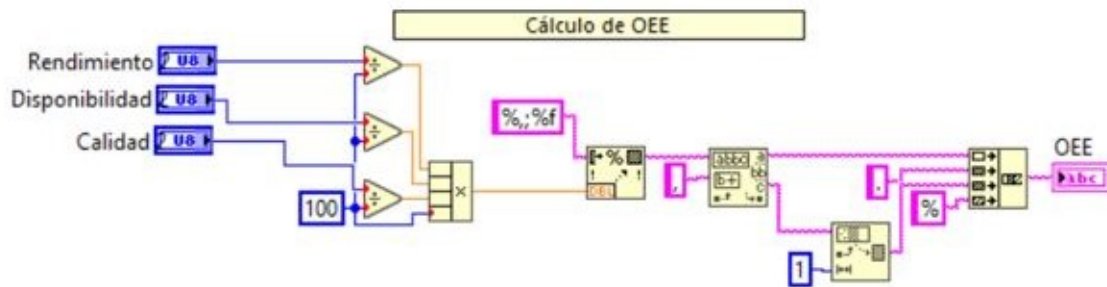


Figura 3.27: Cálculo del OEE (diagrama de bloques)

3.6. Programación y configuración de base de datos

Previo al análisis de la información fue necesario contar con una fuente de almacenamiento que vinculara tanto el sistema de recolección de información como al sistema de reporte y análisis de resultados desarrollado en PowerBi. Debido a los recursos proporcionados por la empresa se inició el proyecto con una base de datos convencional en Microsoft SQL.

La configuración y propiedades del servidor son establecidas al momento de instalar el programa, ahí se define el tipo de instancia a utilizar y las medidas de seguridad de acceder al servidor, en este último caso se puede configurar una contraseña. Para el caso del servidor utilizado se estableció acceder a el por medio de un usuario y contraseña utilizados como administrador. Esto con el afán de evitar intervenciones a la información por el personal no autorizado.

Una vez instalado el servidor, se creó la base de datos con la que se trabajó el sistema. Dando botón derecho sobre el folder de bases de datos y seleccionando la opción "nueva base de datos". Enseguida se abrirá una ventana emergente para configurar la base datos. En esta ocasión únicamente se configuró el nombre de la tabla a almacenar (véase Figura 3.28)

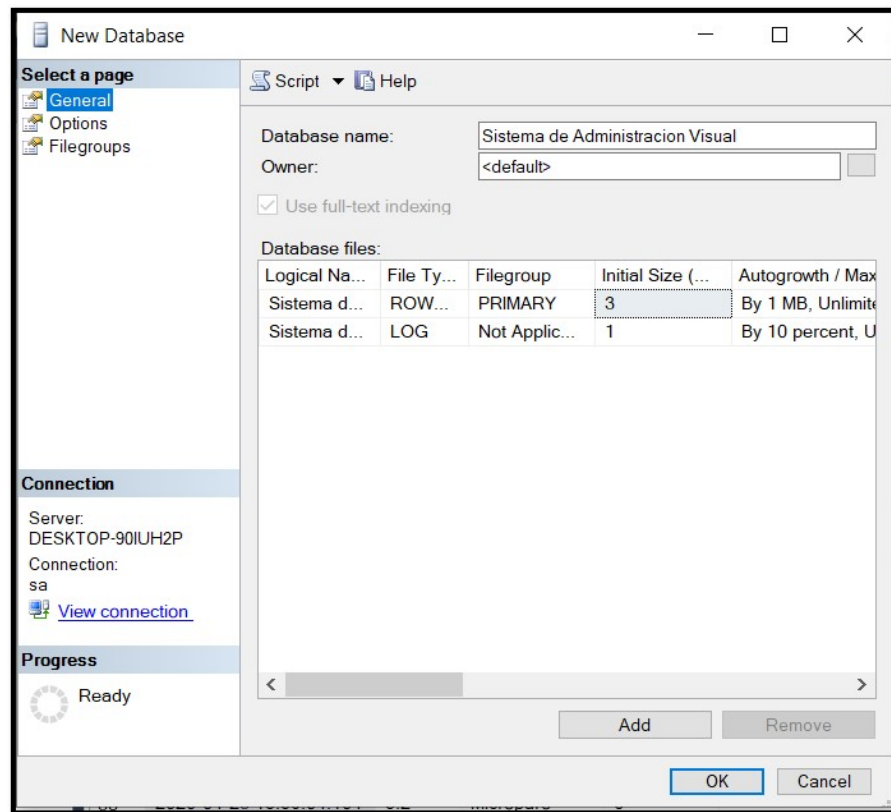
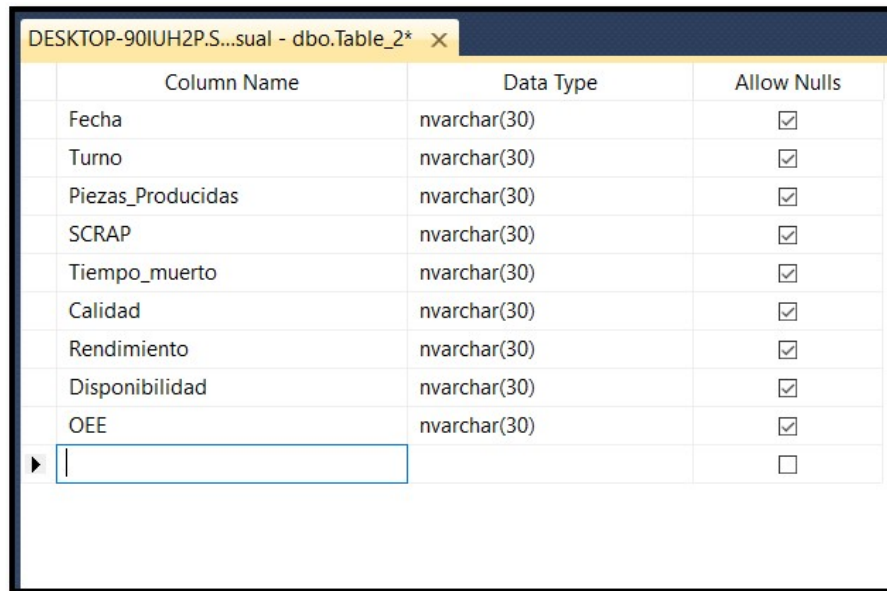


Figura 3.28: Creación de nueva base de datos

Una vez creada la base de datos con la que se trabajó se generaron las tablas necesitadas. Dado que se tienen identificados dos tipos de eventos en particular de interés a rastrear, se generaron dos tablas diferentes. La de "OEE" a la que se escribe hora por hora el reporte de desempeño del equipo y la tabla de "microparos" que se ejecutará cada que se detecte un evento de tiempo muerto.

Para generar las tablas se selecciona la opción de "Crear tabla" dando click en la subíndice de "Tablas" de la base de datos. Al seleccionarlo, se abre una ventana para configurar la estructura de la tabla. En ella se especifica el nombre de cada columna así como el tipo de dato que almacenará. Para el caso de este sistema se utilizaron "nvarchar" en cada columna para facilitar el manejo de la información. En la Figura 3.29 se muestra un ejemplo de cómo se configuró la tabla de OEE.



Column Name	Data Type	Allow Nulls
Fecha	nvarchar(30)	<input checked="" type="checkbox"/>
Turno	nvarchar(30)	<input checked="" type="checkbox"/>
Piezas_Producidas	nvarchar(30)	<input checked="" type="checkbox"/>
SCRAP	nvarchar(30)	<input checked="" type="checkbox"/>
Tiempo_muerto	nvarchar(30)	<input checked="" type="checkbox"/>
Calidad	nvarchar(30)	<input checked="" type="checkbox"/>
Rendimiento	nvarchar(30)	<input checked="" type="checkbox"/>
Disponibilidad	nvarchar(30)	<input checked="" type="checkbox"/>
OEE	nvarchar(30)	<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>

Figura 3.29: Configuración de tabla OEE

Terminada la configuración de la tabla se selecciona guardar y aparecerá una ventana como la de la Figura 3.30 donde se solicita nombrar la tabla creada.

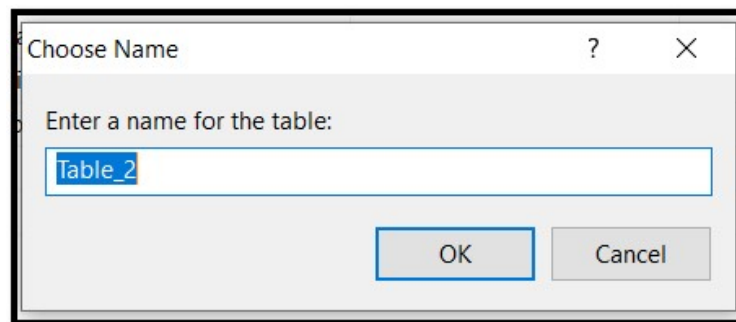


Figura 3.30: Configuración del nombre de la tabla

Al finalizar, las tablas creadas deben aparecer en la subrama de tablas del árbol de la izquierda como se muestra en la Figura 3.31.

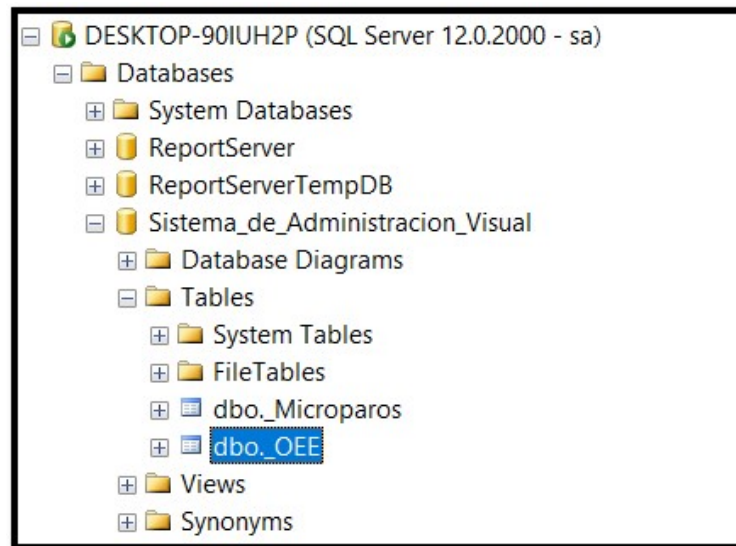


Figura 3.31: Creación de tabla en árbol principal

3.6.1. Conexión con la base de datos

Para que la información recolectada por el sistema sea a su vez almacenada, el sistema establece un vínculo de escritura con la base de datos del sistema. Para lo cual se desarrolló el Subvi, mostrado en la Figura 3.33, que permite escribir directamente sobre las tablas previamente establecidas. Dado que el sistema únicamente recolecta información no es necesario establecer otro tipo de operación de búsqueda.

Para iniciar el vínculo se utilizó el comando "DB tools open connection."^{el} cual establece y asegura la comunicación con el servidor utilizado. Para fines prácticos se configura un archivo UDL (Universal Data Link, por sus siglas en inglés), que sirve como puente entre el Labview y la base de datos, brindando así acceso directo al servidor. En este archivo en la pestaña de proveedores, se especifica la fuente de datos a utilizar, en este caso se seleccionó la opción de "Microsoft OLE DB Provider for SQL Server". En la segunda pestaña se selecciona el nombre y contraseña del servidor a utilizar así como la base de datos con la que se desea trabajar (véase Figura 3.34).

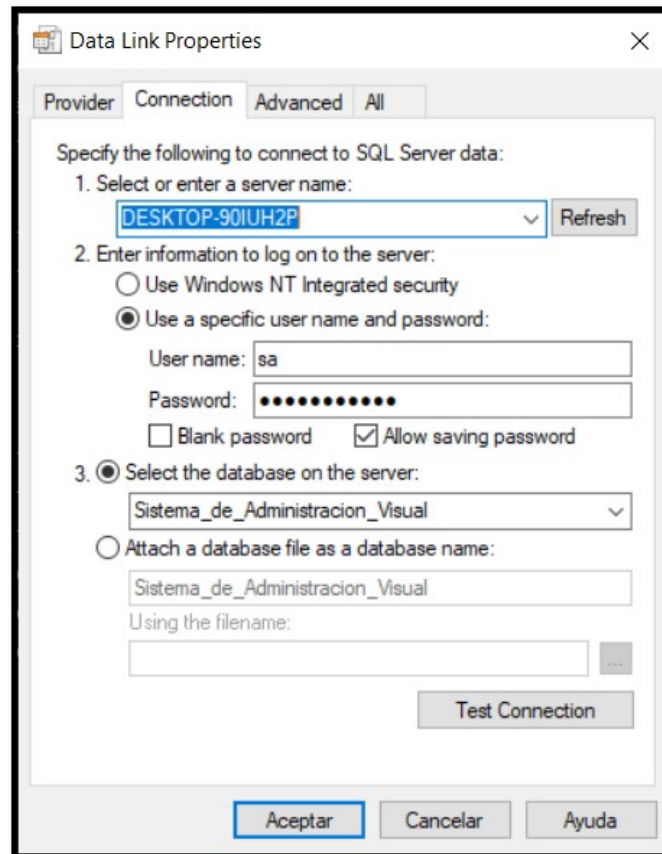


Figura 3.32: Configuraciones de base de datos en archivo UDL

El siguiente comando a utilizar fue el "Database tool insert data" que permite escribir directamente sobre la tabla seleccionada. Dicha herramienta termina asemejando el comando insert desde el SQL por lo que es importante respetar la cantidad y orden de columnas de la tabla e insertar los valores de cada columna en ese mismo orden especificado. Por último se utilizó la instrucción "Database tool close connection". Con esta instrucción se cierra la conexión con la base de datos.

El Subvi es utilizado en dos partes del programa. La primera para almacenar los datos de referentes al reporte de resultados en cada hora. Esta información se procesa y almacena en la tabla de "dbo._OEE". Para el segundo caso dicha subvi se ejecuta cada que el sistema detecta un evento de tiempo muerto y se almacena en la tabla "dbo._microparos". La única diferencia entre cada una de ellas es los nombres y cantidades de columnas por lo que en la instrucción insert es importante respetar el arreglo de columnas según sea el caso de la tabla a utilizar. A continuación en la Figura 3.33 y 3.34 muestran el diagrama de bloques de cada caso.

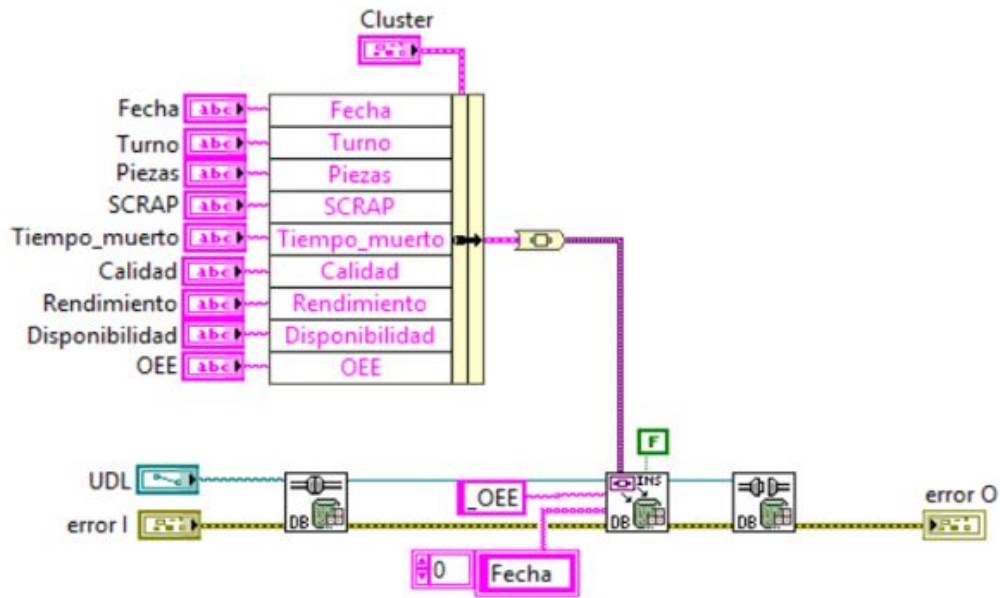


Figura 3.33: Escritura de base de datos en la tabla OEE

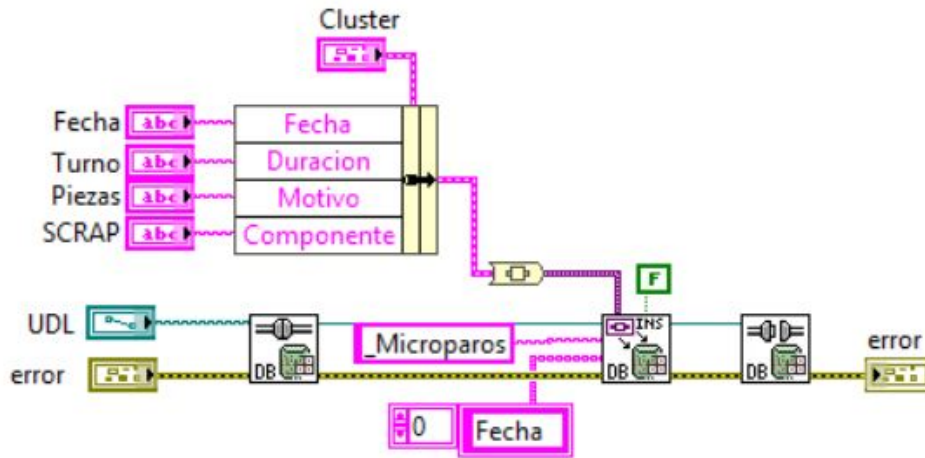


Figura 3.34: Escritura de base de datos en la tabla Microparos

3.7. Monitor de resultados

Como interfaz de usuario de manera local, se diseñó el panel frontal de la Figura 3.35. Con el objetivo de poner de primera mano al alcance del usuario toda la información adquirida por el sistema. Si bien este sistema busca visualizar de manera inmediata el desempeño de la operación solo fue diseñado para mostrar información mas allá de analizarla y procesarla.

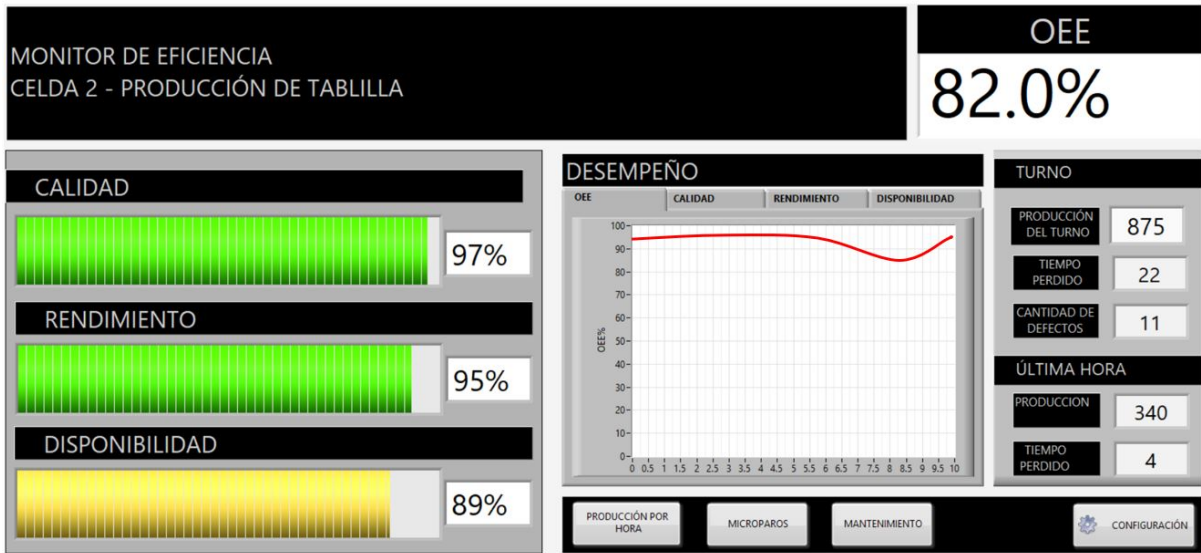


Figura 3.35: Panel frontal del monitor de resultados

Para fines de visualización, la interfaz de usuario se busca reportar el acumulado de la última hora de producción y de lo acumulado de todo el turno. Para ello dentro del while maestro, al principio se ejecuta una comparación de la hora actual, de ser igual a "00:00 (min:seg)" entonces la producción de la última hora y el tiempo perdido se resetea a cero. Previo al reinicio de dichas variables se envía a la base de datos la información correspondiente a la tabla de OEE para registrar el desempeño de la última hora. Por otro lado se agrega a cada gráfica el valor registrado de la última hora, de esta manera se va siguiendo el registro del OEE, calidad, rendimiento y disponibilidad hora por hora. La Figura 3.36 muestra el código del subvi ejecutado en cada cambio de hora.

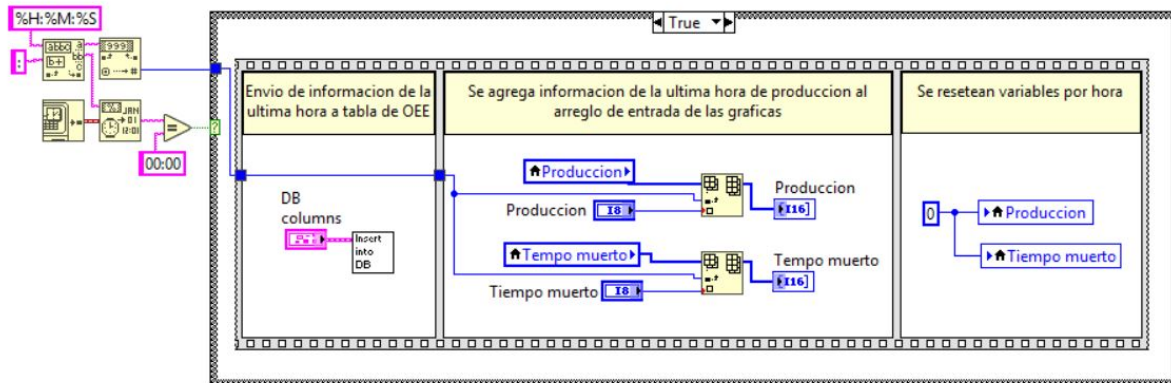


Figura 3.36: Subvi cambio de hora

Como secciones clave se encuentran los gráficos de desempeño. Dichas gráficas se desarrollaron con la finalidad de poder seguir un histórico del desempeño durante el turno. Información útil para el equipo de mantenimiento al momento de rastrear fallas. Los métricos que se rastrean en estas gráficas son el OEE y cada uno de sus componentes, así como los resultados de

producción y la cantidad de defectos.

Para verificar el sistema se realizó una pantalla de mantenimiento, dónde el usuario puede visualizar el estado de las variables monitoreadas de la máquina y comprobar que cambien de estado. De igual forma se tiene un indicador para comprobar que existe conexión con la base de datos.

Al igual que la pantalla de mantenimiento, se agregó la pantalla de microparos, que le sirve al usuario para poder visualizar el conjunto de los últimos 10 eventos ocurridos en el equipo. Esto con el fin de tener a la mano la información más relevante de los eventos de tiempo muerto. Para ello se ejecuta un subvi llamado "query" que ejecuta una consulta en la tabla de "Microparos" y retorna los últimos 10 registros ordenados de manera ascendente. Para ello se utilizó el diagrama de bloques mostrado en la Figura 3.37, dónde por medio de la instrucción ejecutar se ejecuta el query escrito en la constante realizando así la búsqueda de los últimos 10 registros.

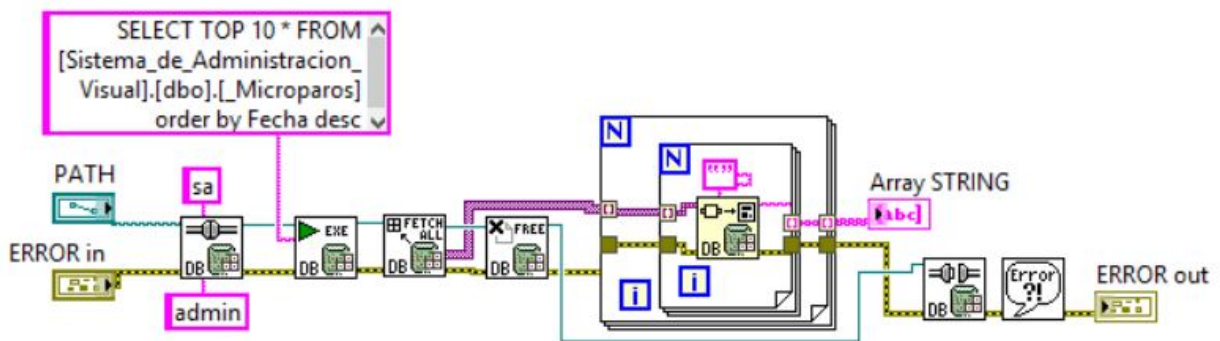


Figura 3.37: Consulta a base de datos microparos

3.7.1. Creación de paquete de instalación

Labview permite generar ejecutables y paquetes de instalación de las aplicaciones desarrolladas. Esto permite que al implementar las aplicaciones puedan ejecutarse desde cualquier equipo sin la necesidad de tener instalado el software. Se le llama paquete de instalación pues alberga todos los vis involucrados así como las librerías y extensiones necesarias según la aplicación.

Es recomendable primero realizar el ejecutable y posteriormente el paquete de instalación. En dado caso de que el programa tuviera una modificación solo sería necesario volver a generar el ejecutable y reemplazarlo en la carpeta del paquete de instalación.

Para generarlo es necesario abrir el proyecto sobre el que se está trabajando. En la parte inferior del árbol del proyecto sobre apartado de "Build Specifications" se da click derecho para seleccionar "New" y después "Application (EXE)" como se muestra en la Figura 3.38.

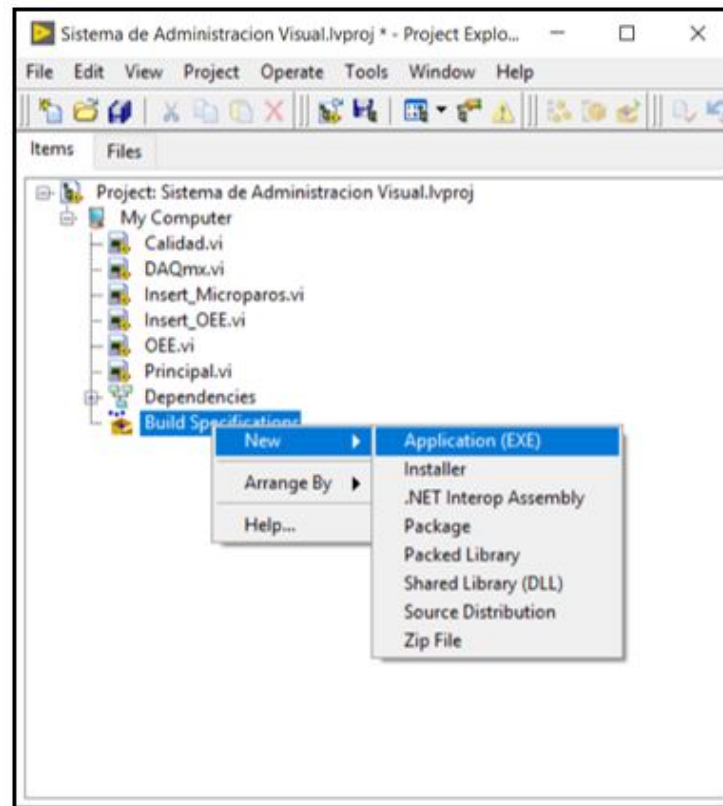


Figura 3.38: Creación de ejecutable

Por consiguiente se abrirá una ventana emergente con varias categorías a configurar. En la primera, correspondiente a la categorías de información, se establece el nombre de la aplicación y una breve descripción de su funcionamiento (véase Figura 3.39). En la siguiente categoría se selecciona el programa principal del conjunto de Vis disponibles y sus dependencias, es decir los subvi que le interesa al usuario incluir en su aplicación (véase Figura 3.40).

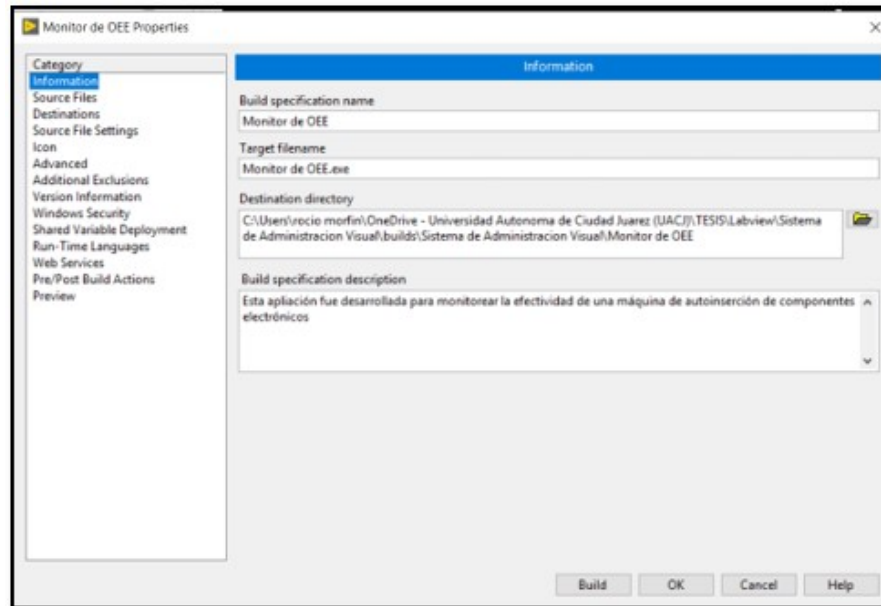


Figura 3.39: Configuración de información del ejecutable

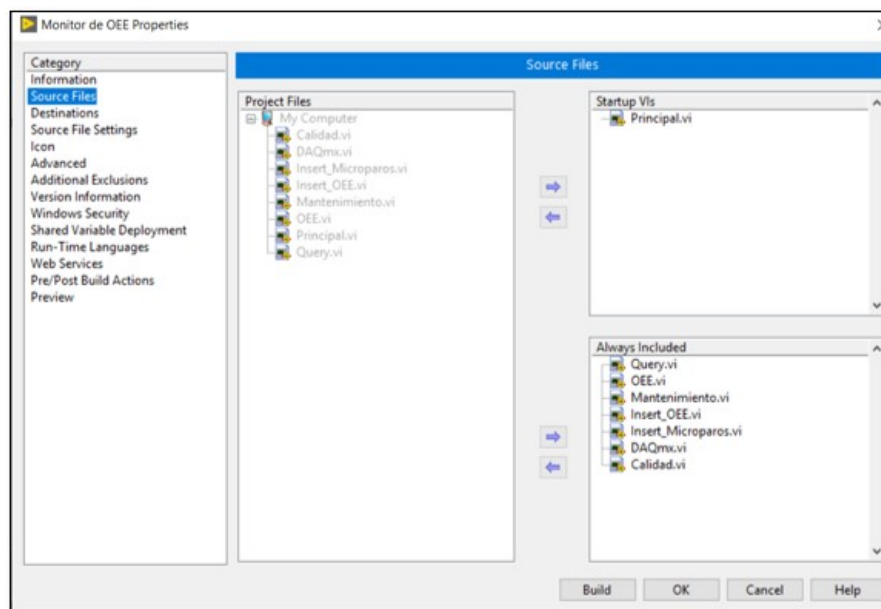


Figura 3.40: Configuración de archivos fuente

El resto de las categorías también son configurable para fines de esta aplicación no fue necesario personalizar otro rubro. Para finalizar se da click en construir "Build" para empezar a generar el ejecutable. Al finalizar se mostrara una pantalla como la de la Figura 3.41.

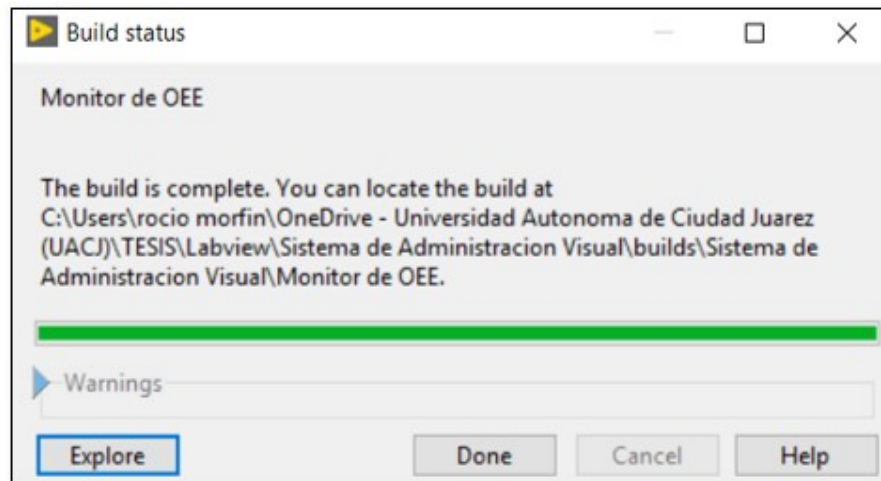


Figura 3.41: Ejecutable generado

Después de haber generado el ejecutable se procede a generar el paquete de instalación para ello se selecciona en el árbol del proyecto en el apartado de "Build Specifications", "new", "Installer". Dónde de igual manera se abrirá una pantalla emergente de configuración como la mostrada en la Figura 3.42. Al finalizar de configurar el instalador se generará una carpeta con el paquete de instalación

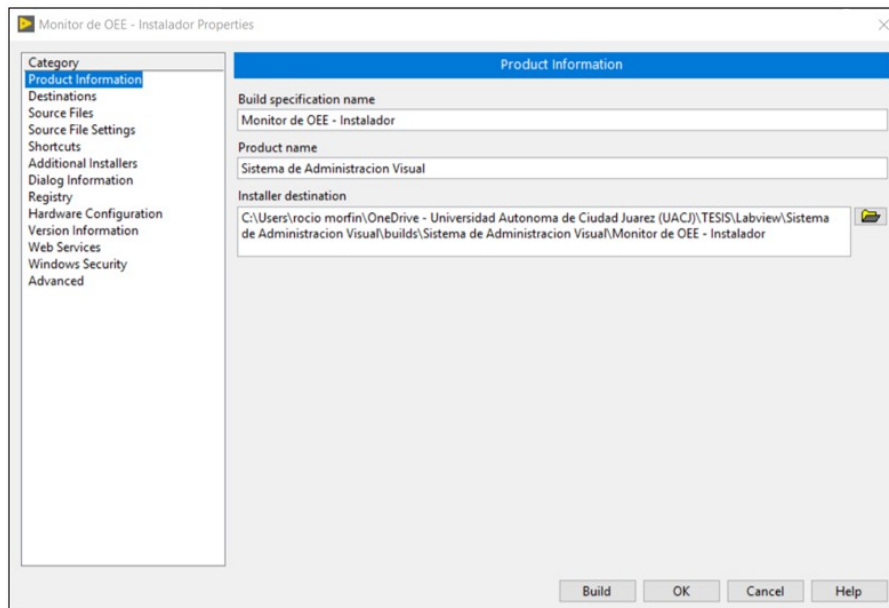


Figura 3.42: Configuración del instalador

3.8. Programación y análisis de datos PowerBi

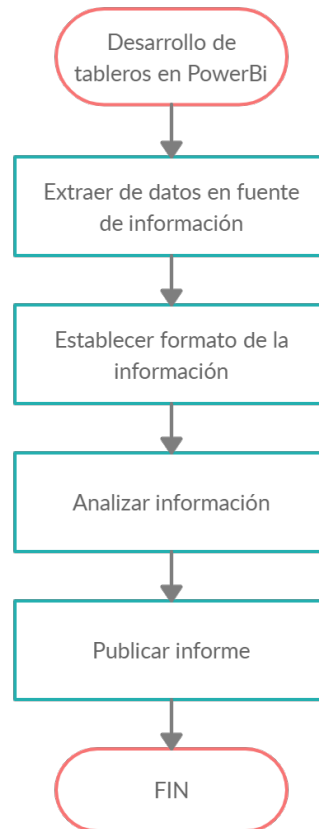


Figura 3.43: Proceso para la creación de tableros en PowerBi

Para el análisis de la información recabada se hizo uso de la herramienta de análisis Power-Bi. Una herramienta utilizada para la creación de reportes interactivos que puedan visualizarse por varios usuarios y en diferentes dispositivos. Para la creación del reporte de la información recabada en el sistema de adquisición de datos de Labview, se crearon 4 tableros en PowerBi que despliegan la información más relevante de lo recabado. Los pasos a seguir para la creación de dichos tableros se muestran en la Figura 3.43.

Previamente para poder utilizar el software y tener acceso a los tableros publicados, fue necesario tener una cuenta de microsoft. Para fines de seguridad de la información se le solicitó a los usuarios utilizaran la cuenta corporativa de newellco.

La descarga del software fue a través de la página de PowerBi (<https://powerbi.microsoft.com/es-es/desktop/>), descargando la versión desktop que es gratuita y abierta al público en general para su descarga.

3.8.1. Extracción de fuente de datos

PowerBI al ser una herramienta de microsoft, tiene la facultad de ser compatible con varios programas lo que facilita el trabajo de vinculación. Dentro de las fuentes de información que acepta se encuentra desde un archivo de texto o hoja de cálculo, hasta la vinculación con bases de datos, en este caso SQL. De modo que SQL servirá de puente entre el sistema de recolección de datos y PowerBI.

Para proceder a vincular la base de datos con el programa, primero es necesario abrir un nuevo tablero en blanco. Una vez abierto, si se ejecuta el asistente te pedirá seleccionar la fuente de información deseada o en su defecto se puede hacer desde la barra de inicio sobre el menú "Insert", "Get Data" Y se selecciona el formato a utilizar, en este caso se seleccionó SQL Server. A continuación se abrirá una pantalla emergente solicitando los datos del servidor al que se desea conectar. En esta ventana es importante seleccionar la casilla de DirectQuery, de lo contrario solo se extrairá la información que exista en ese momento en la base de datos. La Figura 3.44 ejemplifica dicha ventana.

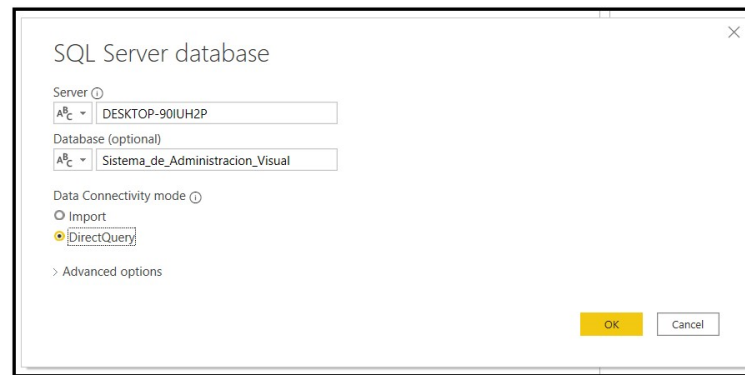


Figura 3.44: Tipo de vinculación con la base de datos

Al dar click en aceptar, del lado izquierdo aparece la fuente de datos y las tablas encontradas en ella. Ahí se podrá visualizar perfectamente la tabla de microparos y la de OEE. En este caso como se utilizaran ambas tablas se seleccionaron las dos. La Figura 3.45 muestra este paso.

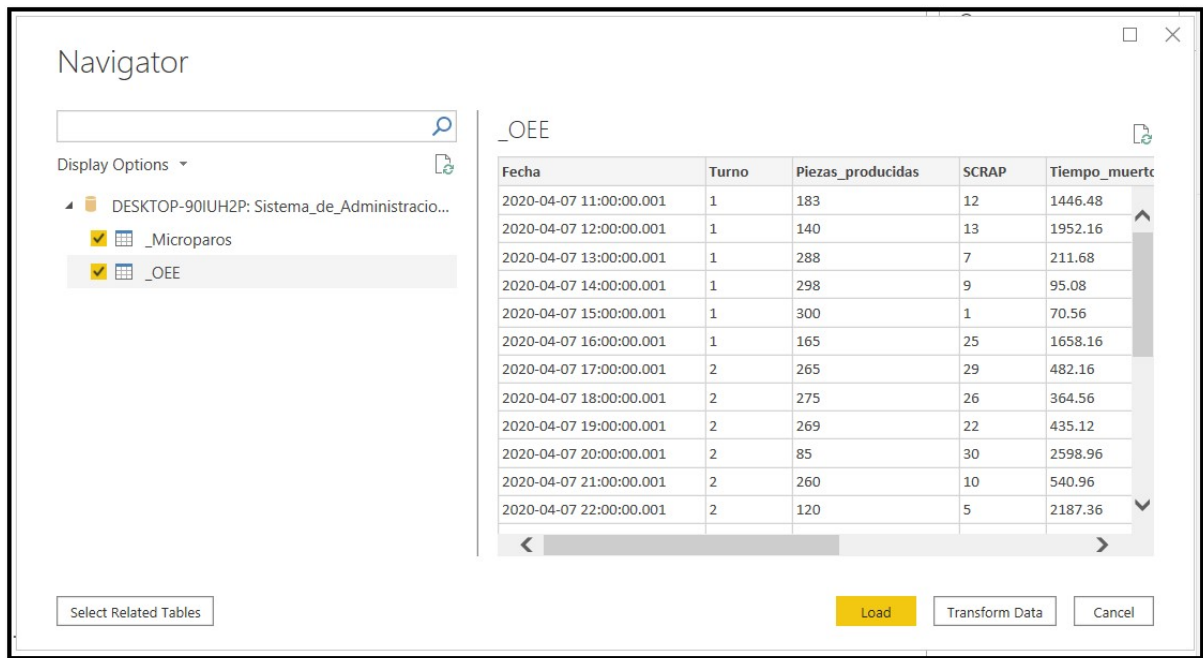


Figura 3.45: Selección de tabla a analizar

Una vez seleccionadas las tablas se le da click en Cargar (load) y listo.

3.8.2. Formato

El siguiente paso clave es el del formato de la información por lo general es conveniente revisar el significado de la información de cada columna para evaluar cuál es el formato más conveniente en cada una de ellas. En esta ocasión al estar vinculada directamente el tablero de PowerBi con la base de datos en SQL, el formato utilizado en los datos es el mismo de la base de datos. Por lo cual es importante establecer desde un principio el adecuado formato para las variables almacenadas en cada columna.

En caso de importar la información de un archivo de texto, base de datos, hoja de cálculo (sin estar sincronizada la información) sí sería posible realizar la edición del tipo de datos a utilizar.

El formato en el que la información es presentada, resulta ser muy importante para el correcto análisis de la información. Dependiendo del propósito de cada variable y las interacciones que tenga con otros datos es el tipo de dato mas conveniente a utilizar.

Dentro de la gama de opciones se encuentran:

- General
- Moneda
- Decimales

- Números enteros
- Notación científica

La Figura 3.46 muestra las opciones presentadas y dónde se configuran.

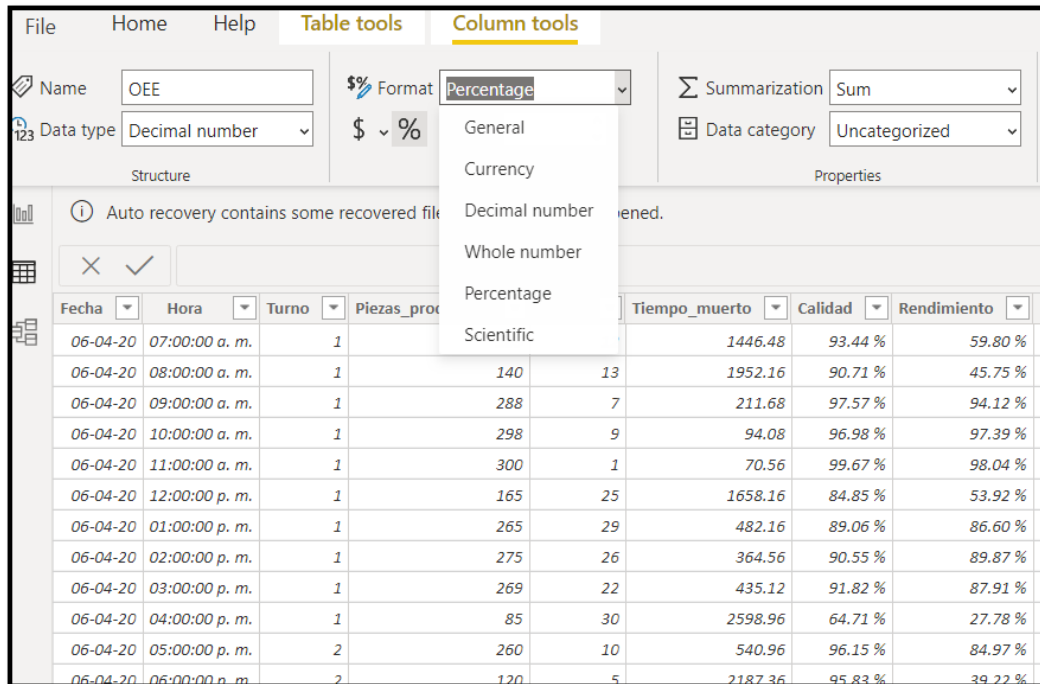


Figura 3.46: Selección del formato de los datos

De igual forma se pueden agregar columnas al conjunto de datos para contribuir a su análisis más adelante. Para el caso de esta aplicación se agregó una columna adicional para determinar el día actual. En esta columna cada registro compara el registro de la columna fecha con el valor de la fecha actual provisto por el comando "today()" restándolos. De resultar el valor igual a cero el registro sería del día de hoy, de ser negativo correspondería a un registro pasado (véase Figura 3.47).

power bi oee N - Power BI Desktop Rocio MorfinDia

File Home Help Table tools Column tools

Name HOY 123 Whole number \$ % 0 Sum

Auto recovery contains some recovered files that haven't been opened. View recovered files

1 HOY = Hoja1[Fecha].[Date] - today()

Fecha	Hora	Turno	Piezas_producidas	SCRAP	Tiempo_muerto	Calidad	Rendimiento	Disponibilidad	OEE	HOY	Meta de produccion
06-04-20	07:00:00 a. m.	1	183	12	1446.48	93.44 %	59.80 %	59.82 %	33.43 %	-230	
06-04-20	08:00:00 a. m.	1	140	13	1952.16	90.71 %	45.75 %	45.77 %	19.00 %	-230	
06-04-20	09:00:00 a. m.	1	288	7	211.68	97.57 %	94.12 %	94.12 %	86.43 %	-230	
06-04-20	10:00:00 a. m.	1	298	9	94.08	96.98 %	97.39 %	97.39 %	91.98 %	-230	
06-04-20	11:00:00 a. m.	1	300	1	70.56	99.67 %	98.04 %	98.04 %	95.80 %	-230	
06-04-20	12:00:00 p. m.	1	165	25	1658.16	84.85 %	53.92 %	53.94 %	24.68 %	-230	
06-04-20	01:00:00 p. m.	1	265	29	482.16	89.06 %	86.60 %	86.61 %	66.79 %	-230	
06-04-20	02:00:00 p. m.	1	275	26	364.56	90.55 %	89.87 %	89.87 %	73.13 %	-230	
06-04-20	03:00:00 p. m.	1	269	22	435.12	91.82 %	87.91 %	87.91 %	70.96 %	-230	
06-04-20	04:00:00 p. m.	1	85	30	2598.96	64.71 %	27.78 %	27.81 %	5.00 %	-230	
06-04-20	05:00:00 p. m.	2	260	10	540.96	96.15 %	84.97 %	84.97 %	69.42 %	-230	
06-04-20	06:00:00 p. m.	2	120	5	2187.36	95.83 %	39.22 %	39.24 %	14.75 %	-230	
06-04-20	07:00:00 p. m.	2	277	4	341.04	98.56 %	90.52 %	90.53 %	80.76 %	-230	
06-04-20	08:00:00 p. m.	2	285	18	246.96	93.68 %	93.14 %	93.14 %	81.27 %	-230	
06-04-20	09:00:00 p. m.	2	290	3	188.16	98.97 %	94.77 %	94.77 %	88.89 %	-230	
06-04-20	10:00:00 p. m.	2	156	22	1764	85.90 %	50.98 %	51.00 %	22.33 %	-230	
06-04-20	11:00:00 p. m.	2	256	12	588	95.31 %	83.66 %	83.67 %	66.71 %	-230	
07-04-20	12:00:00 a. m.	2	287	8	223.44	97.21 %	93.79 %	93.79 %	85.52 %	-229	
07-04-20	01:00:00 a. m.	2	120	5	2187.36	95.83 %	39.22 %	39.24 %	14.75 %	-229	
07-04-20	02:00:00 a. m.	3	180	6	1481.76	96.67 %	58.82 %	58.84 %	33.46 %	-229	

Figura 3.47: Ejemplo de columna personalizada

3.8.3. Análisis de la información

Una vez importada la información en el tablero, se procede a diseñar el reporte. Para mejorar la distribución de los datos, se realizaron dos tableros: uno para el OEE y otro para el análisis de tiempo muerto.

PowerBi cuenta con una gama amplia de visualizaciones para representar y agrupar la información, de manera que sea mas fácil para el usuario interpretarla. La Figura 3.48 enseña la variedad de gráficos disponibles.

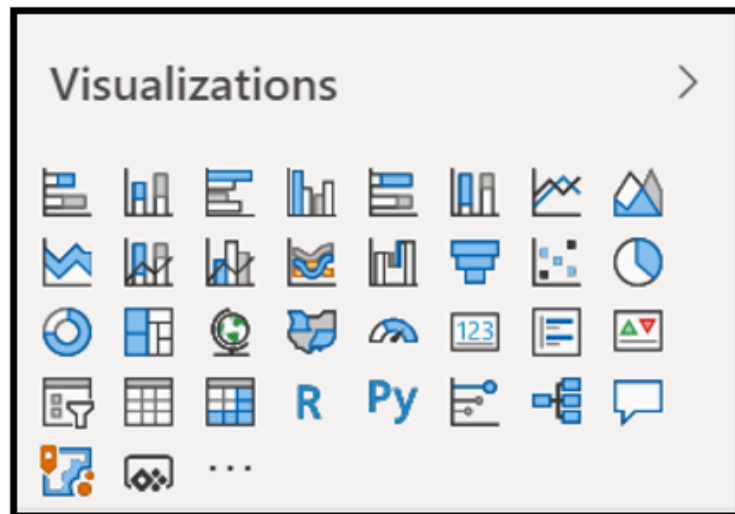


Figura 3.48: Visualizaciones disponibles en Power Bi

3.8.3.1. Tablero principal (OEE)

A partir de la información extraída de las tablas de la base de datos se generó un tablero principal en powerBi con la finalidad de mostrar los resultados actuales del OEE y cada uno de sus elementos. Para ello se utilizó primeramente una visualización del tipo "Gauge" para colocar un indicador del OEE del día actual. En ella se utilizó como filtro la columna hoy para considerar únicamente los valores iguales a cero, correspondientes con el día de hoy (ver Figura 3.49).

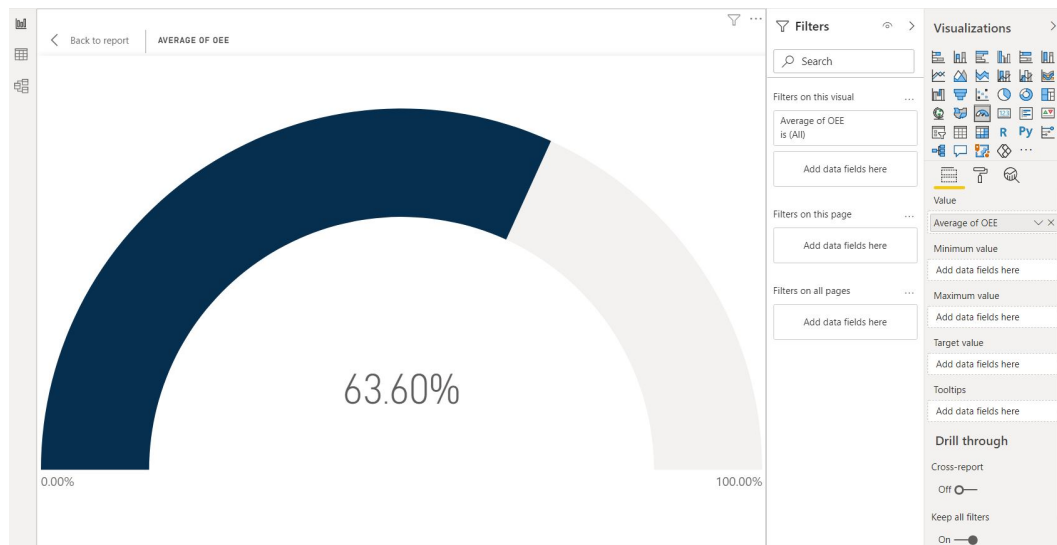


Figura 3.49: Visualizaciones del promedio del día del OEE

De la misma manera así como se reporta el resultado del acumulado del día en cuanto a OEE, se despliega en el mismo tablero el acumulado del día de cada elemento del OEE (disponibilidad, rendimiento y calidad). Y en cada uno de estos resultados se agregó una visualización de texto con una acción de navegación que permitirá al usuario moverse de página según sea

el caso (véase Figura 3.50).

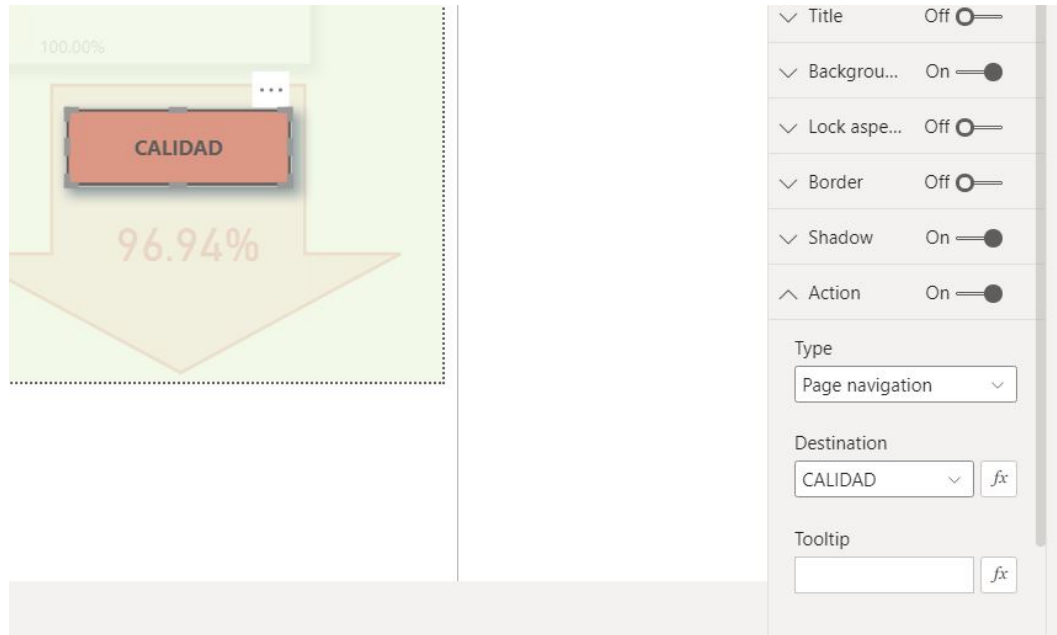


Figura 3.50: Visualizaciones de texto con configuración de navegación

3.8.3.2. Tableros secundarios (Disponibilidad, Rendimiento y Calidad)

Los tableros secundarios buscan desplegar la información relacionada al elemento del OEE correspondiente haciendo uso de diferentes visualizaciones que brindan una manera más fácil para el usuario de comprender los resultados de la información.

En total se crearon 3 tableros secundarios, uno para cada elemento cada uno desplegando la información mostrada en la siguiente tabla.

Tablero	Visualización	Propósito
Disponibilidad	Texto	Promedio de duración de tiempo muerto diario
Disponibilidad	Gráfico de líneas	Tiempo muerto por hora
Disponibilidad	Gráfica de pay	Principales contribuidores
Rendimiento	Texto	Promedio de piezas producidas por hora
Rendimiento	Gauge	Promedio del cumplimiento al plan de producción
Rendimiento	Gráfica de línea	Histórico de producción diaria
Calidad	Texto	Promedio de defectos por hora
Calidad	Texto	Cantidad de defectos por mes
Calidad	Gáfica de pay	Defectos por componente
Calidad	Gáfica de líneas	Defectos diarios durante el mes

Tabla 3.2: Visualizaciones utilizadas en los tableros secundarios

A continuación algunos ejemplos de las visualizaciones utilizadas y sus configuraciones enc

ada una de ellas.

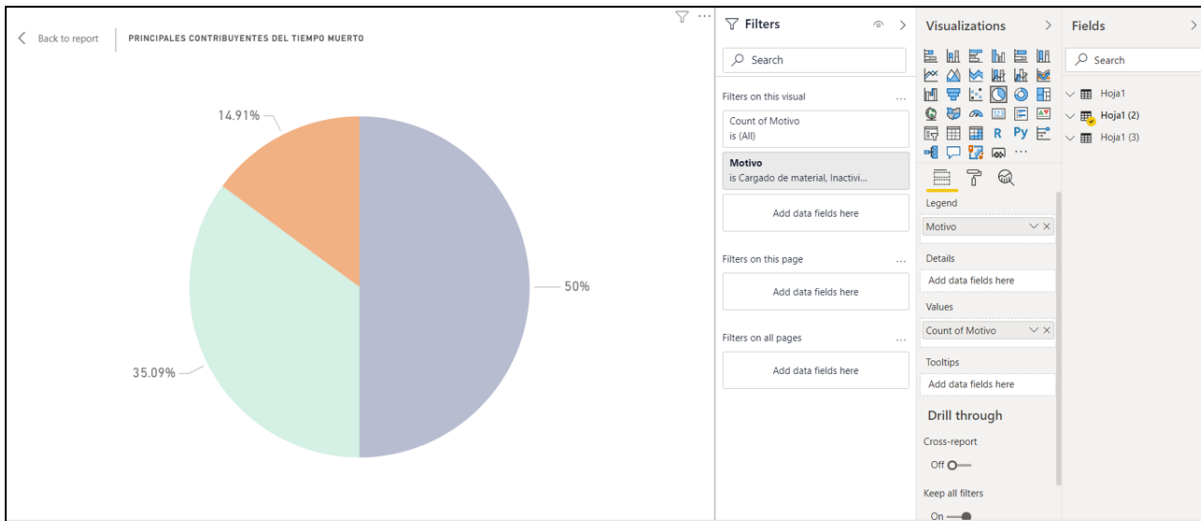


Figura 3.51: Configuración gráfica de pay

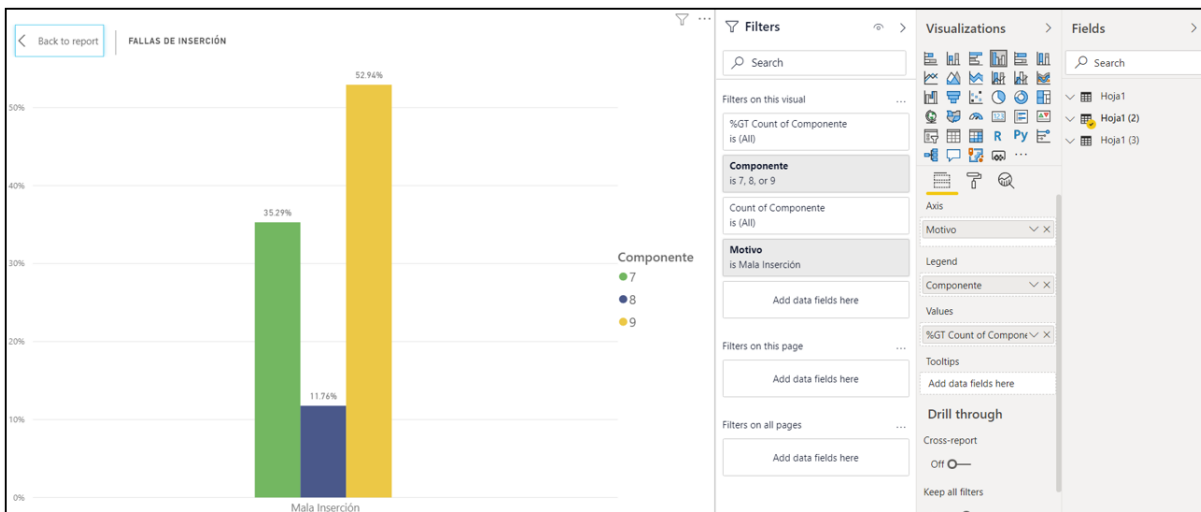


Figura 3.52: Configuración gráfica de barras

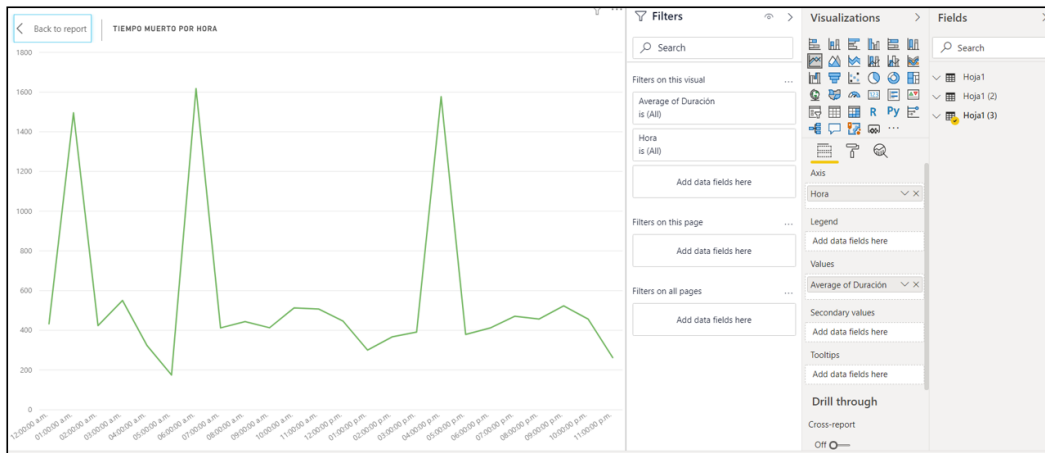


Figura 3.53: Configuración gráfica lineal

3.8.4. Publicación de tableros

Para que el tablero sea de acceso público, una vez terminado su diseño es importante publicarlo. Para ello se selecciona la opción de archivo, publicar y publicar en Power Bi (véase Figura 3.54). Una vez seleccionado aparecerá un recuadro pidiendo que se seleccione el sharepoint en el que se desea almacenar la información. Una vez seleccionado aparecerá un mensaje como el de la Figura 3.55 indicando que el reporte o tablero ya ha sido publicado y dando acceso al link virtual del mismo.

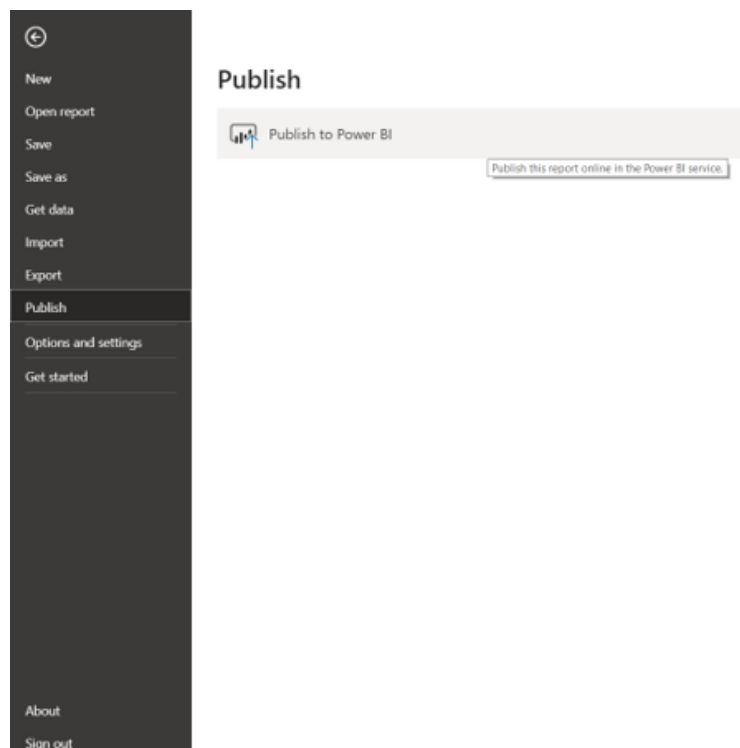


Figura 3.54: Pasos para publicar el tablero

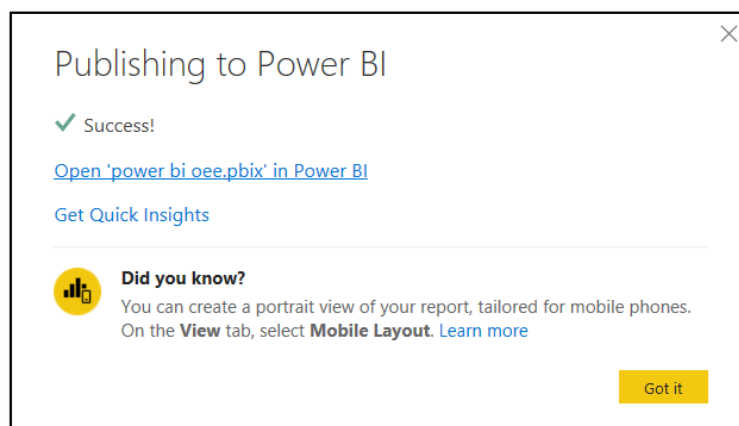


Figura 3.55: Mensaje de confirmación de la publicación.

3.9. Validación del sistema

Al publicar el tablero, el sistema quedó oficialmente puesto en marcha. Para facilidad de todos los usuarios, se creó un sharepoint bajo el nombre de "Monitoreo de OEE", dirección donde fueron publicados los tableros y a la que se le dio acceso a todo el equipo multidisciplinario de la línea.

Como parte de la implementación, se sometió el sistema a un período de validación, donde los usuarios más interesados nos ayudaron a monitorear que la información mostrada fuera la indicada y la correcta.

Para ello se levantó un checklist de validación para revisar a detalle cada elemento del sistema. Con el objetivo de retar el sistema se enlistan en dicho documento pasos a verificar para confirmar que el funcionamiento del sistema sea el esperado. Creando así comparaciones entre lo que muestra el sistema y lo que sucede en la realidad en la máquina. Estos puntos de verificación ayudaron a detectar errores en el sistema y considerar posibles mejoras para el mismo. En el anexo II se puede encontrar formato utilizado como checklist para esta validación.

Dentro de los puntos a verificar uno de mayor peso es la comprobación de estados de las señales adquiridas por la tarjeta de adquisición de datos. Aquí se le pide al usuario evaluador forzar cada señal para comprobar que la aplicación de Labview esté adquiriendo la señal. Para ello se utiliza la ventana de mantenimiento. Por ejemplo para comprobar que la conexión a la base de datos es exitosa y que en caso de fallar el sistema puede detectarlo, en la ventana de mantenimiento hay un indicador de "conexión a la base de datos", si al desconectar el cable de red dicho indicador no se apaga el sistema podría tener un error. Otro ejemplo al abrir y cerrar la puerta se debe poder apreciar un cambio de estado en el indicador de material. La Figura 3.56 muestra dicha pantalla de mantenimiento.



Figura 3.56: Pantalla de mantenimiento para validación del sistema.

Capítulo 4

Resultados

4.1. Implementación del sistema

El sistema fue puesto en marcha en la máquina VCD número tres de la celda de autoinserción. Este equipo fue seleccionado al ser considerado la operación restricción de la línea, misma que representaba el equipo con más tiempo muerto y problemas de mantenimiento registrados.

La implementación del sistema consistió en la instalación del monitor de procesos constituida por una aplicación de recolección de datos desarrollada en Labview. La implementación de un servidor SQL para el almacenamiento de los datos recopilados y la publicación de tableros de información en PowerBi, para brindarle al usuario la información de una manera más gráfica y organizada. La Figura 4.1 muestra el sistema puesto en marcha en la línea. Al usuario final se le otorgó acceso a cada uno de los productos de este sistema.



Figura 4.1: Sistema funcionando en producción

4.2. Integración del hardware

El sistema de adquisición de señales desarrollado en Labview es el puente entre la información y la máquina a analizar. Para ello fue necesario interactuar entre máquina y computadora.

Para lograr la interacción entre la máquina y el sistema de adquisición se realizó una tablilla electrónica con el circuito propuesto en la Figura 3.9. El circuito consta de un juego de 6 relevadores que conmutan con el voltaje de operación de la máquina para switchear el voltaje de operación lógico TTL (5V). En la Figura 4.2 se puede apreciar el circuito electrónico utilizado en esta interacción.

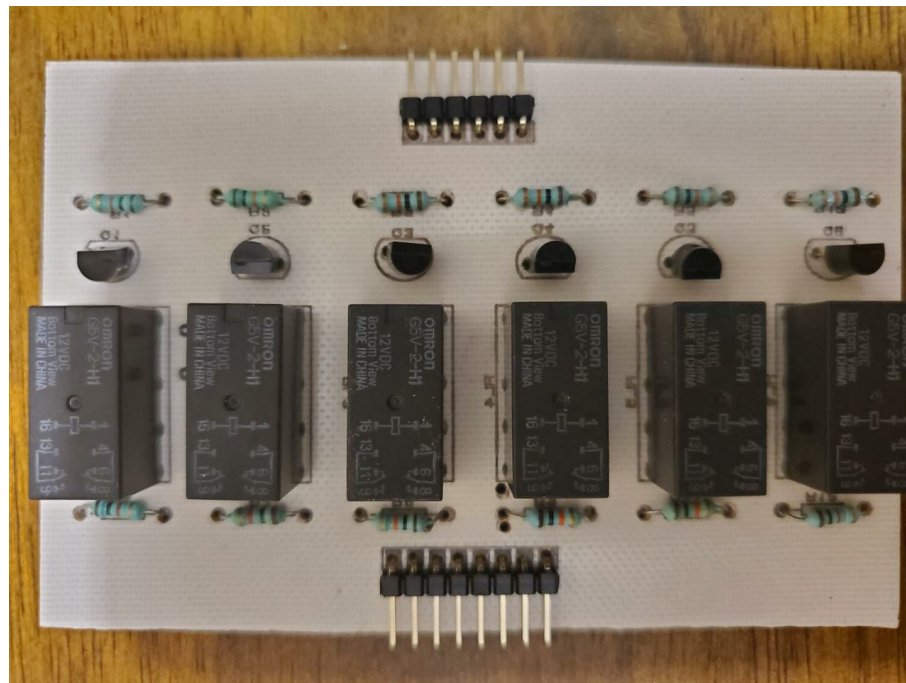


Figura 4.2: Circuito de acoplamiento de señales eléctricas.

Cada una de las señales de interés de la máquina es conectada a una entrada de la tarjeta electrónica, correspondiente a una salida de la misma que es conectada a una entrada de la tarjeta de adquisición de datos.

La tarjeta de adquisición de datos a su vez fue instalada cerca del equipo de computo para poder tener fácil acceso a la conexión USB y así dejar establecido el canal de comunicación máquina/PC. La instalación del equipo de cómputo donde se alberga el sistema se colocó a un costado de la máquina para tener fácil acceso a las señales de interés y a su vez tener un espacio libre para la visualización de la pantalla del monitor.

Por otro lado se conectó la PC a la red empresarial para poder tener una canal de comunicación entre la PC y el servidor de la base de datos y con ello toda la información recopilada por el sistema poder almacenarla en un sistema seguro.

4.3. Monitor de proceso en Labview

El monitor de OEE es una aplicación desarrollada en Labview dónde por medio de la adquisición de datos se recolecta información clave del proceso para agruparla y almacenarla. Dicha aplicación está de primera mano con el usuario del equipo dado que está instalada a un costado de la máquina. Y sirve como puente entre la máquina y la base de datos del sistema.

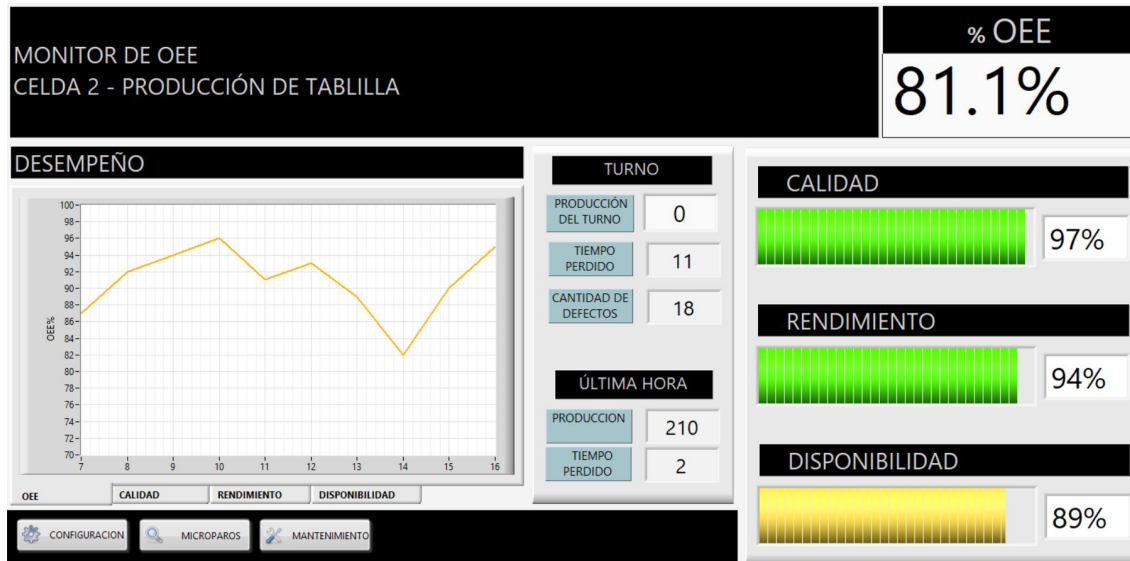


Figura 4.3: Interfáz de usuario del sistema de adquisición de datos

La Figura 4.3 muestra la interfáz de usuario de la aplicación desarrollada en Labview para la adquisición de datos del proceso. Dicha pantalla despliega información en tiempo real de lo acontecido y acumulado durante la hora y durante el turno. Con la finalidad de proveer al usuario final de la información actual más relevante del proceso.

La pantalla se divide en tres secciones. La primera muestra los métricos de interés, en este caso el OEE y sus componentes: calidad, rendimiento y disponibilidad. Mismos que serán indicadores para medir la efectividad del equipo (véase Figura 4.4). Aquí el código de colores nos indica la gravedad de cada elemento. Valores abajo del 75 % de color rojo, valores entre 75 % y 90 % de color amarillo y arriba de 90 % verde.

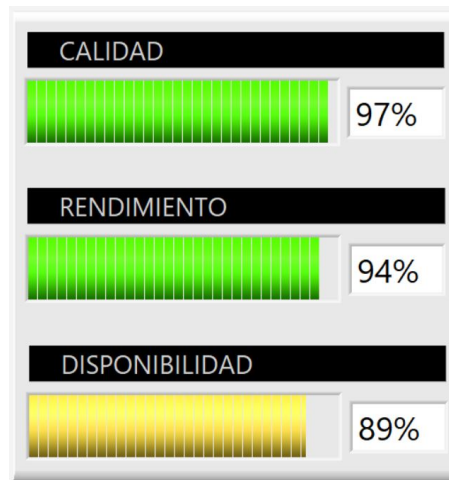


Figura 4.4: Indicadores de elementos del OEE en la interfáz de usuario de Labview

La segunda sección (véase Figura 4.5) despliega los métricos de producción referente a cantidad de piezas producidas, cantidad de rechazos, tiempo muerto acumulado. Desplegando el acumulado del turno y el acumulado de la última hora, esto para tener una proyección más clara de cómo se va desempeñando el proceso durante el turno. También cuando se realiza una intervención al equipo, ayuda a identificar de manera más objetiva si los cambios realizados están teniendo un impacto significativo vs el comportamiento previo a su intervención.



Figura 4.5: Métricos de producción desplegados en la interfáz de usuario de Labview

Y finalmente la tercera sección (véase Figura 4.6) compuesta por una serie de gráficos que contribuyen a ir registrando hora por hora los resultados de cada elemento clave del sistema. Con ello se puede identificar rápidamente las deficiencias del proceso, intervenciones o mejoras a lo largo del turno. Se realizó en forma de gráfico para que fuera más familiar e interactivo con el usuario.

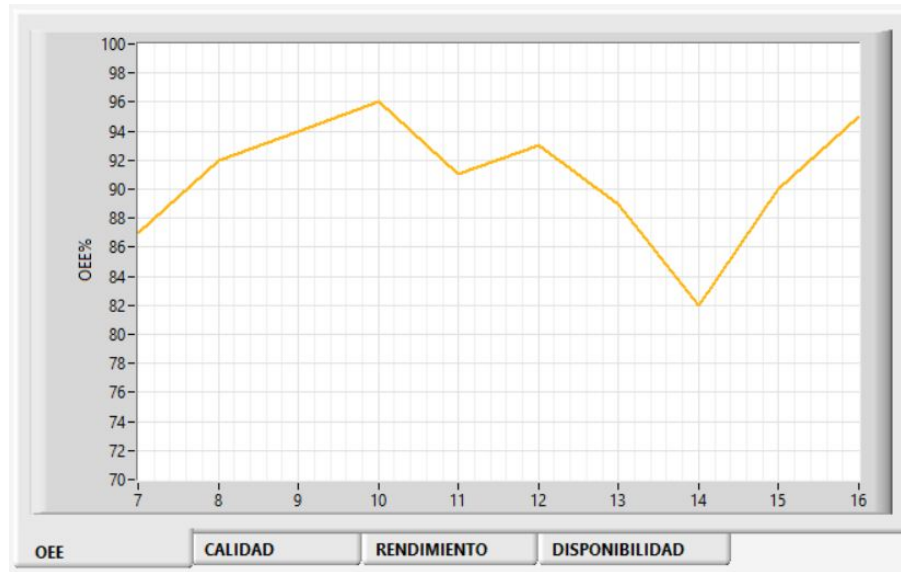


Figura 4.6: Gráficos de elementos clave en la interfáz de usuario de Labview

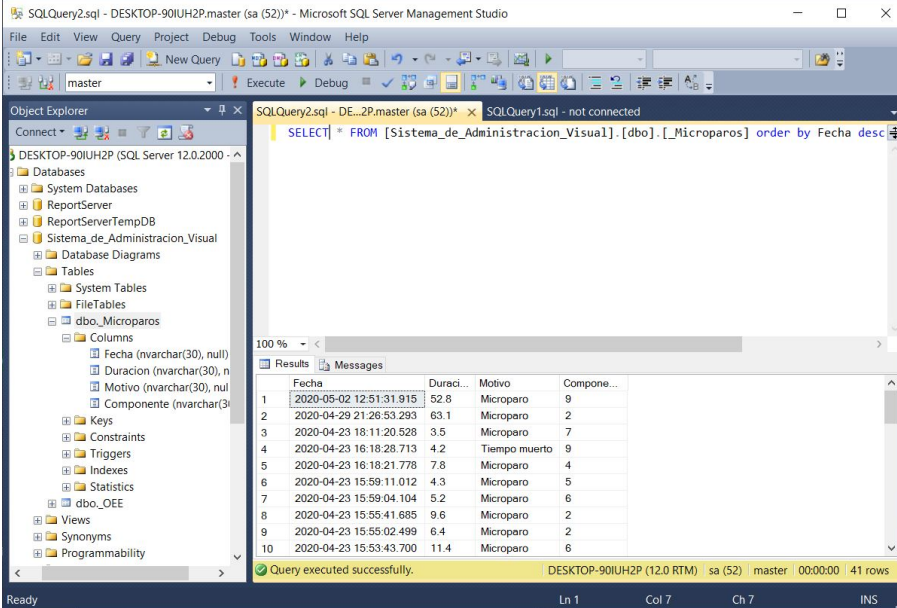
Dentro de las herramientas adicionales que ofrece el sistema es una pequeña búsqueda en la base de datos para identificar las últimas 10 eventos de tiempo muerto en la máquina. Con dicha información el equipo de mantenimiento podrá identificar rápidamente si una falla tiene recurrencia en un corto período de tiempo. La Figura 4.7 muestra la pantalla de dicho histórico.

FECHA	DURACION	MOTIVO	COMPONENTE
2020-05-02 12:51:31.915	52.8	Microparo	9
2020-04-29 21:26:53.293	63.1	Microparo	2
2020-04-23 18:11:20.528	3.5	Microparo	7
2020-04-23 16:18:28.713	4.2	Tiempo muerto	9
2020-04-23 16:18:21.778	7.8	Microparo	4
2020-04-23 15:59:11.012	4.3	Microparo	5
2020-04-23 15:59:04.104	5.2	Microparo	6
2020-04-23 15:55:41.685	9.6	Microparo	2
2020-04-23 15:55:02.499	6.4	Microparo	2
2020-04-23 15:53:43.700	11.4	Microparo	6

Figura 4.7: Histórico de eventos de tiempo muerto

4.4. Almacenaje de la información

Como producto, el medio de almacenaje para toda la información recopilada por el sistema fue un servidor con una base de datos en SQL. Se decidió manera así a través de la red para futuros proyectos y a su vez disminuir la cantidad de recursos demandados en el equipo de cómputo.



The screenshot shows the Microsoft SQL Server Management Studio interface. The Object Explorer on the left displays the database structure for 'Sistema_de_Administracion_Visual', including tables like 'dbo_Microparos'. The main window shows a query: `SELECT * FROM [Sistema_de_Administracion_Visual].[dbo].[Microparos] order by Fecha desc`. The Results pane displays the following data:

Fecha	Duraci...	Motivo	Compone...
2020-05-02 12:51:31.915	52.8	Microparos	9
2020-04-29 21:26:53.293	63.1	Microparos	2
2020-04-23 18:11:20.528	3.5	Microparos	7
2020-04-23 16:18:28.713	4.2	Tiempo muerto	9
2020-04-23 16:18:21.778	7.8	Microparos	4
2020-04-23 15:59:11.012	4.3	Microparos	5
2020-04-23 15:59:04.104	5.2	Microparos	5
2020-04-23 15:55:41.685	9.6	Microparos	2
2020-04-23 15:55:02.499	6.4	Microparos	2
2020-04-23 15:53:43.700	11.4	Microparos	6

Figura 4.8: Tabla de microparos en base de datos

4.5. Análisis de datos Power Bi

Para permitir el acceso libre a la información recopilada por el sistema, sin la necesidad de ir físicamente a la máquina, se generaron tableros en Power Bi que muestran la información más relevante de la operación de manera clara, agrupada y accesible para cualquier usuario. A estos tableros tiene acceso todo el personal de la planta conectado en la red local de la compañía e ingresando al tablero con su cuenta corporativa. Esto con la finalidad de conservar las políticas de seguridad de la información de la empresa. La Figura 4.9 muestra la vista del tablero ya publicado

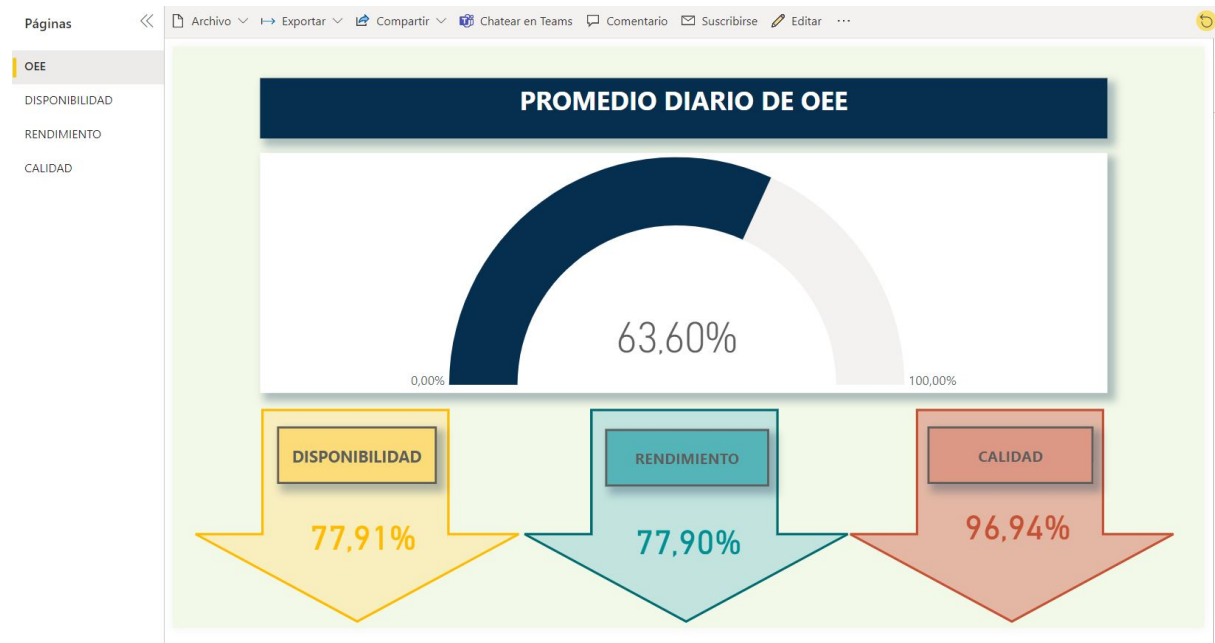


Figura 4.9: Tablero del OEE

La interfaz de PowerBi se constituye por un tablero principal y tres tableros secundarios. En el tablero principal se busca presentar un resumen de los resultados de los principales métricos de la operación. Aquí se despliega resultado promedio del OEE y cada uno de sus componentes durante el día.

Para hacer la navegación más atractiva se agregaron botones en la sección de cada elemento del OEE para redireccionar al usuario a pestañas específicas con la información clave del elemento.

En la Figura 4.10 se muestra el tablero correspondiente a los resultados de disponibilidad. Aquí se puede encontrar información relevante como los principales contribuyentes del tiempo muerto, la duración promedio de los eventos registrados como tiempo muerto y el comportamiento hora por hora del tiempo muerto acumulado durante el turno en la operación.



Figura 4.10: Tablero de disponibilidad

El tablero de rendimiento, mostrado en la Figura 4.11 muestra en tiempo real el promedio de piezas producidas por hora; así como el porcentaje al cumplimiento de producción, para tener una idea clara del porcentaje de piezas producidas según la meta. Y por último el histórico de piezas producidas por día,



Figura 4.11: Tablero de rendimiento

Por último el tablero de calidad, mostrado en la Figura 4.12, muestra el promedio de

defectos generados en la operación por hora. La cantidad acumulada de defectos en el mes. Y el porcentaje de cantidad de defectos diarios durante todo el mes.



Figura 4.12: Tablero de calidad

De manera paralela PowerBi cuenta con una modalidad para desplegar los tableros desde cualquier dispositivo ya sea una PC, una tablet o un smartphone. Para ello se desarrolló la vista especial móvil que permitió se conservara la información del tablero sin ser afectada por el tamaño y resolución predeterminado de la pantalla. La Figura 4.13 muestra la vista en modo smartphone.



Figura 4.13: Vista móvil para los tableros.

4.6. Resultados de la validación

Como proceso de validación se entregó un checklist de validación a un representante de cada área involucrada (calidad, producción, mantenimiento, manufactura y operaciones) con la finalidad de retroalimentar el sistema y su diseño con la opinión del usuario. La Figura ?? muestra uno de estos checklist.

CHECKLIST DE VALIDACIÓN DEL SISTEMA		newell BRANDS	
Nombre: <i>Alonso Realinoque</i>			
Fecha: <i>01- Noviembre - 20</i>			
	Cumple	No cumple	
¿Al realizar una mala inserción el equipo se detiene y se registra el tiempo muerto?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
¿Al terminarse un rollo de material el sistema registra el tiempo perdido?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
¿Al abrir la puerta derecha de material el sistema registra el tiempo perdido?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
¿Al abrir la puerta izquierda de material el sistema registra el tiempo perdido?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
¿La información proveída por el sistema es consistente con los datos recabados de producción?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Compruebe conexión con la base de datos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
¿Al hacer una inserción cambia de estado el indicador de inserción?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
¿Al alarmarse el equipo cambia de estado el indicador de error?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
¿Al abrir la puerta derecha del material cambia de estado el indicador de material A?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
¿Al abrir la puerta izquierda del material cambia de estado el indicador de material B?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Al cambiar terminar la inserción de una pieza el contador de piezas por hora suma uno?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Al cambiar terminar la inserción de una pieza el contador de piezas por día suma uno?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
¿La cantidad de piezas producidas coincide con la cantidad real de producción?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Abra la puerta de material derecha y registre el tiempo que se tarda en restablecer el equipo. ¿coincide con el tiempo registrado en la base de datos el evento?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
¿Al alarmarse el equipo se registra el evento en la base de datos?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
¿Al realizar una mala inserción el equipo se registra el evento en la base de datos?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
¿Al faltar material se registra el evento en la base de datos?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
¿Al cambio de hora los indicadores de por hora se resetean de la pantalla principal del monitor de OEE en labview?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
¿Al cambio de hora se registra el acumulado de la hora anterior en la base de datos?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
¿En los tablero de PowerBi se registran los resultados correctos en cada hora?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Comentarios <i>Se recomienda agregar más filtros en el tablero de Power Bi</i>			

Figura 4.14: Checklist de validación

Dentro de las observaciones realizadas en este procedimiento, las más relevantes fueron las

siguientes:

- Poder filtrar en el tablero por rango de fechas para hacer comparaciones entre el día actual y fechas posteriores.
- Habilitar un modo para generar screenshots de la pantalla del sistema en Labview que permita al usuario evidenciar comportamientos o momentos clave en el proceso.
- Enviar por correo un screenshot de la pantalla al finalizar cada turno
- Habilitar una especie de alarma cuando el comportamiento de la máquina este por debajo de lo esperado en un determinado período de tiempo. O cuando se detecte un tiempo muerto mayor a 40 min para que todo el personal este enterado de la situación.

4.7. Analisis de la información recopilada

Con este sistema se evidenció los problemas presentados por producción o problemas con la maquinaria, que anteriormente no eran cuantificables para poder atacarlos y mejorar así los resultados de la operación. Dentro de los métricos monitoreados se encuentra el tiempo muerto, la cantidad de piezas producidas y los métricos que componen el OEE: calidad, rendimiento y disponibilidad.

De acuerdo con los datos recopilados de la celda por el sistema de monitoreo, se concluyó que la operación trabaja a un 63.6 % de eficiencia. En la Figura 4.15 se puede apreciar la contribución de cada elemento de OEE en la obtención de dicho resultado, teniendo como mayor contribuyente a la calidad con un 96.4 % y como menores contribuyentes al rendimiento con un 77.91 %, seguido de un 77.9 % de disponibilidad causado por el tiempo muerto durante el turno.

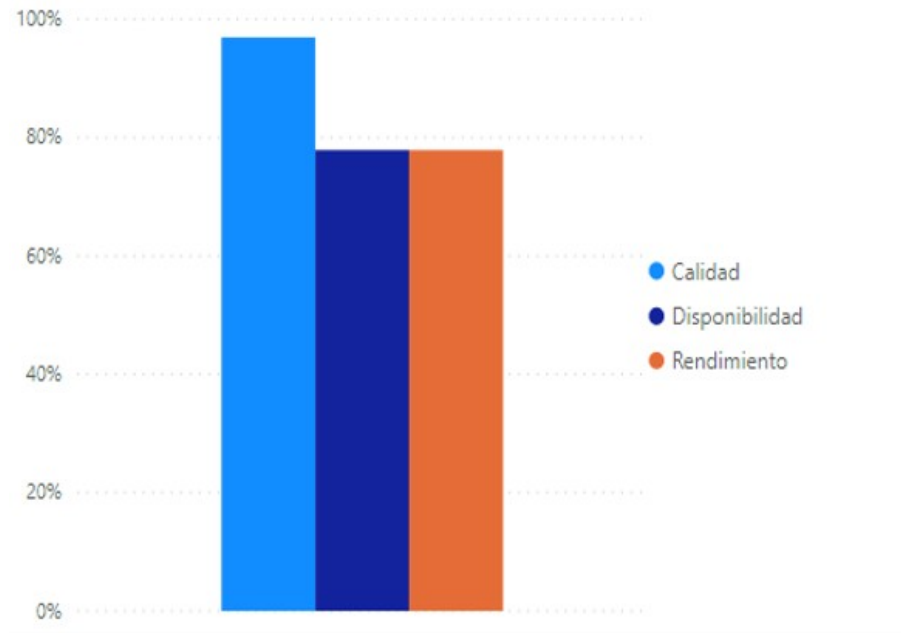


Figura 4.15: Porcentaje de contribución al OEE.

Lo que demuestra que el equipo no está siendo utilizado en su totalidad. El tiempo muerto que termina reflejándose en el rendimiento de la operación, es sin duda el factor determinístico en este bajo porcentaje de efectividad. De acuerdo con la información capturada, dicho tiempo muerto es causado por tres factores principalmente: inactividad, fallas de equipo y cargado de material. Del total de tiempo muerto de la operación 50.0 % corresponde al tiempo invertido durante el turno para cargar material nuevo; seguido de un 35.09 % producto de tiempos de inactividad, por lo general absorbidos por intervenciones de parte del equipo de mantenimiento. Y como tercer contribuidor los defectos producto de una mala inserción con el 14.91 % (véase 4.16).

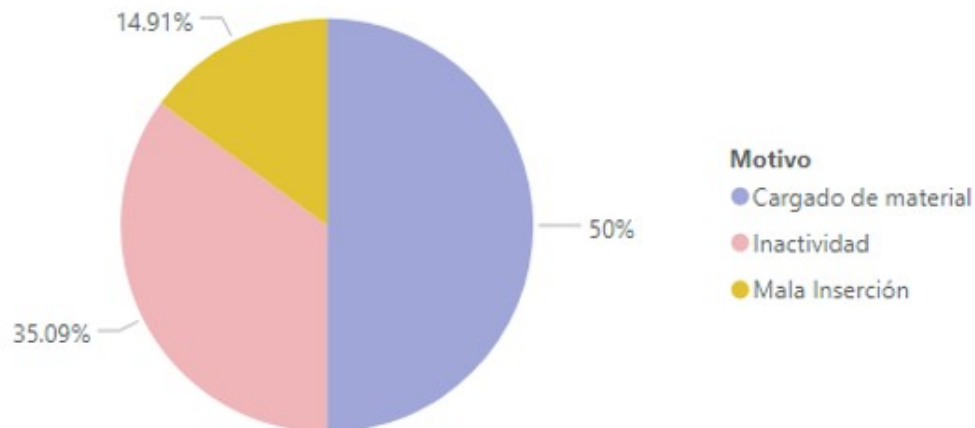


Figura 4.16: Contribuidores de tiempo muerto

Con base en estos resultados se tomaron las siguientes acciones para contribuir en la reducción del tiempo muerto en la operación:

- Cargado de material. Se habilitó un 30% adicional de alimentadores para reducir la frecuencia del cargado de material en la operación. Así como se impulsó el igualar la cantidad de componentes almacenados en cada caja con cada uno de los proveedores.
- Inactividad. Con la información recapitulada en la pantalla de tiempo muerto (véase en 4.17), se observó que las horas con mayor inactividad durante el turno eran las 4:00 pm y la 1:00 am, horarios en los que el cambio de turno se ve manifestado. Con esta información el personal de producción del segundo turno se puso a trabajar en una estrategia para realizar la entrega de turno de una manera más fluida.

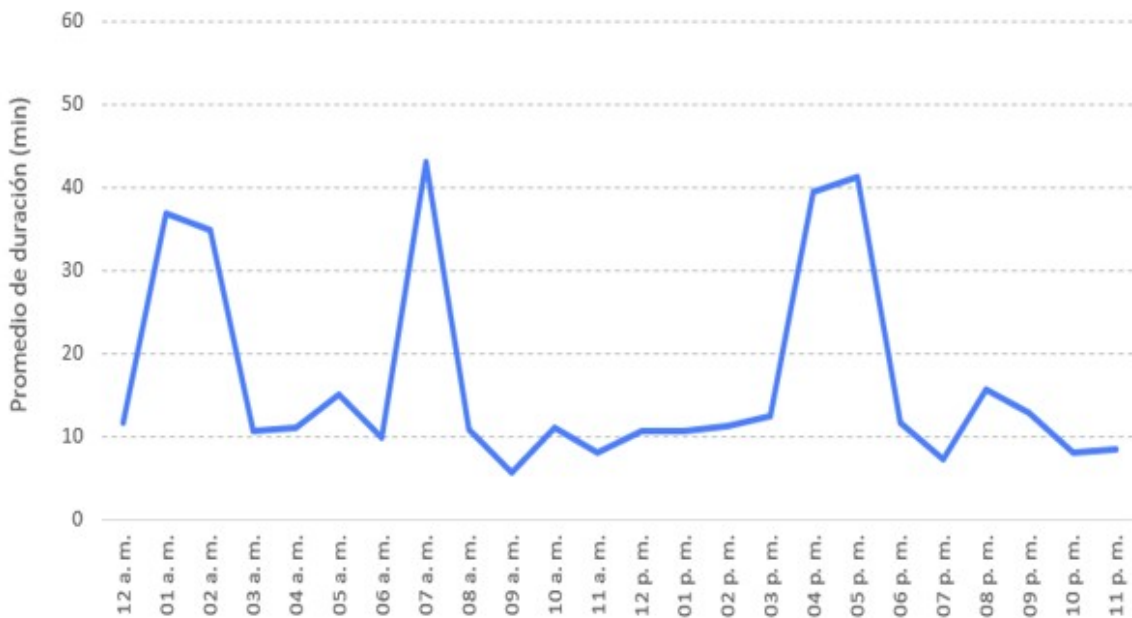
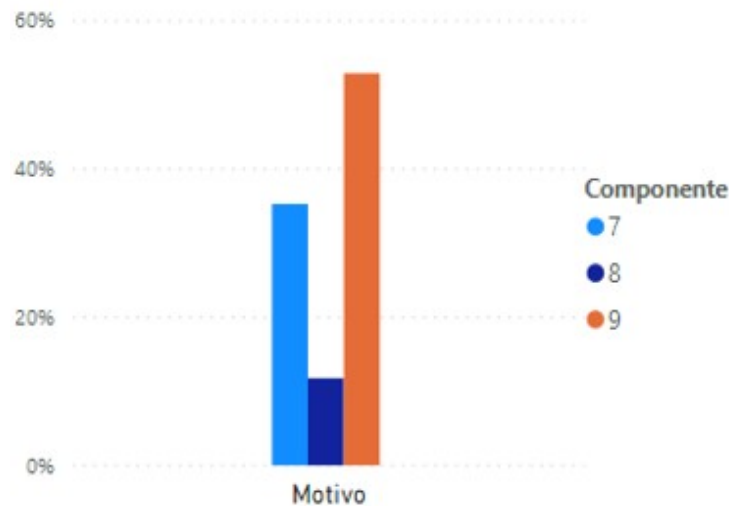


Figura 4.17: Promedio de tiempo muerto por hora

- Mala inserción. A pesar de que este motivo no es el principal contribuyente, se analizó la incidencia para identificar los componentes con mayor contribución en este rubro. Teniendo como resultado, según la 4.18, que el componente número 9 de inserción, que corresponde a un capacitor cerámico colocado sobre la tablilla, es el que presenta mayores problemas de inserción.



4.8. Entrenamiento

Como parte de los resultados del proyecto se realizó un entrenamiento a los usuarios del sistema donde se les explico de manera detallada cada una de las funciones de la interfáz de Labview y PowerBi. Del mismo modo se les explicó la manera de acceder a cada uno de ellos, en el caso de PowerBi también se les explicó cómo realizar su cuenta corporativa para poder tener acceso a los tableros. Y finalmente se presentó una especie de guía para resolución de problemas comunes que orienten al usuario que hacer en caso de que el sistema llegará a fallar y como reportarlo.

Se dejó en claro que el sistema estaba a prueba y correría como prueba piloto para en la posteridad empezar a incorporar el monitoreo en más máquinas.

En el anexo I. Se encuentra la evidencia de la lista de participantes en dicho entrenamiento.

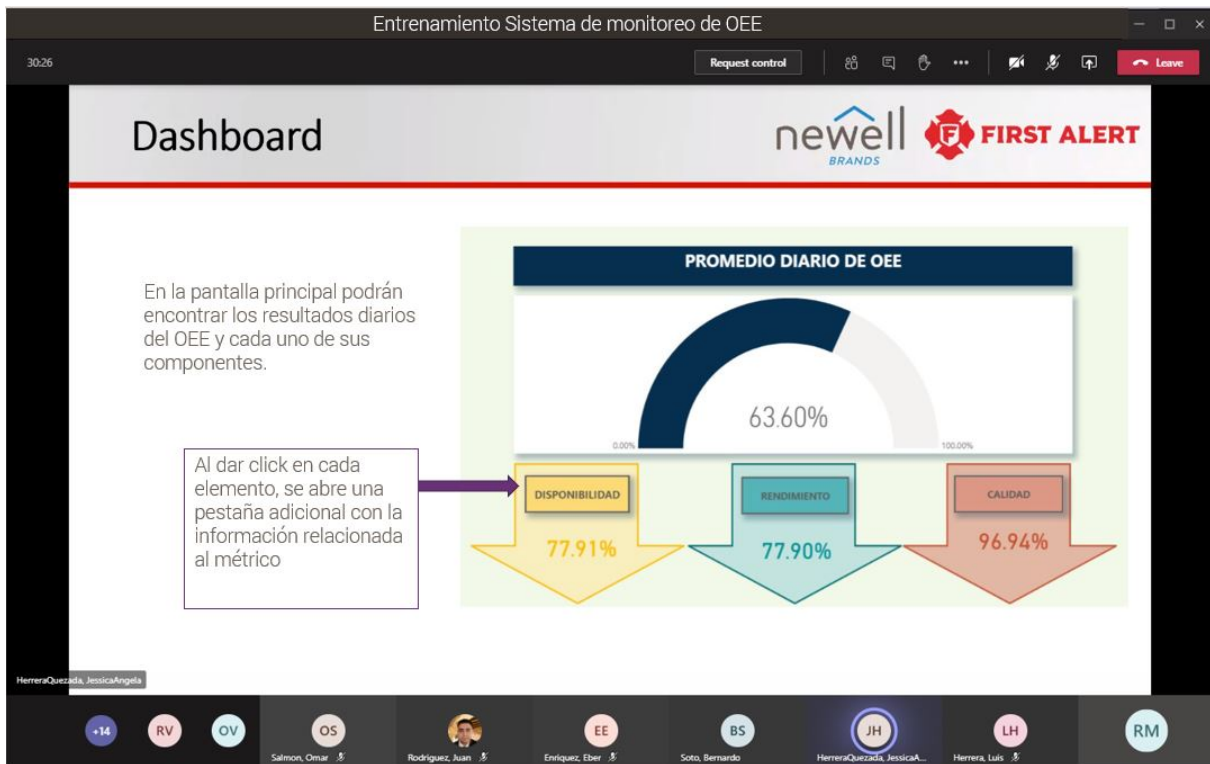


Figura 4.19: Entrenamiento en línea de Sistema de Monitoreo de OEE

Capítulo 5

Conclusiones

Si bien el adoptar una tecnología nueva para las pequeñas y medianas empresas sigue representando un gran paso en la migración a la industria 4.0, desde el punto de vista social, tecnológico y económico. Es claro que los beneficios que trae consigo sobre el negocio hacen que valga la pena invertir en nuevas herramientas para impulsar la evolución de sus procesos de manufactura.

Este sistema demostró el significado de invertir en el manejo y análisis de la información a la empresa. Y el valor de la información generada sobre los procesos, al poder controlarlos de una manera más rigurosa. Cumpliendo este trabajo con su propósito de facultar una pequeña empresa con herramientas de la industria 4.0 para mejorar la eficacia y efectividad de sus procesos.

Basados en mejorar la operación restricción de la celda, se lograron identificar seis señales de interés del proceso, utilizados para la medición de las variables de producción a las que se les da seguimiento con el sistema. De igual manera se logró incorporar la tarjeta de adquisición de datos propuesta por la empresa para el desarrollo del sistema en labview de recolección de la información operativa. Y se logró vincular los niveles de voltaje manejados por la máquina, con los niveles utilizados por la DAQ.

Dentro de los entregables, se entregaron tres. El primero de ellos el Monitor de OEE en Labview que vincula la máquina de autoinserción con la base datos por medio de una aplicación desarrollada en labview que adquiere en tiempo real las señales de interés del equipo.

Por otro lado se entrego un medio de almacenaje de la información recopilada, para poder guardar el histórico de varios días de operación. Y con ello llevar a cabo un análisis de la información más profundo.

Finalmente se entregó un tablero de información desarrollado en PowerBi. Dónde se le provee al usuario final de la información recopilada de una manera fácil y accesible para su comprensión. Todas y cada una de estas herramientas en conjunto formaron el sistema instalado en la máquina.

Además del reto tecnológico que representó el desarrollar este sistema, otro de los retos mas fuertes a vencer fue la adopción por parte del personal afectado. Como medida de prevención

se buscó involucrar al usuario final validando el funcionamiento y la funcionalidad del sistema propuesto. Como seguimiento adicional se le dió una capacitación al personal con los pasos a seguir para utilizar el sistema y una descripción detallada de cada una de las herramientas desarrolladas en el mismo.

Cambios en la organización con este impacto demandan de personal facultado para utilizar y aprovechar dichas plataformas. Lo que promueve un cambio de paradigma al exigir formar nuevos profesionales de la industria con una visión transversal, alto nivel tecnológico y nuevas competencias que les permitan desenvolverse con éxito.

Con el sistema puesto en marcha se logró involucrar a todos los departamentos asociados e identificar de primera mano los principales contribuidores a esta falta de eficiencia en el proceso.

5.1. Trabajo a futuro

Dada las ventajas que trajo el proyecto a la empresa, en el futuro se buscará implementar esta misma herramienta en el resto de los equipos de la celda, no únicamente en la operación restringida, para de esta manera llevar una rastreabilidad más precisa del desempeño de toda la celda de trabajo.

Si bien, aunque el métrico a medir en esta aplicación fue el OEE. La plataforma está desarrollada para extraer toda la información posible del proceso que pueda traducirse a métricos de producción. Es por eso que se busca almacenar la mayor cantidad de información posible del proceso en la base de datos, para que con el uso de plataformas flexibles como es el caso de Power Bi, el análisis de la información pueda ser modificada a otras variables o resultados. Es decir, con el nivel de información generado con esta plataforma además del OEE, se podrían rastrear otras variables del indole predictivo que permitan definir la frecuencia correcta de los mantenimientos preventivos, el consumo de materia prima, la vida útil de los herramientas, entre otros.

Por esta razón como parte del entregable se encuentran los ejecutables y código abierto del programa.

Bibliografía

- [1] AHMADI, A., MORADI, M., CHERIFI, C., CHEUTET, V., AND OUZRUT, Y. Wireless connectivity of cps for smart manufacturing: A survey. In *2018 12th International Conference on Software, Knowledge, Information Management & Applications (SKIMA)* (2018), IEEE, pp. 1–8.
- [2] ANDRAMUÑO, J., VEGA, N., AND PARRA, P. Industry 4.0 embedded systems network. In *2019 IEEE CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON)* (2019), IEEE, pp. 1–6.
- [3] ARMBRUST, M., FOX, A., GRIFFITH, R., JOSEPH, A. D., KATZ, R., KONWINSKI, A., LEE, G., PATTERSON, D., RABKIN, A., STOICA, I., ET AL. A view of cloud computing. *Communications of the ACM* 53, 4 (2010), 50–58.
- [4] ARRIARÁN, S. *Todo sobre sistemas embebidos: Arquitectura, programación y diseño de aplicaciones prácticas con el PIC18F*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), 2017.
- [5] ASENCIOS, V. V. Data mining y el descubrimiento del conocimiento. *Industrial Data* 7, 2 (2004), 83–86.
- [6] BRESS, T. *Effective LabVIEW Programming: (*new file uploaded 02/19/15)*. NTS Press, 2013.
- [7] BRETTEL, M., FRIEDERICHSEN, N., KELLER, M., AND ROSENBERG, M. How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An industry 4.0 perspective. *International journal of mechanical, industrial science and engineering* 8, 1 (2014), 37–44.
- [8] CAMARGO BAREÑO, C. I., ET AL. *Transferencia tecnológica y de conocimientos en el diseño de sistemas embebidos*. PhD thesis, Universidad Nacional de Colombia, 2011.
- [9] DALENOGARE, L. S., BENITEZ, G. B., AYALA, N. F., AND FRANK, A. G. The expected contribution of industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economics* 204 (2018), 383–394.
- [10] DASSISTI, M., PANETTO, H., LEZOCHÉ, M., MERLA, P., SEMERARO, C., GIOVANNINI, A., AND CHIMENTI, M. Industry 4.0 paradigm: The viewpoint of the small and medium enterprises.
- [11] DÍAZ, J. C. *Introducción al business intelligence*. Editorial UOC, 2012.

- [12] DÍAZ-CONTRERAS, C. A., CATARI-VARGAS, D. A., MURGA-VILLANUEVA, C. D., DÍAZ-VIDAL, G. A., AND QUEZADA-LARA, V. F. Efectividad general de equipos (oee) ajustado por costos. *Interciencia* 45, 3 (2020), 158–163.
- [13] DUTTA, P. Business analytics using microsoft power bi and aws redshift.
- [14] EHSANI, B. *Data Acquisition using LabVIEW*. Packt Publishing Ltd, 2016.
- [15] ERTUGRUL, N. *LabVIEW for Electric Circuits, Machines, Drives, and Laboratories*. National Instruments virtual instrumentation series. Prentice Hall PTR, 2002.
- [16] ESCOFET, C. M. *El lenguaje SQL*. UOC, la universidad virtual, 2002.
- [17] FERRARI, A., AND RUSSO, M. *Introducing Microsoft Power BI*. Microsoft Press, 2016.
- [18] FOIT, K., BANAŚ, W., AND ĆWIKŁA, G. The pneumatic and electropneumatic systems in the context of 4th industrial revolution. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (2018), vol. 400, IOP Publishing, p. 022024.
- [19] FRANK, A. G., DALENOGARE, L. S., AND AYALA, N. F. Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics* 210 (2019), 15–26.
- [20] GABILLAUD, J. *SQL Server 2014: SQL, Transact SQL, diseño y creación de una base de datos (con ejercicios prácticos corregidos)*. Ediciones ENI, 2015.
- [21] GILCHRIST, A. *Industry 4.0: the industrial internet of things*. Springer, 2016.
- [22] GILCHRIST, A. Introducing industry 4.0. In *Industry 4.0*. Springer, 2016, pp. 195–215.
- [23] GORECKY, D., SCHMITT, M., LOSKYLL, M., AND ZÜHLKE, D. Human-machine-interaction in the industry 4.0 era. In *2014 12th IEEE international conference on industrial informatics (INDIN)* (2014), IEEE, pp. 289–294.
- [24] GUBERT, X. A. La industria 4.0, el nuevo motor de la innovación industrial. *Dirección y Organización*, 69 (2019), 99–110.
- [25] HAN, J., PEI, J., AND KAMBER, M. *Data mining: concepts and techniques*. Elsevier, 2011.
- [26] HARDING, J., SHAHBAZ, M., AND KUSIAK, A. Data mining in manufacturing: a review.
- [27] HERMANN, M., PENTEK, T., AND OTTO, B. Design principles for industrie 4.0 scenarios: a literature review. *Technische Universität Dortmund, Dortmund* (2015).
- [28] HERWAN, J., KANO, S., OLEG, R., SAWADA, H., AND KASASHIMA, N. Cyber-physical system architecture for machining production line. In *2018 IEEE Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS)* (2018), IEEE, pp. 387–391.

- [29] HORVÁTH, D., AND SZABÓ, R. Z. Driving forces and barriers of industry 4.0: Do multi-national and small and medium-sized companies have equal opportunities? *Technological Forecasting and Social Change* 146 (2019), 119–132.
- [30] HUIDOBRO, M. A. M., VERA, A. D. C., AND ARANDA, M. M. Estrategias del sector público y privado para la implementación de la industria 4.0 en México. *UPIICSA. Investigación Interdisciplinaria* 6, 1 (2020), 13–31.
- [31] KAGERMANN, H., ANDERL, R., GAUSEMEIER, J., SCHUH, G., AND WAHLSTER, W. *Industrie 4.0 in a Global Context: strategies for cooperating with international partners*. Herbert Utz Verlag, 2016.
- [32] KANG, H. S., LEE, J. Y., CHOI, S., KIM, H., PARK, J. H., SON, J. Y., KIM, B. H., AND DO NOH, S. Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions. *International journal of precision engineering and manufacturing-green technology* 3, 1 (2016), 111–128.
- [33] KÖKSAL, G., BATMAZ, İ., AND TESTİK, M. C. A review of data mining applications for quality improvement in manufacturing industry. *Expert systems with Applications* 38, 10 (2011), 13448–13467.
- [34] KOZIELSKI, S., MROZEK, D., KASPROWSKI, P., KOSTRZEWA, D., ET AL. *Beyond databases, architectures and structures*. Springer, 2015.
- [35] LU, Y. Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration* 6 (2017), 1–10.
- [36] MANDUJANO, L. D. E., ESPAÑA, J. A. A., MORALES, P. G., AND DE SANTIAGO, J. S. S. Prototipo de sistema para la recolección y almacenamiento de datos con enfoque en la industria 4.0 (prototype of system for data collection and storage focusing in the 4.0 industry). *Pistas Educativas* 40, 132 (2019).
- [37] MELTON, J. Database language sql. In *Handbook on Architectures of Information Systems*. Springer, 1998, pp. 105–132.
- [38] MONTERO, D. T. B., MINANGO, S. N. R., AND NÚÑEZ, D. I. B. Sistema de manufactura flexible orientado a industria 4.0. *INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA ISTCT* 1, 1 (2019), 61–72.
- [39] MORALES, D. O. *Propuesta de un plan para aumentar la productividad a través de la medición de eficiencia general de los equipos (OEE) en el proceso de fabricación de empanizados en una empresa de producción cárnica*. PhD thesis, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2019.
- [40] MUELLER, H. C., HENNIG, A., VOM BOEGEL, G., AND GRABMAIER, A. Wireless sensors for industry 4.0-wireless communication and wireless powering. In *Smart SysTech 2018; European Conference on Smart Objects, Systems and Technologies* (2018), VDE, pp. 1–4.

- [41] OBITKO, M., AND JIRKOVSKÝ, V. Big data semantics in industry 4.0. In *International conference on industrial applications of holonic and multi-agent systems* (2015), Springer, pp. 217–229.
- [42] PÉREZ. *Minería de datos: técnicas y herramientas*. Paraninfo, 2007.
- [43] PÉREZ, D. Sistemas embebidos y sistemas operativos embebidos. *Lecturas en ciencias de la computación. Universidad Central de Venezuela, Vols. % i de % 2ISSN* (2009), 1316–6239.
- [44] PÉREZ, M. *Microsoft SQL Server 2008 R2. Motor de base de datos y administración*. RC Libros, 2011.
- [45] PINEDA, A. Instrumentación virtual. fundamentos de programación gráfica con labview.
- [46] POTTER, C., HANCKE, G., AND SILVA, B. Machine-to-machine: Possible applications in industrial networks. In *2013 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)* (2013), IEEE, pp. 1321–1326.
- [47] RAINER, D., AND ALEXANDER, H. Industrie 4.0: hit or hype? *Industrial Electronics Magazine* 8, 2 (2014), 56–58.
- [48] RAJKUMAR, R., LEE, I., SHA, L., AND STANKOVIC, J. Cyber-physical systems: the next computing revolution. In *Design Automation Conference* (2010), IEEE, pp. 731–736.
- [49] RAUCH, E., LINDER, C., AND DALLASEGA, P. Anthropocentric perspective of production before and within industry 4.0. *Computers & Industrial Engineering* 139 (2020), 105644.
- [50] ROBLEK, V., MEŠKO, M., AND KRAPEŽ, A. A complex view of industry 4.0. *Sage Open* 6, 2 (2016), 2158244016653987.
- [51] ROJKO, A. Industry 4.0 concept: background and overview. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM)* 11, 5 (2017), 77–90.
- [52] SABINA, V. P., HORMIGA, J. D., RODRÍGUEZ, I., AND BOTE, J. S. La herramienta de microsoft® power bi para la presentación de datos de consumo de antimicrobianos. *Rev Esp Quimioter* 30, 6 (2017), 478–480.
- [53] THEORIN, A., BENGTSSON, K., PROVOST, J., LIEDER, M., JOHNSON, C., LUNDHOLM, T., AND LENNARTSON, B. An event-driven manufacturing information system architecture for industry 4.0. *International Journal of Production Research* 55, 5 (2017), 1297–1311.
- [54] TOSINI, M. A., TODOROVICH, E., VÁZQUEZ, M. O., LEIVA, L., ACITI, C., MARONE, J. A., GOÑI, O. E., PANTALEONE, L., ACOSTA, N., CURTI, H., ET AL. Metodologías de diseño para sistemas embebidos. In *XV Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación* (2013).
- [55] VEGA, J. I. H. El software embebido y los retos que implica su desarrollo. *Conciencia Tecnológica*, 40 (2010), 42.

- [56] VIZCAÍNO, J. R. L., AND SEBASTIÁ, J. P. *LabView: entorno gráfico de programación*. Marcombo, 2011.
- [57] WAN, J., CAI, H., AND ZHOU, K. Industrie 4.0: enabling technologies. In *Proceedings of 2015 international conference on intelligent computing and internet of things* (2015), IEEE, pp. 135–140.
- [58] WANG, H., YANG, G., XU, J., CHEN, Z., CHEN, L., AND YANG, Z. A novel data collection approach for wireless sensor networks. In *2011 International Conference on Electrical and Control Engineering* (2011), IEEE, pp. 4287–4290.
- [59] WANG, S., WAN, J., ZHANG, D., LI, D., AND ZHANG, C. Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination. *Computer Networks 101* (2016), 158–168.
- [60] WEYER, S., SCHMITT, M., OHMER, M., AND GORECKY, D. Towards industry 4.0-standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems. *Ifac-Papersonline 48*, 3 (2015), 579–584.
- [61] YEN, C.-T., LIU, Y.-C., LIN, C.-C., KAO, C.-C., WANG, W.-B., AND HSU, Y.-R. Advanced manufacturing solution to industry 4.0 trend through sensing network and cloud computing technologies. In *2014 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)* (2014), IEEE, pp. 1150–1152.
- [62] ZHONG, R. Y., XU, X., KLOTZ, E., AND NEWMAN, S. T. Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: a review. *Engineering 3*, 5 (2017), 616–630.

Anexos


Anexos A

Anexo I: Lista de asistencia a entrenamiento

newell BRANDS		LISTA DE ASISTENCIA / ATTENDANCE LIST		CAPACITACION / TRAINING	
				RECURSOS HUMANOS / HUMAN RESOURCES	
Nombre de la sesión / session's name: Sistema de OEE			Horario / Time: 13 oct-2010 / 4:00 pm		
			Fecha del curso / Date: 13-oct-2010		
Nombre del instructor / Instructors name: Rocío Morán Díaz			De / From: 4:00 A / To: 5:00		
Institución capacitadora / Training agency:		BRK:	OTRA / OTHER:	Duración / Total time: 1hr	
No.	Nombre del Empleado / Employees' name	No. Empleado Employee #	Area / Dept.	Turno Shift	Firma / Signature
1	Karen Hdez	52181	L20 CS	1	Karen Hdez
2	Angel Chaparro	43228	Prod	1	Angel Chaparro
3	José María Marín	44476	Prod	1	José María Marín
4	Maria Lopez	54116	producción	2	Maria Lopez
5	Samuel Escalante Caribay	35481	Producción		Samuel Escalante Caribay
6	Felipe Nicolas Acevedo	54797	calidad	1	Felipe Nicolas Acevedo
7	Elizabeth Marquez	47155	Mantenimiento	2	Elizabeth Marquez
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
Observaciones / Comments:					

Anexos B

Anexo II: Formato de checklist de validación utilizado

CHECKLIST DE VALIDACIÓN DEL SISTEMA			
Nombre: <i>Alonso Realinoquez</i>			
Fecha: <i>01- Noviembre - 20</i>			
	Cumple	No cumple	
¿Al realizar una mala inserción el equipo se detiene y se registra el tiempo muerto?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
¿Al terminarse un rollo de material el sistema registra el tiempo perdido?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
¿Al abrir la puerta derecha de material el sistema registra el tiempo perdido?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
¿Al abrir la puerta izquierda de material el sistema registra el tiempo perdido?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
¿La información proveída por el sistema es consistente con los datos recabados de producción?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Compruebe conexión con la base de datos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
¿Al hacer una inserción cambia de estado el indicador de inserción?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
¿Al alarmarse el equipo cambia de estado el indicador de error?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
¿Al abrir la puerta derecha del material cambia de estado el indicador de material A?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
¿Al abrir la puerta izquierda del material cambia de estado el indicador de material B?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Al cambiar terminar la inserción de una pieza el contador de piezas por hora suma uno?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Al cambiar terminar la inserción de una pieza el contador de piezas por día suma uno?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
¿La cantidad de piezas producidas coincide con la cantidad real de producción?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Abra la puerta de material derecha y registre el tiempo que se tarda en restablecer el equipo. ¿coincide con el tiempo registrado en la base de datos el evento?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
¿Al alarmarse el equipo se registra el evento en la base de datos?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
¿Al realizar una mala inserción el equipo se registra el evento en la base de datos?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
¿Al faltar material se registra el evento en la base de datos?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
¿Al cambio de hora los indicadores de por hora se resetean de la pantalla principal del monitor de OEE en labview?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
¿Al cambio de hora se registra el acumulado de la hora anterior en la base de datos?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
¿En los tablero de PowerBi se registran los resultados correctos en cada hora?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Comentarios

ANEXOS B. ANEXO II: FORMATO DE CHECKLIST DE VALIDACIÓN UTILIZADO