

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
BACHILLERATO EN LA CARRERA DE
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA
ELECTRÓNICO QUE PERMITA LA
AUTOMATIZACIÓN DE LA PRUEBA DE
DEFLEXIÓN EN EDWARDS LIFESCIENSES,
COSTA RICA, PARA EL PRIMER SEMESTRE DEL
2021.**

Sustentante:

Maria Fernanda Brown Romero

Tutor:

Ing. José Alejandro Rojas López

Mayo, 2021

DECLARACIÓN JURADA

DECLARACION JURADA

Yo Maria Fernanda Brown Romero mayor de edad, portadora de la cedula de identidad número 1-1555-0853, egresada de la carrera de ingeniería en Electrónica de la Universidad Hispanoamericana, hago constar por medio de este acto y debidamente apercibo entiendo de las penas y consecuencias con las que se castiga en el Código Penal el delito de perjurio, ante quienes se constituyen en el Tribunal Examinador de mi trabajo de graduación para optar per el título de Bachillerato en ingeniería Electrónica, juro solemnemente que mi trabajo de investigación titulado: DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA ELECTRONICO QUE PERMITA LA AUTOMATIZACION DE LA PRUEBA DE DEFLEXION EN EDWARDS LIFESCIENSES, COSTA RICA, PARA EL PRIMER SEMESTRE DEL 2021, es una obra original que ha respetado todo lo preceptuado por las Leyes Penales, así como la Ley de Derechos de Autor y Derecho Conexos, número 6683 del 14 de octubre de 1982 y sus reformas, publicada en la Gaceta número 226 del 25 de noviembre de 1982; incluyendo el numeral 70 de dicha ley que advierte; articulo70. Es permitido citar a un autor, transcribiendo los pasajes pertinentes siempre que estos no sean tantos y seguidos, que puedan considerarse como una producción simulada y sustancial, que redunde en perjuicio del autor de la obra original. Asimismo, quedo advertido que la Universidad se reserva el derecho de protocolizar este documento ante Notario Público.

En fe de lo anterior, firmo en la ciudad de San Jose, a los 20 días del mes de mayo del año dos mil veintiuno.


Firma del estudiante

1-1555-0853
Cédula

CARTA DE APROBACIÓN DE LA EMPRESA

San José, 03 de agosto del 2021

Señores:
Universidad Hispanoamericana

Estimados Señores:

Yo Gustavo Angulo, Ingeniero Senior de Manufactura de la Empresa Edwards, por este medio hago constar que el proyecto de graduación titulado Diseño e Implementación de un sistema electrónico que permita la automatización de la prueba de deflexión en Edwards, para el primer semestre del 2021; fue desarrollado satisfactoriamente en la empresa por la estudiante Maria Fernanda Brown Romero, ya que cumplió con los requerimientos planteados inicialmente, lo que luego de su estudio e implementación nos va a facilitar el control del proceso, y a la vez nos va a permitir reducir costo de la manufactura del dispositivo.

Cordialmente,

Gustavo Angulo

Digitally signed by
Gustavo Angulo
Date: 2021.08.04
08:50:40 -06'00'

Gustavo Angulo

CONTRATO DE CONFIDENCIALIDAD DE LA EMPRESA

Cartago, 20 de mayo de 2021

Señores
Universidad Hispanoamericana
Presente.

Asunto: Acuerdo de confidencialidad

Quien suscribe, Ivania Alvarado B, actuando en condición de Directora de Recursos Humanos, de la empresa EDWARDS LIFESCIENCES COSTA RICA SOCIEDAD DE RESPONSABILIDAD LIMITADA, cédula jurídica número 3-102-711426, por este medio me presento respetuosamente ante ustedes con el fin de manifestar lo siguiente:

PRIMERA: En este acto, se reconoce que en la empresa Edwards Lifesciences Costa Rica Sociedad de Responsabilidad Limitada, hay un estudiante Fernanda Brown Romero, cédula 1-1555-0853 estudiante de la Universidad Hispanoamericana, quien ha estado realizando su proyecto universitario como parte de su programa de estudio, mediante la figura de la pasantía, lo cual es necesario para su respectiva graduación.

SEGUNDA: CONFIDENCIALIDAD. De conformidad con la relación que existe entre las partes, la cual es descrita en el punto anterior, Edwards Lifesciences Costa Rica, así como Fernanda Brown Romero manifiestan que se obligan a mantener en secreto toda la información confidencial y sensible respecto a los proyectos realizados por la estudiante, esto sobre lo que haya llegado a tener conocimiento previo a la suscripción del presente documento, o bien que pudiese llegar a conocer al respecto.

TERCERA: ÁMBITO DE PROTECCIÓN. En este sentido, se entiende que información confidencial corresponde a todo aquel documento, fotografías de la empresa, información de proyectos, fórmulas, asignaciones académicas, que llegue a ser de conocimiento o manejo de Edwards Lifesciences Costa Rica; así como toda aquella información generada o desarrollada en el proyecto de graduación en conjunto con dicha Compañía, o que este llegase a asesorar o supervisar, por lo que ni la empresa ni el estudiante podrá brindar la información a terceras personas sin la debida autorización.

Sin más por el momento,

Ivania
Alvarado

Digitally signed by
Ivania Alvarado
Date: 2021.05.20
16:11:31 -06'00'

Ivania Alvarado
Directora de Recursos Humanos
Edwards Lifesciences Costa Rica S. R. L.

CARTA DEL TUTOR



San José, 20 de mayo del 2021

CARTA DEL TUTOR

Señores
Departamento de Registro
Universidad Hispanoamericana

Estimados señores:

El estudiante **María Fernanda Brown Romero**, cédula de identidad número **1 1555 0853**, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado **"Diseño e implementación de un sistema electrónico que permita la automatización de la prueba de deflexión en Edwards Lifesciences, Costa Rica, para el primer semestre del 2021."**, el cual ha elaborado para optar por el grado académico de Bachillerato.

En mi calidad de tutor, he verificado que se han hecho las correcciones indicadas durante el proceso de tutoría y he evaluado los aspectos relativos a la elaboración del problema, objetivos, justificación; antecedentes, marco teórico, marco metodológico, tabulación, análisis de datos; conclusiones y recomendaciones.

De los resultados obtenidos por el postulante, se obtiene la siguiente calificación:

Tabla 1 Calificación del proyecto

#	Rubro	% Teórico	% Asignado
a	Original del tema.	10	8
b	Cumplimiento de entrega de avances de avances.	20	16
c	Coherencia entre los objetivos, los instrumentos aplicados y los resultados de la investigación.	30	28
d	Relevancia de las conclusiones y recomendaciones.	20	18
e	Calidad, detalle del marco teórico.	20	20
	Total:	100	90

En virtud de la calificación obtenida, se avala el traslado al proceso de lectura.

Atentamente,

Ing. José Alejandro Rojas López
Cédula de identidad: **1 1079 0035**
Carné Colegio Profesional: **N° IEL-15888**

CARTA DEL LECTOR



CARTA DEL LECTOR

San José, 27 de julio, del 2021

Señores
Departamento de Registro
Universidad Hispanoamericana

Estimado señor:

El estudiante María Fernanda Brown Romero, cédula de identidad número 1-1555-0853, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado "***DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO QUE LE PERMITA LA AUTOMATIZACIÓN DE LA PRUEBA DE DEFLEXIÓN DE EDWARDS LIFESCIENSES, COSTA RICA, PARA EL PRIMER SEMESTRE DEL 2021.***", el cual ha elaborado para obtener su grado de Bachillerato.

He revisado y he hecho las observaciones relativas al contenido analizado, particularmente lo relativo a la coherencia entre el marco teórico y análisis de datos, la consistencia de los datos recopilados y la coherencia entre éstos y las conclusiones; asimismo, la aplicabilidad y originalidad de las recomendaciones, en términos de aporte de la investigación. He verificado que se han hecho las modificaciones correspondientes a las observaciones indicadas.

Por consiguiente, este trabajo cuenta con mi aval para ser presentado en la defensa pública.

Atentamente,

DANIEL
HUMBERTO
VALVERDE
RAMIREZ (FIRMA)
Ing. Daniel Valverde Ramírez
Cédula de identidad: 3-03490012
Carné colegio profesional: IEL-10109

Firmado digitalmente
por DANIEL HUMBERTO
VALVERDE RAMIREZ
(FIRMA)
Fecha: 2021.07.27
12:50:34 -06'00'

CARTA DE AUTORIZACION DE LOS AUTORES

**UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA
CENTRO DE INFORMACION TECNOLOGICO (CENIT)
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA
REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA
DE LOS TRABAJOS FINALES DE GRADUACION**

San José, 03 de agosto del 2021

Señores:
Universidad Hispanoamericana
Centro de Información Tecnológico (CENIT)

Estimados Señores:

El suscrito (a) María Fernanda Brown Romero con número de identificación 1-1555-0853 autor (a) del trabajo de graduación titulado DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO QUE PERMITA LA AUTOMATIZACIÓN DE LA PRUEBA DE DEFLEXIÓN EN EDWARDS LIFESCIENSES, COSTA RICA, PARA EL PRIMER SEMESTRE DEL 2021 presentado y aprobado en el año 2021 como requisito para optar por el título de Bachillerato en Ingeniería Electrónica; Si autorizo al Centro de Información Tecnológico (CENIT) para que con fines académicos, muestre a la comunidad universitaria la producción intelectual contenida en este documento.

De conformidad con lo establecido en la Ley sobre Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica.

Cordialmente,


Firma

1-1555-0853
Cédula de identidad

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN JURADA	II
CONTRATO DE CONFIDENCIALIDAD DE LA EMPRESA.....	IV
CARTA DEL TUTOR	V
CARTA DEL LECTOR.....	VI
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	VIII
Índice de Figuras	X
Índice de Tablas	XI
ABREVIATURAS.....	XII
RESUMEN.....	XIV
CAPÍTULO I.....	1
PROBLEMA DEL PROYECTO.....	1
1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION DEL PROYECTO.....	2
1.1.1 Antecedentes del contexto de la empresa.	2
1.1.2 Justificación del problema.....	5
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	7
1.3 OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECIFICOS	9
1.3.1 Objetivo General.....	9
1.3.2 Objetivos Específicos.....	9
1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	10
1.4.1 Alcances.....	10
1.4.2 Limitaciones.....	11
CAPÍTULO II.....	13
MARCO TEORICO.....	13

2.1	TEORÍAS REFERENTES AL DISEÑO A ELABORAR.....	14
2.2	CONTEXTO TEÓRICO.....	20
CAPÍTULO III.....		26
MARCO METODOLÓGICO.....		26
3.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	27
3.1.1	Finalidad de la Investigación	27
3.1.2	Dimensión Temporal.....	29
3.1.3	Método de investigación.....	30
3.1.4	Marco de la Investigación.....	31
3.1.5	Naturaleza de la Investigación	32
3.1.6	Carácter de la Investigación	33
3.2	FUENTES DE INFORMACIÓN	36
3.2.1	Fuentes Primarias	36
3.2.2	Fuentes Secundarias	37
3.2.3	Sujetos de Información.....	37
3.3	TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS	38
3.3.1	Observación	38
3.3.2	Entrevista.....	39
3.4	VARIABLES Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	41
3.4.1	Definición de variables.....	41
3.4.2	Diseño de investigación.....	43
CAPÍTULO IV		46
DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....		46
4.1	DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL	47
4.2	RECOLECCIÓN DE DATOS	48
4.2.1	Instrumento para la recolección de datos.....	49
4.3	VALIDACIÓN DE LOS DATOS	52
4.4	DESARROJO DEL PROYECTO	53
CAPÍTULO V.....		55

DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO	55
5.1 ASPECTOS DE DISEÑO	56
5.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO	57
5.3 IMPLEMENTACIÓN DEL DISPOSITIVO	62
5.4 CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO	67
5.5 ANÁLISIS DE COSTOS	70
CAPÍTULO VI	75
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75
6.1 CONCLUSIONES	76
6.2 RECOMENDACIONES	78
BIBLIOGRAFÍA	80
Lista de anexos	82

Índice de Figuras

Figura 1. Diagrama de causa-efecto para el planteamiento del problema	7
Fuente: El Autor.	7
Figura 2. Partes del corazón	15
Figura 3. Válvula Mecánica	17
Figura 4. Válvula Biológica	17
Figura 6. Deflexión de un material	19
Figura 8. Cilindro Hidráulico	23
Figura 9. Válvula de control	24
Fuente: Elaborado por el autor	44
Figura 12. Diagrama de flujo de la propuesta de diseño	53
Fuente: El autor	53
Figura 13. Diagrama de flujo programación.	58
Figura 14. Conexión del Arduino con sistema original	59
Figura 15. Lectura de los pines de entrada	60
Figura 16. Conexión Arduino con Relevadores	61
Figura 17. Primeras pruebas de comunicación con sistema actual	63
Figura 18. Primeras pruebas de comunicación con sistema actual	63
Figura 19. Primeras pruebas de las salidas del sistema	65
Figura 20. Diagrama del circuito a implementar	66

Figura 21. Manejo de las luces LED	68
Figura 22. Diseño del prototipo	69

Índice de Tablas

Tabla 1 Parámetros del Mitutoyo 543-392B.....	19
Tabla 2 Parámetros del Arduino Mega.....	21
Tabla 3 Parámetros de la Válvula de control	24
Tabla 4 Variables de la investigación.....	42
Figura 11. Diagrama de tiempo de elaboración del proyecto.....	44
Tabla 5 Diseño de la investigación.....	45
Tabla 6 Situación actual y propuesta de mejora al proceso de la prueba de deflexión.	52
Tabla 7. Costos de los materiales utilizados para la creación del prototipo.....	70
Tabla 8. Costos de implementación.	71
Tabla 9. Costos de los materiales a ser utilizados para la creación de la implementación.	72
Tabla 10. Costo total del proyecto.....	73
Tabla 11 Análisis del ahorro económico	74

ABREVIATURAS

EW: Edwards Lifesciences

LED: Light emitting diode (Diodo emisor de luz).

PWM: Pulse Width Modulation (modulación de ancho de pulsos)

USB: Universal Serial Bus (bus universal en serie)

MHz: Mega Hertz

V: Voltios

I/O: Input / Output (Estrada / Salida).

KB: Kilo Bytes

AC: Alternating Current (Corriente Alterna).

A: Amperios

psi: Pounds per square inch (Presión de aire)

mm: milímetros

DC: Direct Current (Corriente Directa)

AGRADECIMIENTO

Agradezco y dedico esto a mis padres,
ya que sin ellos no sería lo que soy y nada
de esto sería posible sin su apoyo y dedicación
en cada etapa de mi vida.

RESUMEN

Debido a la existencia de múltiples enfermedades cardíacas, las tecnologías en la industria médica han tenido que evolucionar y buscar la solución a las mismas, como respuesta a dicha necesidad nacieron las válvulas cardíacas de sustitución hechas a base de tejido bovino.

Edwards Lifesciences es una empresa líder a nivel mundial que se especializa en el diseño y el ensamble de las válvulas antes mencionadas, sin embargo, la gran parte de sus procesos son manuales, por lo que dependen completamente del operador, lo cual hace que las operaciones cuenten con altos porcentajes de desperdicio y con tendencia a errores, por dicha razón la compañía está en la continua búsqueda de la mejora de sus procesos.

La automatización de procesos es una herramienta de mejora, que EW en los últimos años ha estado buscando como implementar en sus ensambles y pruebas al producto, todo esto para lograr disminuir los desperdicios y mejorar la productividad en cada una de las estaciones.

El desarrollo del presente proyecto nace a partir de la necesidad de la compañía en reducir el desperdicio, minimizar el riesgo de errores y la mezcla de la materia prima, específicamente en la prueba de deflexión que se le realiza al tejido antes de su ensamble, esto por medio de la automatización del proceso de dicha operación.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DEL PROYECTO

1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION DEL PROYECTO

1.1.1 Antecedentes del contexto de la empresa.

Edwards Lifesciences es una empresa transnacional con sedes de manufactura y desarrollo en países como Estados Unidos, Puerto Rico, República Dominicana, Singapur y Costa Rica, la cual nació en 1958 cuando su fundador Miles Edwards se propuso crear el primer corazón artificial.

Su fundador era un ingeniero recién retirado, cuyo espíritu emprendedor y el sueño de ayudar a los pacientes lo llevo a pensar en que el corazón humano se podía mecanizar. Su fascinación por el corazón inició en la adolescencia, debido a que sufrió de episodios de fiebre reumática, la que puede dejar cicatrices en las válvulas cardiacas y provocar una falla en el corazón.

Edwards presentó su idea al Dr. Albert Starr, un cirujano de la Escuela de Medicina de la Universidad de Oregón, quien le recomendó a concentrarse primero en desarrollar una válvula cardiaca artificial, la cual era una necesidad inmediata.

Después de solo dos años, la primera válvula mitral Starr-Edwards se diseñó, desarrolló, probó y colocó con éxito en un paciente. Los periódicos de todo el mundo informaron sobre lo que se denominó una cirugía cardiaca "milagrosa". Esta innovación generó una empresa, Edwards Laboratories, que abrió un negocio en Santa Ana, California.

En 1966, la American Hospital Supply Corporation compró Edwards Laboratories y se convirtió en American Edwards Laboratories. En 1985, fue adquirida por Baxter International Inc. A principios del 2000, la empresa se separó como una corporación independiente y con participación pública, así nació lo que es actualmente Edwards Lifesciences.

Misión

En Edwards Lifesciences nos dedicamos a proporcionar soluciones innovadoras a personas que luchan contra enfermedades cardiovasculares.

A través de nuestras acciones nos convertimos en socios de confianza de los clientes, colegas y pacientes, creando una comunidad unida en su misión de mejorar la calidad de vida en todo el mundo. Nuestros resultados beneficiarán a los clientes, pacientes, empleados y accionistas.

Celebraremos nuestros éxitos, aprovecharemos los descubrimientos y estaremos en continua expansión. Actuaremos con valentía, firmeza y determinación en beneficio de las personas que luchan contra las enfermedades cardiovasculares.

Ayudar a los pacientes es nuestra misión en la Vida, y la Vida es ahora. (Edwards Lifesciences Corporation,2020)

A que se dedica.

Edwards es líder mundial en válvulas cardíacas y el monitoreo hemodinámico que con tecnologías innovadoras en las áreas de cardiopatía estructural y el monitoreo de cuidados intensivos busca mejorar y salvar vidas.

Dentro de la oferta de esta EW se encuentran las válvulas cardíacas de sustitución fabricadas con tejido y productos de reparación, además de válvulas cardíacas transcatóter que son utilizadas en pacientes de alto riesgo ante una cirugía.

Las válvulas quirúrgicas PERIMOUNT, elaborada por EW, son las que se implantan con más frecuencia en el mundo ya que proporcionan pruebas sólidas de durabilidad a largo plazo y con una hemodinámica comprobada.

Otro de los productos que hacen de EW una empresa líder a nivel mundial son las válvulas mínimamente invasivas compuestas de retractores de tejido blando, cánulas arteriales y venosas lo que facilita los procedimientos de cirugía cardíaca con bomba a través de incisiones más pequeñas.

Adicionalmente cuenta con dispositivos de monitorización para medir el rendimiento cardiovascular de los pacientes de alto riesgo y críticamente enfermos por medio del catéter Swan-Ganz, lo que hace a EW la única empresa que se enfoca 100% en el cuidado y tratamiento del corazón.

EW en Costa Rica

EW inicio sus operaciones en Costa Rica, Cartago, La Lima a finales del 2016, dicha planta que se enfoca solo en el ensamble de válvulas cardiacas, actualmente cuenta con más de 1000 empleados, tres cuartos limpios, dos procesos diferentes de ensamble, y tres tipos de válvulas cardiacas y se mantiene en constante crecimiento.

1.1.2 Justificación del problema

La empresa EW Costa Rica tiene en sus principales objetivos buscar la mejora continua, esto alineado a la metodología “Six Sigma”. Como parte de las mejoras identificadas en el análisis anual del “Value Stream Map” se estableció como prioridad el lograr en todo el piso de manufactura el flujo uno a uno de los dispositivos manufacturados, ya que esto de forma histórica ha generado desperdicios y fallos en el proceso.

La estación de la prueba de deflexión es una de las estaciones en las que se desea establecer el flujo uno a uno, debido a esto se identificó el alto riesgo de mezcla de la materia prima, ya que a que el operador debe realizar una segregación del material para la que no cuenta con ninguna ayuda visual, ni una forma automatizada, al implementarse el “One piece Flow” de dicha forma; es decir sin realizar ninguna mejora adicional a la mencionada; esto significaría un aumento en la cantidad de fallos de las líneas de manufactura.

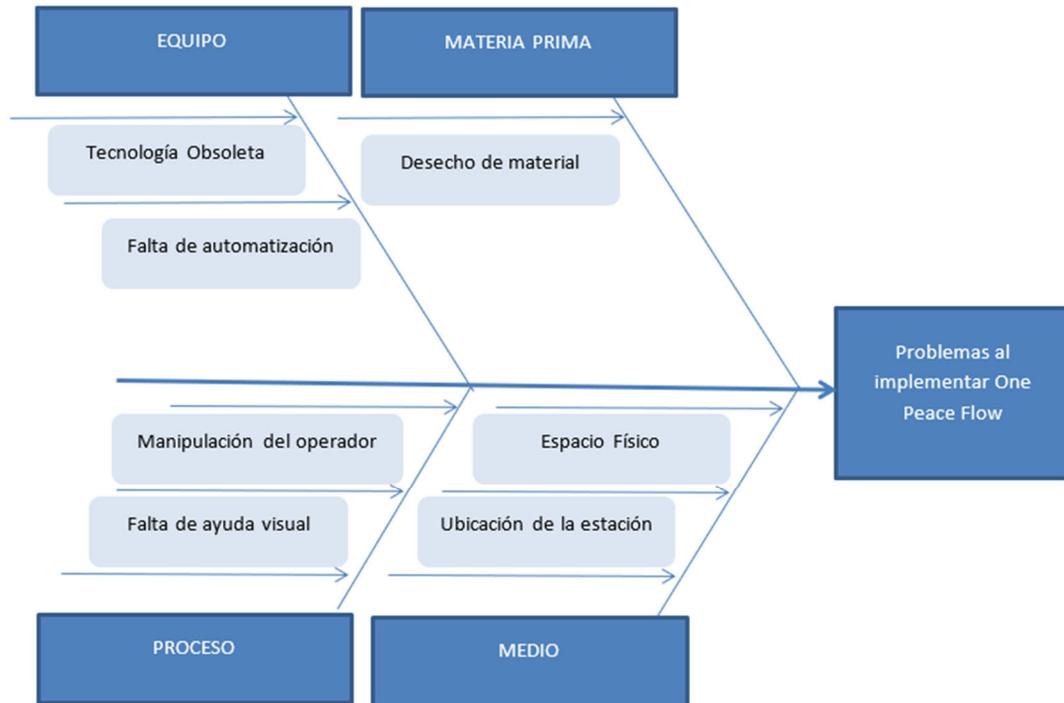
Adicionalmente el manejo por lotes genera desperdicio de la materia prima, ya que si no es igual a lo cargado en el sistema, se tiene que desechar el material, dado que el lote no se puede modificar según lo ya establecido en el sistema.

Este proyecto tiene como razón primordial evitar la mezcla al momento de segregación de la materia prima requerida para realizar el ensamble de los dispositivos, el principal impacto se debe a que el operario tiene que seleccionar entre distintos frascos identificados para segregar el material después de realizar una prueba de espesor del material, el realizar de forma manual y al tener los distintos frascos en la estación, hace más posible que se genere la confusión causando un error al momento de ensamblar el material

Como parte del departamento de mejora continua se buscan proyectos en todas las áreas del proceso y se asigna a los mismos, el personal adecuado para la ejecución de las ideas de mejora, todos los proyectos siempre deben ir alineados a las regulaciones y las políticas establecidas por la compañía.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Figura 1. Diagrama de causa-efecto para el planteamiento del problema.



Fuente: El Autor.

En el diagrama de causa-efecto anterior, se enumeran las causas principales y los factores más significativos de los problemas generados al implementar la metodología uno a uno sin controles adicionales.

- a. **Proceso:** El proceso actual es completamente manual, depende en su totalidad de la segregación en manos del operador lo que genera posibilidad de error; adicionalmente la estación no cuenta con alguna ayuda visual que le reduzca la posibilidad de fallo.

- b. **Equipo:** el dispositivo cuenta con un diseño obsoleto y manual ya que ha sido utilizado por años en otras plantas de EW, hasta que se definió el ensamble uno a uno no se había visto la necesidad de actualizar el diseño.
- c. **Materia Prima:** al ser un material al cual no se le puede realizar la prueba dos veces, cualquier error del operador lleva al desperdicio de la materia prima.
- d. **Medio:** la estación donde se realiza la prueba de deflexión se encuentra en la parte de la ventana del piso de manufactura lo que genera posibles distracciones al operador, adicionalmente el espacio es reducido, al tener que realizar la segregación del material esto es un problema que puede generar errores.

De acuerdo con las problemáticas explicadas anteriormente, se plantea la siguiente interrogante.

¿Cuál será la mejor forma de desarrollar un sistema electrónico que permita la automatización para proceso de la prueba de deflexión, específicamente al momento de la segregación de la materia prima, que le indique al operador en que frasco almacenar el material sin que dependa de su decisión, en la planta de Edwards Lifesciences Costa Rica y así lograr disminuir el desperdicio del material durante el primer semestre del 2021?

1.3 OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECIFICOS

1.3.1 Objetivo General

Desarrollar un sistema electrónico que permita la automatización al momento de la segregación del material de la prueba de deflexión, para lograr mayor eficiencia y disminuir el desperdicio en Edwards Lifesciences Costa Rica, para el primer semestre del 2021.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Estudiar el proceso actual de la prueba de deflexión que se desarrolla en la empresa Edwards.
- Analizar el proceso de la prueba de deflexión y sus respectivos problemas.
- Definir las tecnologías actuales que EW utiliza en la prueba de deflexión.
- Entender la tecnología a nivel de software y hardware que utiliza el dispositivo que actualmente es utilizado en Manufactura.
- Investigar la tecnología ideal para realizar el control del sistema.
- Determinar la mejor estrategia para dispensar un frasco según lo requiera el proceso.
- Diseñar la mejora a la estación ya existente del equipo.
- Construir el prototipo físico del diseño de la mejora propuesta para el equipo.
- Realizar un análisis de costo beneficio del proyecto.

1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.4.1 Alcances

El proyecto busca solucionar los problemas generados por la implementación del método de “One Peace Flow” como lo son mezclas, desperdicio de materia prima, entre otros específicamente en una línea de producción del cuarto limpio 1, aun cuando la empresa cuenta con diferentes líneas de producción en Costa Rica y en los distintos países en los que EW tiene plantas, estas mejoras pueden llegar a ser implementadas para el control de los procesos en dichas sedes.

Se busca la automatización del proceso de la prueba de deflexión, se espera que este proceso sea aplicado también a las distintas familias actuales y futuros productos que sean manufacturados en EW.

Se integrarán nuevos componentes como, actuadores, pistones e indicadores con equipos ya existentes para lograr proporcionar un sistema electrónico de fácil entendimiento para los operadores que dispense el contenedor correcto, lo que mitigaría el error humano con lo cual se logrará disminuir las mezclas de materia prima, desperdicios y aumento en la productividad de la operación.

Adicionalmente se pretende implementar una base de datos, lo que permitirá llevar un registro de las pruebas realizadas para así analizarlos y lograr obtener mejor control de los procesos.

1.4.2 Limitaciones

Debido a que el equipo para la prueba de deflexión es parte del piso de producción y actualmente está siendo utilizado en el proceso de manufactura durante todo el turno A y las horas extras, el acceso para poder trabajar, hacer ajustes y realizar pruebas, en el mismo se ve significativamente reducido.

Adicionalmente cualquier cambio que se le realice al equipo durante las pruebas, debe ser reestablecido para que al turno siguiente pueda ser utilizado sin problema alguno por manufactura y sin alterar el estado validado del mismo, para no generar problemas de calidad.

También existe la limitación de trabajar con la tecnología ya existente, ya que como parte de los requerimientos de la empresa, se encuentra el no modificar la sección del equipo que tiene contacto directo con el producto para no agregar nuevos riegos al proceso.

El espacio también es un limitante, debido a que la estación en la que se encuentra el equipo para la prueba de deflexión, cuenta con poco espacio disponible para poder agregar secciones e implementar la automatización del proceso.

Por parte de la corporación se está trabajando en la actualización del “software” actual del equipo, lo cual puede afectar durante el desarrollo e implementación del proyecto, ya que debe de adaptarse al cambio.

La compra de materiales puede generar atrasos en el diseño de las mejoras, esto debido a la pandemia del Covid-19 que se está viviendo a nivel mundial, la entrega de estos se puede ver atrasada.

La empresa también da un limitante con el presupuesto, esto debido a que se solicita primero la presentación de un prototipo, para con esto realizar una evaluación de las mejoras propuestas y con dicha evaluación decidir si se procede con la implementación.

Como parte de los requerimientos de la empresa para realizar este proyecto, se encuentra la firma de un contrato de confidencialidad que contiene cláusulas relacionadas con la publicación de información sensible y de alto valor para EW dentro del presente documento.

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1 TEORÍAS REFERENTES AL DISEÑO A ELABORAR

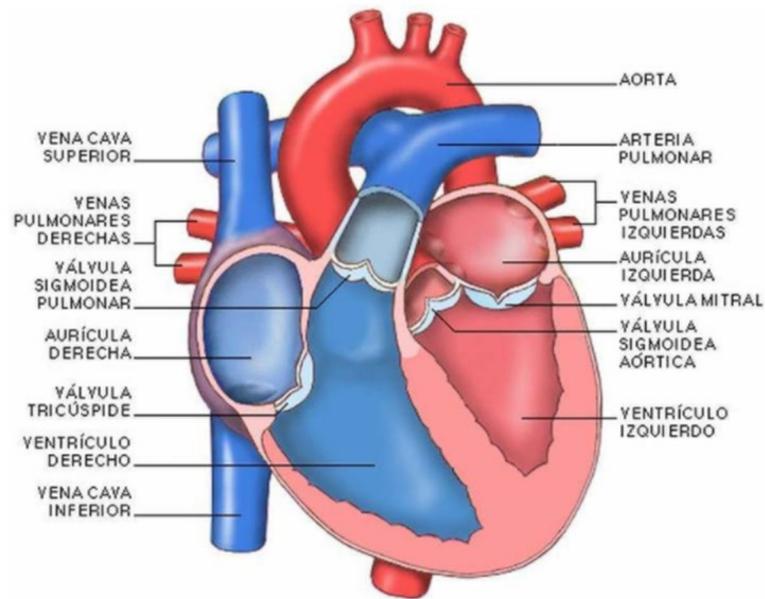
2.1.1 El corazón

El corazón es un músculo y uno de los órganos más importantes del cuerpo humano, ya que es el responsable de bombear la sangre y por medio de esta lograr distribuir el oxígeno y los nutrientes necesarios para el funcionamiento del resto del organismo.

El corazón se encuentra conformado de cuatro cavidades, dos aurículas y dos ventrículos. La aurícula izquierda se encuentra conectada con las venas pulmonares de las cuales reciben la sangre oxigenada y así enviarla al ventrículo izquierdo, el cual toma esta sangre y la envía al resto del cuerpo a través de la arteria aorta.

Por el contrario, la aurícula derecha recibe la sangre ya desoxigenada, la cual fue recogida de los tejidos por las venas cavas y por medio del ventrículo derecho envía la sangre a los pulmones, para que elimine el dióxido de carbono y se oxigene nuevamente para regresar al corazón e iniciar el ciclo.

Figura 2. Partes del corazón



Fuente: www.medicoplus.com

El corazón cuenta con cuatro válvulas las cuales controlan el flujo de la sangre, estas poseen una especie de aletas que se denominan valvas las cuales se abren y se cierran una vez por cada latido del corazón. Si las válvulas que no se abren ni se cierran correctamente alteran el flujo sanguíneo del corazón al resto del cuerpo, por lo que requieren ser sustituidas. Las válvulas con las siguientes:

- Válvula tricúspide esta se encuentra ubicada entre la aurícula derecha y el ventrículo derecho.
- Válvula pulmonar esta se ubica entre el ventrículo derecho y la arteria pulmonar.
- Válvula mitral esta está ubicada entre la aurícula izquierda y el ventrículo izquierdo.
- Válvula aortica ubicada entre el ventrículo izquierdo y la aorta.

En ocasiones dichas válvulas requieren ser reparadas o reemplazadas por nuevas debido a distintas enfermedades que afectan a este importante órgano, algunas de estas enfermedades son:

- Regurgitación: la válvula no se cierra completamente lo que provoca que la sangre retroceda por la válvula.
- Estenosis: la apertura de la válvula no es correcta lo que disminuye la capacidad del corazón de bombear la sangre.
- Atresia: no se produce apertura de la válvula lo que impide el paso de la sangre.

Debido a estas enfermedades y muchas otras existentes se generó la necesidad de crear válvulas artificiales para reemplazar las dañadas y así poder brindarle al paciente una mejor calidad de vida.

Dicho reemplazo puede ser realizado utilizando la cirugía estándar a corazón abierto, que consiste en hacer una incisión en el pecho a través del esternón. La cirugía cardíaca mínimamente invasiva implica incisiones más pequeñas que las que se utilizan en la cirugía a corazón abierto, el tipo de cirugía a ser realizado depende de la válvula que requiera ser reemplazada.

2.1.2 Válvulas Cardiacas

Existen dos tipos de válvulas artificiales las cuales son:

- Mecánicas: hechas de materiales artificiales, como metal (acero inoxidable o titanio) o cerámica. Estas válvulas son las que más duran, pero usted deberá tomar

anticoagulantes, como warfarina (Coumadin) o ácido acetilsalicílico (aspirin), por el resto de la vida.

Figura 3. Válvula Mecánica



Fuente: <https://cirugiacardiovascularsevilla.com>

- Biológicas: hechas de tejido humano o animal. Estas válvulas duran entre 12 y 15 años, pero es posible que usted no necesite tomar anticoagulantes durante toda la vida.

Figura 4. Válvula Biológica



Fuente: <https://www.edwards.com>

2.1.3 Válvulas Edwards Lifesciences

Las válvulas que son manufacturadas EW son del tipo biológico, es decir que son realizadas con tejido animal, específicamente con bovino, tejido que se extrae del corazón de una vaca.

Dicho tejido es procesado, limpiado y cortado antes de que sea ingresado al piso de manufactura para que posteriormente sea realizada la prueba de deflexión, con la cual se logra la categorización del tejido de acuerdo con el espesor de este para así realizar la costura de estas y formar la válvula cardiaca.

La deflexión es el grado en el que un elemento estructural se desplaza bajo la aplicación de una fuerza o carga perpendicularmente a su eje longitudinal, esta se determina aplicando las leyes que relacionan las fuerzas y desplazamientos, es decir que la prueba de deflexión consiste en aplicarle una fuerza controlada y de acuerdo con el desplazamiento del tejido se logra la clasificación de la materia prima.

Figura 5. Deflexión de un material



Fuente: <https://www.aimplas.es>

Dicha aplicación de fuerza se le realiza al tejido por medio de un Mitutoyo 543-392B, el cual, por medio del recuento positivo resultante del movimiento hacia abajo, desde el punto de inicio hasta el punto de lograr la deflexión del tejido logra obtener el valor del espesor de la materia prima.

Tabla 1 Parámetros del Mitutoyo 543-392B

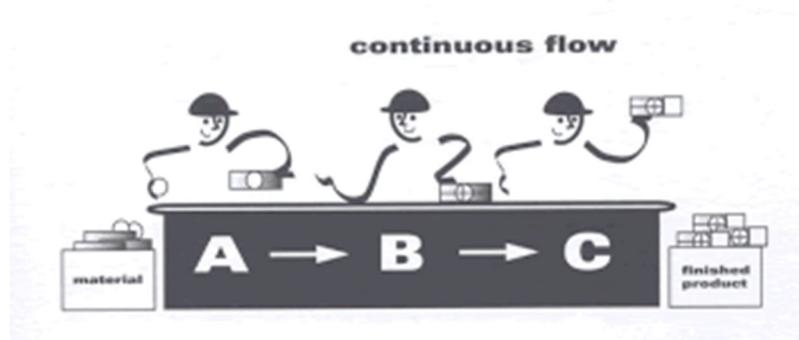
Peso del producto	6.0 onzas
Precisión de medición	+/-0.003mm
Rango	0-12.7mm
Resolución	0.001mm

Fuente: Elaborado por el autor

2.1.4 Flujo de una pieza

Consiste en fabricar las piezas de una en una, en lugar de hacerlo por lotes, significa hacer que cada pieza pase de una operación a otra y sin hacer inventario intermedio entre operaciones.

Figura 6. Deflexión de un material



Fuente: <http://leanlogisticsexecution.blogspot.com>

Ventajas con respecto a la producción por lotes:

- Mejora de la calidad: Al fabricar pieza a pieza, los defectos salen más rápidamente a la luz.
- Reducción del “Lead Time”: Los productos finalizan el proceso productivo en un tiempo menor que trabajando por lotes.
- Reducción del inventario en las líneas: la pieza empieza y termina de producirse de forma ininterrumpida. No hay grandes lotes esperando a ser completados.
- Reducción del inventario final. Es mucho más fácil adaptarse a la demanda del cliente, sinónimo de reducción de costes (deterioro, espacio, manipulación, obsolescencia).

2.2 CONTEXTO TEÓRICO

2.2.1 Arduino

Arduino es una placa de hardware y software libre o conocido también como opensource, utilizada para la implementación de proyectos y facilitar el desarrollo y programación de sistemas embebidos; el cual cuenta con un microcontrolador programable interconectado con una serie de pines E/S analógicos y digitales, los cuales permiten la conexión de diferentes dispositivos periféricos, sensores y actuadores, placas de expansión (shields), de una forma más sencilla (Artero, 2013).

Es decir que el Arduino es una placa impresa compuesta de las partes requeridas para lograr la comunicación con su microcontrolador y con esto lograr manejar todo tipo de periféricos y lograr distintos proyectos.

Existen distintos tipos de placas de Arduino, cada una con distintas características en su diseño lo que genera que se adapten a la necesidad de cada proyecto con facilidad

2.2.2 El Arduino mega 2560

El Arduino mega 2560 es una placa electrónica basada en el microcontrolador ATmega1280, la cual cuenta con 54 pines digitales de entrada / salida, de los cuales 14 se pueden utilizar como salidas PWM, 16 entradas analógicas, 4 puertos serie de hardware, un oscilador de 16MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un conector ICSP, y un botón de reset.

Tabla 2 Parámetros del Arduino Mega

Tensión de trabajo	5V
Tensión de entrada (recomendada)	7-12V
Tensión de entrada (límite)	6-20V
Pines Digitales I/O	54 (de los cuales 15 proporcionan salida PWM)
Pines de entradas Analógicas	16
Memoria Flash	256 KB de los cuales 8 KB se usan por el bootloader
Velocidad del reloj	16 MHz

Fuente: Elaborado por el autor

Parte de las muchas ventajas con las que cuenta el Arduino Mega es que es compatible con la mayoría de los shield, para el Arduino Duemilanove o Diecimila, adicional a esto, ya que cuenta con 54 pines digitales hace de esta placa la idónea para proyectos que incorporen gran cantidad de dispositivos periféricos y al contar con una capacidad de memoria amplia, logra obtener un mejor rendimiento.

Figura 7. Arduino Mega



Fuente: (Arduino, 2017)

2.2.3 Cilindro Hidráulico

Un cilindro hidráulico también llamado motor hidráulico, es un actuador mecánico que transforma un movimiento rotativo a la entrada en uno lineal a la salida, se utilizan para generar una fuerza de recorrido lineal.

Es un mecanismo que se encuentra compuesto de un cilindro, dentro del cual se desplaza un pistón para aplicar una fuerza sobre un cuerpo y así lograr que dicho cuerpo

tenga un movimiento. Funcionan gracias a un fluido presurizado que le proporciona la fuerza lineal al pistón para que sea empujado y se mueva a lo largo del cilindro.

Funciona dejando el extremo del cilindro por el cual sale el pistón sujeto al objeto que se desea mover, cuando la presión hidráulica del líquido mueve el pistón, este va por consecuencia a mover el objeto que sostiene al extremo.

Figura 8. Cilindro Hidráulico



Fuente: Elaborado por el autor

2.2.4 Válvula de control direccional de aire eléctrico

Estas válvulas son las encargadas del control de aire para lograr extender y contraer del cilindro hidráulico, esto por medio de la aplicación de un voltaje al puerto de conexión eléctrica

Estas válvulas son normalmente cerradas lo que significa que bloquean el flujo del aire hasta que se activen, es decir hasta que reciban el voltaje requerido en su puerto, en la posición de apagado, extraen el aire del sistema, lo que permite que el equipo se reinicie para que la acción se pueda repetir.

La siguiente tabla presenta las principales características con las que cuenta la válvula de control utilizada en el prototipo de este proyecto.

Tabla 3 Parámetros de la Válvula de control

Para uso con	Aire comprimido
Posición inicial	Normalmente cerrada
Flujo máximo	100 psi
Voltaje	24V DC

Fuente: Elaborado por el autor

Figura 9. Válvula de control



Fuente: <https://www.mcmaster.com>

2.2.5 Relevadores

Los relés o relevadores son dispositivos electromecánicos que funcionan como un elemento interruptor de corriente eléctrica; cuando se energiza la bobina se crea un campo magnético que atrae los contactos haciéndolos cambiar de posición, permitiendo abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.

Estos dispositivos permiten conmutar circuitos en los cuales se puede controlar altas tensiones, a la vez que opera con una cantidad de electricidad relativamente pequeña, así como también se utilizan para permitir o interrumpir el paso de corriente alterna, lo que los hace muy útiles al comento de conectar un Arduino con sistemas que trabajan con voltajes más altos.

Para este proyecto se utilizarán relés cuya tensión para la conmutación es de 5V, en la bobina de este, esto debido a que es el voltaje que entrega el Arduino en sus pines de salida; las salidas de los relés pueden ser sometidas a tensiones de hasta 230V AC y corrientes máximas de 10A.

Figura 10. Relevador



Fuente: Elaborado por el autor

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Según Hernández Sampieri et al., 2014: “La investigación es un conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno o problema” (p.4) y según (Tamayo, 2003) “la investigación es un proceso que, mediante la aplicación del método científico, procura obtener información relevante y fidedigna, para entender, verificar, corregir o aplicar el conocimiento” (p.37). De acuerdo con lo anterior, se puede decir que esta investigación tiene como finalidad recolectar los datos y la información que sea requerida, para desarrollar el conocimiento y así brindar soluciones eficaces para un tema específico.

3.1.1 Finalidad de la Investigación

La finalidad de una investigación se refiere al método de la misma y la forma en la que la información va a ser recolectada, de acuerdo con Muñoz una investigación básica o fundamental es:

“Su finalidad es tratar de analizar y explicar hechos, generar conocimiento para desarrollar nuevas teorías, reforzar, rechazar o modificar teorías ya existentes, y así incrementar los conocimientos científicos o filosóficos sin tratar de contrastarlos con algún aspecto práctico” (Muñoz, 2011, p. 25), es decir que se basa completamente en recolectar información y conocimientos de información ya existente.

También (Muñoz, 2011) define la investigación practica como una donde:

... se utilizan los métodos de investigación específicos para la disciplina de estudios y también se diseñan ciertas técnicas e instrumentos para recabar información en el

medio donde interactúa el fenómeno bajo estudio. Para la tabulación y el análisis de la información obtenida, se utilizan métodos y técnicas estadístico-matemáticos que ayudan a concentrar, interpretar y obtener conclusiones formales, científicamente comprobadas. (p.14)

Este tipo de investigación también es conocida como empírica, se basa en lo que el investigador encuentra durante el desarrollo del proyecto.

Adicionalmente, Muñoz se refiere a una tesis del tipo tecnológica de acuerdo a lo siguiente:

“Las tesis clasificadas como investigación tecnológica son los trabajos de investigación cuyo interés y resultados se centran en la producción de satisfactores para la sociedad, por medio de la aplicación del conocimiento para la transformación de la realidad e innovación de la industria, el comercio, las tecnologías de información, las áreas ingenieriles, los equipos, programas y sistemas con la finalidad de generar soluciones en beneficio de una comunidad específica o de la población en general.”

(Muñoz, 2011, p. 26)

Esta investigación busca la mejora y el bienestar de la comunidad en la que va a ser aplicada por medio de la tecnología, ciencia e ingeniería.

Finalmente se encuentra la finalidad combinada, de acuerdo con (Muñoz.2011)

Son tesis en cuyo método de recopilación y análisis de datos se conjunta la investigación documental con la de campo, con la finalidad de profundizar en el estudio del tema propuesto para tratar de cubrir todos los posibles ángulos de una

exploración. Al aplicar ambos métodos se pretende consolidar los datos y los resultados obtenidos. (p.14)

De acuerdo con lo anterior, se puede concluir que este proyecto tiene una finalidad combinada, dado que inicialmente se realizará una revisión teórica de los temas relacionados al proyecto, no obstante, se buscan las estrategias a fin de lograr un objetivo por medio de la tecnología para mejorar el proceso de la prueba de deflexión.

3.1.2 Dimensión Temporal

En una investigación la dimensión temporal, se clasifica de acuerdo con el periodo de tiempo en que se recolecta la información para dicha investigación. Se pueden clasificar en la longitudinal o transversal.

Para las investigaciones de tipo longitudinal o evolutivas Hernández Sampieri et al., 2014 explica que:

En ocasiones, el interés del investigador es analizar cambios al paso del tiempo en determinadas categorías, conceptos, sucesos, variables, contextos o comunidades, o bien, de las relaciones entre éstas. Aún más, a veces ambos tipos de cambios. Entonces disponemos de los diseños longitudinales, los cuales recolectan datos en diferentes momentos o periodos para hacer inferencias respecto al cambio, sus determinantes y consecuencias. (p.159)

Por el contrario, para las investigaciones de tipo transversal o transeccional, se toman datos en un solo tiempo o momento para retratar el estado actual de la situación. “Su

propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado” (Hernández et al., 2014, p. 154).

Según las descripciones anteriores, se establece que la dimensión de dicha investigación es del tipo longitudinal, ya que se toma información de la situación actual del proceso y luego de ser implementado, para así dejar en evidencia la mejora realizada durante el periodo establecido.

3.1.3 Método de investigación.

De acuerdo con Gómez existen cuatro tipos de métodos de investigación:

- El método inductivo establece que este proceso “es el razonamiento que partiendo de casos particulares se eleva a conocimientos generales; o, también, razonamiento mediante el cual pasamos del conocimiento de un determinado grado de generalización a un nuevo conocimiento de mayor grado de generalización que el anterior” (Gómez, 2012, p.14). Esto quiere decir que método de investigación se basa en la observación de un fenómeno, evento para analizarlo, y con esto generar conclusiones.
- El método deductivo “posee la característica de que las conclusiones de la deducción son verdaderas, si las premisas de las que se originan también lo son” (Gomez, 2012, p.15). Este tipo se basa en estudiar la realidad y la verificación de las premisas a comprobar.
- El analítico es un método de investigación, que “consiste en descomponer el todo en sus partes, con el único fin de observar la naturaleza y los efectos del

fenómeno” (Gómez, 2012, p.16). Es decir que este método trabaja descomprimiendo cada uno de los elementos para con esto estudiar el problema.

- Para finalizar, explica que el sintético “intenta formular una teoría para unificar los diversos elementos del fenómeno estudiado; a su vez, el método sintético es un proceso de razonamiento que reconstruye un todo, considerando lo realizado en el método analítico” (Gómez, 2012, p.16); por lo tanto, es un proceso que busca como final la comprensión más exacta de la esencia de lo que ya se conoce en todas sus partes.

3.1.4 Marco de la Investigación

El marco de una investigación se clasifica de acuerdo con el alcance del ambiente en que va a ser desarrollada, y se clasifican en tres diferentes tipos que son: mega, macro y micro

Según Kaufman (2004) el nivel mega “es el resultado de todo lo que una organización usa, hace, produce y logra – productos y outputs- con respecto a los clientes externos y el mundo exterior. Vincula todos los elementos organizacionales” (p. 117). Como su nombre lo indica, es a un nivel grande de impacto, abarca todo lo relacionado a la compañía globalmente, es decir lo interno y lo externo a la misma.

El mismo Kaufman (2004) también describe una investigación a nivel macro:

...combina el nivel micro de contribuciones (productos) para poder lograr resultados útiles fuera de la organización para los clientes externos. La unidad de análisis del nivel macro es el total de lo que usa una organización usa, hace y logra para sí misma,

así como también para sus clientes externos. No incluye resultados y consecuencias externas (p.118).

Por último, Kaufman (2004), describe que el nivel micro “engloba el interés por las contribuciones acumulativas de los (a) recursos organizacionales (inputs) más (b) los procedimientos y métodos (procesos) empleados en las actividades organizacionales que logran (c) resultados inmediatos (productos)” (p.118). Este tipo está directamente relacionado con los productos internos de la compañía, es decir sus procesos locales que dan como resultado el producto final.

Esta investigación se enfoca principalmente a nivel micro, ya que inicialmente se aplicará a nivel local. La propuesta se va a presentar en la planta de Costa Rica, sin embargo, puede aplicarse a nivel macro, dado que puede impactar a otras plantas si se decide implementar en el resto de EW.

3.1.5 Naturaleza de la Investigación

La naturaleza de una investigación se clasifica en cualitativa y cuantitativa, la de tipo cuantitativa se basa en características numéricas y medibles “Se parte de una premisa: la investigación cuantitativa es seria y elegante; los datos cuantitativos permiten hacer tablas y gráficas que ilustran adecuadamente un fenómeno” (del Cid, Méndez y Sandoval, 2011, p.23).

Por el contrario, la investigación del tipo cualitativo lo que busca es la comprensión de los comportamientos, según Muñoz (2011):

Tesis cuya investigación se fundamenta más en estudios descriptivos, interpretativos e inductivos, los cuales se utilizan para analizar una realidad social al amparo de un enfoque subjetivo. Su objetivo es explorar, entender, interpretar y describir el comportamiento de la realidad en estudio, no necesariamente para comprobarla. No incluye datos numéricos, ya que se detiene a analizar puntos de vista, emociones, experiencias y otros aspectos no cuantificables. (p.22)

Según lo anterior esta investigación, al igual que la mayoría de las investigaciones del área de ingeniería, se basa de forma cuantitativa, ya que se plantea de forma numérica, con diferentes mediciones, datos y experimentación para con la información obtenida tomar decisiones.

3.1.6 Carácter de la Investigación

El carácter de una investigación se categoriza en exploratorio, descriptivo, experimental, explicativo o correlacional, de esto depende la estrategia, diseño entre otros componentes de esta.

De acuerdo con Muñoz una tesis de tipo experimental cuenta con las siguientes características:

El objetivo de estas tesis es reproducir un fenómeno dentro de un ambiente específico de pruebas e ir modificando diferentes elementos para observar qué sucede con el fenómeno. Desde luego, todo esto se realiza mediante un método formal de investigación con manipulación de variables experimentales en condiciones rigurosamente controladas para simular las posibles condiciones a las que se enfrentará el objeto de estudio. A estos experimentos también se les denomina

pruebas de laboratorio, pruebas controladas o experimentaciones. A partir de los resultados obtenidos en cada observación se obtiene la información valiosa para elaborar la tesis. (Muñoz, 2011, p.23)

Adicionalmente Hernández Sampieri afirma:

“Los estudios correlacionales tienen como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o contexto en particular. En ocasiones sólo se analiza la relación entre dos variables, pero con frecuencia se ubican en el estudio vínculos entre tres, cuatro o más variables. Pretenden responder a preguntas de investigación como las siguientes: ¿aumenta la autoestima de los pacientes conforme reciben una psicoterapia gestáltica? ¿A mayor variedad y autonomía en el trabajo corresponde mayor motivación intrínseca respecto de las tareas laborales?” (Hernández Sampieri et al., 2014, p.93).”

Es decir que asocian variables por medio de un patrón predecible del grupo que se estudia

Las investigaciones exploratorias, se basan en áreas de investigación de las que se tiene poca información para con esto identificar características básicas y crear una investigación posterior.

Los estudios exploratorios se realizan cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado, del cual se tienen muchas dudas o no se ha abordado antes. Es decir, cuando la revisión de la literatura reveló que tan sólo

hay guías no investigadas e ideas vagamente relacionadas con el problema.
(Hernández Sampieri et al., 2014, p.90)

De acuerdo con las investigaciones descriptivas Hernández Sampieri et al., 2014 afirma:

Con los estudios descriptivos se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. (p.92).

De acuerdo con lo anterior, se puede concluir que una investigación descriptiva es principalmente la caracterización de un hecho o fenómeno.

Para los estudios de tipo explicativo, Hernández Sampieri et al., 2014 explica:

Los estudios explicativos van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. Como su nombre lo indica, su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno. (p.95)

Este tipo establece las relaciones de los hechos por medio de la causa y efecto y explicar el porqué de las cosas.

De acuerdo con lo explicado anteriormente, se puede concluir que esta investigación es principalmente del tipo experimental, dado que se busca crear un prototipo para con esto dar solución al problema que se presenta en la estación de la prueba de deflexión en la empresa EW.

3.2 FUENTES DE INFORMACIÓN

De acuerdo con (Muñoz, 2011), las fuentes de información son “los registros de conocimientos recopilados a través de escritos formales, libros, revistas, manuscritos, cuadros, figuras, y registros audibles en grabaciones fonográficas, los cuales se utilizan como fuentes de consulta para fundamentar un conocimiento” (p.223).

Esto quiere decir que es el lugar de donde el investigador obtiene toda la información requerida, para fundamentar el proyecto y pueden ser catalogados en:

3.2.1 Fuentes Primarias

Como lo explica Muñoz (2011):

Se vale de aquel material que se recaba directamente donde tienen su origen los datos. Es la información que se toma de la fuente primaria, es decir, del punto mismo donde se origina, ya sea que se trate de un hecho, un fenómeno o una circunstancia que se desea investigar. Dentro de esta categoría entran la experimentación, los autores inéditos, las encuestas, la descripción de eventos, las noticias periodísticas, la narración de hechos, los reportes de investigaciones, etcétera (p.226).

De acuerdo con lo anterior, este tipo de fuente viene de primera mano, desde donde se originan los datos. Para esta investigación se utilizan herramientas como la observación directa del problema, entrevistas a los involucrados en el proceso, entre otras fuentes.

3.2.2 Fuentes Secundarias

Según lo explica Muñoz (2011) una fuente secundaria es:

...aquella que toma sus contenidos de las fuentes primarias para su interpretación, complemento, corrección o refutación. La investigación que utiliza información de segunda mano tiene la ventaja de que está más documentada, pues toma varias fuentes para complementar y se apoya en la seriedad metodológica (p. 226).

Es decir que este tipo de fuente contiene información que ya ha sido publicado en fuentes primarias, contienen por lo general un análisis, comentario de la fuente primaria, dentro de ellas se puede encontrar ensayos, tesis, antologías, enciclopedias entre otros.

3.2.3 Sujetos de Información

De acuerdo con Cid et al. (2011): “Cuando las fuentes de información son personas se les llama sujetos de investigación” (p.85).

De acuerdo con lo anterior los sujetos de información son personas que están directamente relacionados con el problema de la investigación, debido a que es información valiosa que solo ellos poseen al ser los expertos del área. Estas personas pueden ser empleados, gerentes, supervisores del área, ingeniero del proceso, entre otros.

En este proyecto se va a consultar como sujetos de información al supervisor del área, técnicos e ingeniero del proceso y operadores del equipo, ya que son los que tienen el criterio técnico para el desarrollo del proyecto.

3.3 TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS

(Niño, 2011) Explica que las técnicas “se entienden como las operaciones, procedimientos o actividades de investigación, por ejemplo, la observación y la entrevista. Algunos las llaman “métodos”, por cuanto se trata de procedimientos de investigación. A veces, también se mencionan como los medios o instrumentos de investigación.” (p.29) sobre las herramientas indica que “son los elementos o materiales que permiten la ejecución o aplicación de las técnicas, como sería el cuestionario en la técnica de la encuesta.” (p.29).

Esta sección describe y explica las herramientas que son utilizados para la recolección de los datos para el proyecto, las técnicas y herramientas a ser utilizadas deben seleccionarse teniendo claro el tipo de la investigación.

3.3.1 Observación

Según (Niño, 2011) la observación consiste en:

“un acto mental bien complejo. Implica mirar atentamente una cosa, una persona o ser vivo, un fenómeno o una actividad, percibir e identificar sus características, formas y cualidades, registrarlas mediante algún instrumento (o al menos en la mente), organizarlas, analizarlas y sintetizarlas. No basta con “ver” las cosas, proceso fisiológico que se genera en los sentidos. Es necesario “mirar”, proceso cognitivo que, aunque se inicia como ver, exige una actividad de la mente” (p. 62).

No consiste solamente en limitarse a ver un evento, sino que implica involucrarse en la situación de estudio y mantener un papel activo dentro de esta, así como una

reflexión permanente, prestando atención a los detalles, sucesos y eventos. (Hernández Sampieri et al., 2014)

Para este proyecto la observación se realizará de una forma activa, ya que se ejecutará en conjunto con los expertos del área para así aclarar los detalles del proceso de la prueba, del equipo y de la problemática a mejorar que a simple vista no se logran entender.

3.3.2 Entrevista

Como lo menciona (Gutiérrez, 1993) una entrevista es:

Una de las técnicas preferidas de los partidarios de la investigación cualitativa, pero también es un procedimiento muy usado por los psiquiatras, psicólogos, periodistas, médicos y otros profesionales, que a la postre es una de las modalidades de la interrogación, o sea el acto de hacer preguntas a alguien con el propósito de obtener un tipo de información específica. A este capítulo de la interrogación pertenecen también además de la entrevista, el cuestionario, que a diferencia de la primera es escrita (p.258).

Esta es una de las técnicas más utilizadas para obtener la información específica y que no se logra con solo la observación, debido a que la entrevista permite interiorizar el pensamiento, ideas y sentimientos de las personas a ser entrevistadas y así lograr obtener información más profunda del problema a trabajar.

Existen distintos tipos de entrevista, el uso dependerá del objetivo de la investigación, las principales son las entrevistas estructuradas, las semiestructuradas y las no-estructuradas o abiertas.

Las entrevistas de tipo estructurado son las que cuentan con una lista de preguntas ya definidas que se deben seguir al pie de la letra, no se pregunta o responde nada que no esté ya definido.

Las entrevistas semiestructuradas son un poco más flexibles debido a que aunque se tengan preguntas ya establecidas como guía para darle dirección a la conversación, durante el proceso se pueden generar nuevas preguntas lo que genera más información de la originalmente esperada.

Por el contrario, las de tipo abiertas son básicamente una conversación entre ambas partes, cada uno puede exponer su punto de vista del problema, lo que genera información no planeada.

Para este proyecto se utilizarán principalmente las entrevistas de tipo semiestructurado y las tipo abiertas, debido a que son las que permiten obtener la mayor información posible de los encargados del área. (Entrevista realizada en Anexo 1).

3.4 VARIABLES Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.4.1 Definición de variables.

El término de variable, en su significado más general, se utiliza para designar cualquier característica de la realidad que pueda ser determinada por observación y que pueda mostrar diferentes valores de una unidad de observación a otra (Tamayo, 2003, p.163).

Adicionalmente Muñoz (2011), explica:

Junto con la formulación de la hipótesis también se establecen las variables de estudio, que propiamente son aquellos fenómenos, características, cualidades, atributos, rasgos o propiedades que se estudian y cuya variación es susceptible de medición, en tanto que adoptan diferentes valores, magnitudes o intensidades. Sin embargo, también existen cualidades y atributos de difícil medición, que no por ello deben dejar de considerarse como variables en el estudio. (p.80).

En la tabla 4 Variables de la investigación, se explicarán las variables relacionadas con los objetivos que serán desarrolladas en este proyecto.

Objetivo Específico	Variable	Definición
Estudiar el proceso actual de la prueba de deflexión que se desarrolla en la empresa Edwards.	Entender el proceso	Elementos para tomar en cuenta, para tener un mejor entendimiento de la importancia de una buena prueba.
Analizar el proceso de la prueba de deflexión y sus respectivos problemas	Características fundamentales	Características fundamentales a tener en cuenta en el proceso de la prueba de deflexión.
Definir las tecnologías actuales que EW utiliza en la prueba de deflexión.	Evaluar equipo	Entendimiento del equipo actual para lograr el desarrollo del proyecto.
Entender la tecnología a nivel de software y hardware que utiliza el dispositivo que actualmente es utilizado en Manufactura.	Evaluar equipo	Entendimiento del software actual para lograr la comunicación con el equipo.
Investigar la tecnología ideal para realizar el control del sistema.	Evaluar componentes	Elección de los componentes o dispositivos ideales para el desarrollo del proyecto.
Determinar la mejor estrategia para dispensar un frasco según lo requiera el proceso.	Diseño de un prototipo	Diseño físico para dispensar el frasco.
Diseñar la mejora a la estación ya existente del equipo.	Diseño de un prototipo	Diseño físico y electrónico del dispositivo a implementar
Crear un manual de usuario para las mejoras realizadas en el equipo para la prueba de deflexión.	Información de mantenimiento	Entrega de un manual de uso y de mantenimiento de la mejora realizada.
Realizar un análisis de costo beneficio del proyecto.	Viabilidad del proyecto	Evaluación de la rentabilidad-factibilidad de la implementación del proyecto.

Tabla 4 Variables de la investigación

Fuente: Elaboración propia del autor

3.4.2 Diseño de investigación.

Según (Niño, 2011), “el diseño se puede interpretar de una de las dos maneras: en un sentido amplio, y en un sentido específico. En el sentido amplio, diseño equivale a la concepción de un plan que cubra todo el proceso de investigación, en sus diversas etapas y actividades comprendidas, desde que se delimita el tema y se formula el problema hasta cuando se determinan las técnicas, instrumentos y criterios de análisis” (p.53).

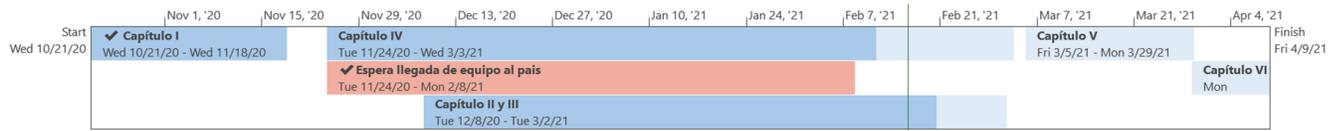
También Trochim (2005), explica sobre el diseño de la investigación:

...es el pegamento que mantiene el proyecto de investigación cohesionado. Un diseño es utilizado para estructurar la investigación, para mostrar cómo todas las partes principales del proyecto de investigación funcionan en conjunto con el objetivo de responder a las preguntas centrales de la investigación (p.13).

Esto quiere decir que el diseño de la investigación es como se va a desarrollar la misma, las fases que conlleva su desarrollo, las herramientas que van a ser utilizadas, las técnicas que se van a aplicar para lograr que cada uno de los objetivos se logren.

En el Anexo 2 se encuentra el cronograma detallado de cada etapa del proyecto para lograr la implementación, además, la figura 11 Diagrama de tiempo de elaboración del proyecto presenta la línea del tiempo para dicha investigación.

Figura 11. Diagrama de tiempo de elaboración del proyecto.



Fuente: Elaborado por el autor

Adicionalmente para obtener una visualización completa del diseño del proyecto, en la tabla 5 Diseño de la investigación, se muestran todas las variables, técnicas y herramientas que conforman este proyecto a implementarse en EW.

Pregunta de la investigación	Objetivo general	Objetivos específicos	VARIABLES	Método de investigación	Técnicas y herramientas
¿Cuál será la mejor forma de desarrollar un sistema electrónico que permita la automatización para proceso de la prueba de deflexión específicamente al momento de la segregación de la materia prima que le indique al operador en que frasco almacenar el material sin que dependa de su decisión en la planta de Edwards Lifesciences Costa Rica y así lograr disminuir el desperdicio del material durante el primer semestre del 2021?	Desarrollar un sistema electrónico que permita la automatización al momento de la segregación del material de la prueba de deflexión, para lograr mayor eficiencia y disminuir el desperdicio en Edwards Lifesciences Costa Rica, para el primer semestre del 2021.	Estudiar el proceso actual de la prueba de deflexión que se desarrolla en la empresa Edwards.	Entender el proceso	Método Inductivo	Entrevista
		Analizar el proceso de la prueba de deflexión y sus respectivos problemas	Características fundamentales	Método Inductivo	Entrevista
		Definir las tecnologías actuales que EW utiliza en la prueba de deflexión.	Evaluar equipo	Método Analítico	Observación
		Entender la tecnología a nivel de software y hardware que utiliza el dispositivo que actualmente es utilizado en Manufactura.	Evaluar equipo	Método Analítico	Observación
		Investigar la tecnología ideal para realizar el control del sistema.	Evaluar componentes	Método Analítico	Experimental
		Determinar la mejor estrategia para dispensar un frasco según lo requiera el proceso.	Diseño de un prototipo	Método Analítico	Experimental
		Diseñar la mejora a la estación ya existente del equipo.	Diseño de un prototipo	Método Analítico	Entrevista, Experimental
		Crear un manual de usuario para las mejoras realizadas en el equipo para la prueba de deflexión.	Información de mantenimiento	Método sintético	Experimental
		Realizar un análisis de costo beneficio del proyecto.	Viabilidad del proyecto	Método aplicado	Experimental

Tabla 5 Diseño de la investigación

Fuente: Elaboración propia del autor

CAPÍTULO IV

DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

4.1 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

En la actualidad la estación de la prueba de deflexión de la planta de Edwards Costa Rica, cuenta para la segregación de la materia prima con un proceso de prueba por lote, adicionalmente de ser un proceso en su mayoritariamente manual el cual depende completamente de la decisión del operador.

La prueba de deflexión consiste en tomar cada una de las piezas del tejido y aplicarle una fuerza perpendicular al material, de acuerdo con el nivel de flexibilidad con el que cuente el tejido será clasificado en diferentes categorías para luego ser cosido al resto de componentes requeridos para formar una válvula completa.

El equipo actualmente utilizado para realizar la prueba en la planta de EW Costa Rica consiste en un Mitutoyo, el cual es el encargado de aplicarle la fuerza al tejido, esto es conectado con una computadora, esta cuenta con un software, al cual por decisión de la empresa y del proveedor del mismo solamente se tuvo acceso a utilizarlo, no se pudo tener acceso al código del mismo, este software, de acuerdo al resultado de la prueba despliega el rango para categorizar en el monitor de la pantalla.

Después de realizar la prueba de deflexión al tejido, el operador cuenta con 11 frascos, uno por cada rango de clasificación del tejido, para lograr la segregación del material, lo cual la convierte en una estación incomoda y propensa a generar confusiones y por consecuencia errores y mezclas del material.

Debido a que la prueba cuenta con una serie de posibles resultados, la sección de la estación donde se le aplica la fuerza al tejido y el monitor de la computadora, lugar donde

se observa el resultado están separados, dado que en medio se encuentra la barra donde se ubican los frascos para la segregación, lo que induce al error humano.

Por el contrario, la planta de EW de Singapur, ya cuenta con un proceso de prueba 1 a 1, de igual forma el operador cuenta con grupo de 11 frascos para la segregación del material, pero adicionalmente un operador diferente es el que realiza el retorno de dicho frasco a la operación para que sea utilizado nuevamente en el proceso. Esta metodología de ensamble está en proceso de implementarse en EW Costa Rica.

Al implementar el flujo 1 a 1 se agrega un nuevo factor de riesgo en la operación, ya que el operador que realiza la prueba tiene que seleccionar un frasco, luego un operador diferente toma ese frasco realiza una inspección visual, lo traslada al frasco en el que va a seguir en el proceso y devuelve el frasco original a la operación de deflexión para ser reutilizado.

Dado que en la planta de Edwards Costa Rica se piensa implementar esta metodología, misma que es utilizada en Singapur, este riesgo sería trasladado a nuestro proceso, lo cual aumentó la necesidad de buscar la mejora del proceso.

4.2 RECOLECCIÓN DE DATOS

Debido a que el proyecto está enfocado en un problema específico en la empresa EW, se van a utilizar dos herramientas para lograr la recolección de datos de la situación en estudio.

La primera técnica utilizada para la recolección de datos, será realizada por medio de la encuesta. La población a la cual se le realizó la encuesta corresponde al personal de

la empresa que este en relación directa con este proceso (ingenieros, técnicos, operarios y supervisores).

La segunda técnica es la observación, en donde se realizó una inspección general del proceso actual para así poder analizarlo y conocer sus características y requerimientos.

4.2.1 Instrumento para la recolección de datos.

Se realizó una entrevista al supervisor del área, ingeniero de procesos, dos técnicos del área y los tres operadores de la estación, dicha entrevista consta de nueve preguntas, ésta al ser del tipo semiestructurada se logra un dialogo que no cierra la posibilidad de obtener alguna información adicional. Esta entrevista se encuentra en el Anexo #1.

1. ¿Considera que el proceso actual de la prueba de deflexión puede ser mejorado?

Todos los entrevistados estuvieron de acuerdo en que el proceso de la prueba puede ser mejorado.

2. ¿Considera que el proceso actual de la prueba de deflexión genera alta posibilidad de error al operador?

De igual forma, todos coinciden en que la prueba tal cual está actualmente genera alta probabilidad de error al momento de seleccionar el frasco en el cual se tiene que ingresar el tejido.

3. ¿Considera que la implementación del proceso 1 a 1 (como lo tiene Singapur) generara más posibilidad de error al operador?

Esta pregunta solo se le realizo al supervisor, ingeniero y los técnicos, ya que los operarios todavía no están informados del cambio, todos comentaron preocupación

con esta nueva implementación, ya que les agrega más responsabilidad a los operadores al momento de realizar la prueba.

También confirman que en reuniones con Singapur se les ha confirmado esta preocupación, ya que en esta planta de EW han tenido un aumento del 5% en la mezcla de la materia prima, lo cual actualmente están investigando como mitigar.

4. ¿Considera que la automatización del dispensado del frasco generara una mejora al proceso?

Todos los entrevistados estuvieron de acuerdo en que esto generaría una gran ayuda al proceso, ya que le disminuye la responsabilidad al operador de seleccionar el frasco correcto, lo cual disminuye la posibilidad de confusión.

5. De ser así, ¿Cuáles mejoras espera que se den?

Lo que espera que se logre mejorar es el porcentaje de tejido que se clasifica de forma errónea por confusión del frasco, el tiempo de ciclo de la operación, la parte ergonómica para los operadores.

6. ¿Considera importante que la mejora considere la próxima implementación de proceso igual que Singapur?

Estuvieron de acuerdo en que era necesario que se considere, ya que es algo que en definitiva viene pronto al proceso de Costa Rica, más aún sabiendo todos los fallos adicionales que Singapur ha experimentado con dicha implementación.

7. ¿Considera que la implementación de esta herramienta puede reducir el riesgo de mezcla de la materia prima?

Al explicarles el plan de la mejora que se piensa implementar, todos comentaron que le ven una gran posibilidad, dado que esto ayudará a disminuir o casi eliminar el riesgo de mezcla del material.

8. ¿Considera que la implementación de esta herramienta puede reducir el desperdicio de materia prima?

Comentaron que, al disminuir la mezcla del tejido al momento de la prueba, en definitiva se reduce el desperdicio de la materia prima, ya que en esta estación solo se descarta la materia prima cuando se generan mezclas.

9. ¿Tiene algo más que agregar?

En general el comentario adicional se centró en el apoyo y comentarios positivos sobre la idea a implementar, le ven gran ayuda e importancia a la mejora pensada.

De acuerdo con el resultado obtenido por medio de esta encuesta, es posible determinar que los colaboradores de la empresa están conscientes del gran impacto que tiene el diseño y desarrollo de esta mejora, para la eliminación de errores, fallos y demoras existentes en el proceso actual y la próxima implementación del proceso uno a uno.

En la etapa de la observación, se logró apreciar lo tedioso y complicado que es para el operador la clasificación del material luego de la prueba, ya que el proceso ni siquiera cuenta con ayudas visuales que le den el soporte requerido para evitar mezclas.

También se observó que si el operador se distrae al momento de la clasificación, no tiene forma de saber el resultado, ya que la pantalla borra de inmediato el dato; adicionalmente esta prueba no se le puede volver a realizar al tejido, lo que genera un problema para el operador, ya que si perdió de vista el resultado esta pieza tiene que ser descartada.

4.3 VALIDACIÓN DE LOS DATOS

En la tabla 6 Situación actual y propuesta de mejora al proceso de la prueba de deflexión, se muestran las necesidades que existen en el proceso de la prueba de deflexión, dichos puntos se acompañan de la propuesta de cómo mejorar la situación actual, para lograr las mejoras luego de la implementación del proyecto.

Tabla 6 Situación actual y propuesta de mejora al proceso de la prueba de deflexión.

Situación actual	Problemática	Propuesta de mejora
Operación es completamente manual	Todo el proceso de clasificación queda completamente en manos del operador, no existen ayudas visuales.	Automatizar el dispensado del frasco en el que se clasificara el material
Desperdicio de material	Al no existir ayudas visuales se generan mezclas de material lo que conlleva a tener que descartar material ya que no se le puede volver a realizar la prueba.	Por medio de la automatización se reduce el riesgo de mezcla del material.
Operarios incurrir en errores al clasificar	Al ser una operación que depende completamente de la decisión del operador se incurre en muchos errores al momento de clasificar el tejido.	Eliminar la dependencia de la decisión del operador
Implementación de proceso uno a uno	Este cambio en el proceso que está próximo a ser implementado ha generado más desperdicio y mal clasificación en Singapur.	Realizar la automatización del proceso considerando esta nueva implementación.
Resultado de la prueba no se mantiene	Inmediatamente después de ejecutada la prueba el resultado se borra de la pantalla, lo que genera más posibilidad de error para el operador.	Mantener una luz en la operación por varios segundos después del resultado para que el operador tenga el resultado visible.

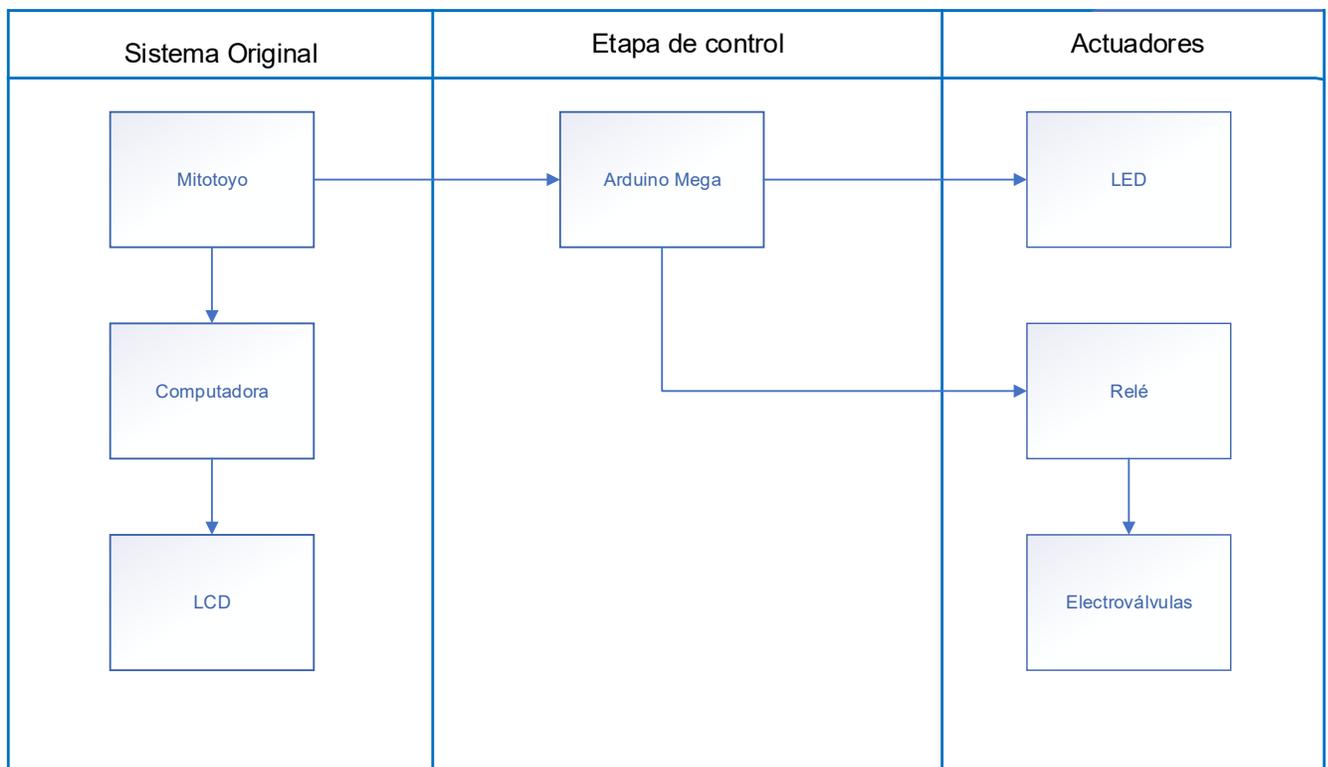
Fuente: Elaboración propia del autor

4.4 DESARROYO DEL PROYECTO

4.4.1 PROPUESTA DEL PROYECTO.

En la siguiente figura, se muestra un diagrama de flujo en el que se aprecian las distintas etapas y elementos requeridos en el desarrollo del prototipo propuesto, para la automatización del proceso de la prueba de deflexión en EW.

Figura 12. Diagrama de flujo de la propuesta de diseño



Fuente: El autor.

Como se muestra en la figura anterior, se puede apreciar las etapas del prototipo propuesto, así como los componentes a utilizar para el desarrollo de este, para lograr la automatización del dispensado del frasco en la prueba de deflexión en EW.

Para el diseño se están realizando tres etapas para la aplicación del proyecto como lo son:

- A. Sistema Original:** en esta etapa del prototipo, se encuentra la sección de lectura de la prueba, la cual no será modificada por decisión de la empresa, esto debido a que entra en contacto directo con el tejido y no se quiere agregar algún factor de riesgo adicional en esta etapa.
- B. Etapa de control:** El sistema original es el que va a dar las señales requeridas, según el resultado de la prueba a la etapa de control, la cual es manejada por un Arduino Mega, para por medio de este, lograr el manejo de la etapa de los actuadores.
- C. Actuadores:** El Arduino Mega, luego de procesar las señales de entrada va a actuar sobre las luces LED, las cuales le indicaran al operador que retorna el frasco en cual cavidad tiene que colocarlo, adicionalmente sobre los relés que posteriormente manejaran los cilindros hidráulicos, estos son los encargados de dispensarle del frasco correcto al operador que realiza la prueba de deflexión.

CAPÍTULO V

DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO

5.1 ASPECTOS DE DISEÑO

La propuesta consiste en la automatización de la prueba de deflexión, mediante la intervención de la electrónica en sus procesos, para con esto lograr el dispensado del frasco y así ayudar a tener los controles necesarios para reducir el desperdicio y mezcla de la materia prima.

Este proyecto nace principalmente de la necesidad del departamento de manufactura de implementar alguna mejora en el proceso, al notar que esta operación genera alto volumen de desperdicio principalmente con la mezcla de la materia prima, adicionalmente que dicha mejora ya se encuentra identificada como parte de las prioridades de la empresa, luego de una reunión con los encargados del área, se les presenta la idea principal del proyecto.

En esta reunión se logró concretar el proyecto y por ende determinar los alcances requeridos para la implementación de este, de acuerdo con las necesidades y posibilidades de la empresa y el área a implementar.

Adicionalmente en esta reunión, se establece la necesidad de lograr eliminar la dependencia de la decisión del operador sobre el cual frasco segregar el material, ya que esto se había determinado previamente por el equipo de mejora continua, como la principal causa de la mezcla de la materia prima, por lo cual se entiende que el dispensado automático cumpliría con la petición realizada.

Una vez delimitado el proyecto, la idea del prototipo y ya estando de acuerdo las partes involucradas, se procede con el arranque del prototipo debido al amplio interés del cliente

por lograr desarrollar una tecnología que logre volver más eficiente el proceso de la prueba de deflexión en EW.

5.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

En este apartado se detalla el proceso de diseño y construcción del prototipo del proyecto, para lo cual se analizan las características y funcionamiento de cada una de las partes de este, así como las razones de su selección para ser implementados en el proyecto.

La construcción del prototipo se realizará mediante una serie de diferentes etapas del sistema original, control y actuadores, que en forma individual cuentan con características de diseño y funcionamiento distintas; las cuales de manera conjunta componen el prototipo creado, tales etapas se presentan a continuación.

5.2.1. Sistema Original

En esta etapa se busca la estrategia más efectiva para lograr la comunicación con el equipo ya existente, el Mitutoyo, encargado de realizar la medición, solo tenía conexión a la computadora, lo cual genera una complicación para comunicarse con la etapa de control a implementarse.

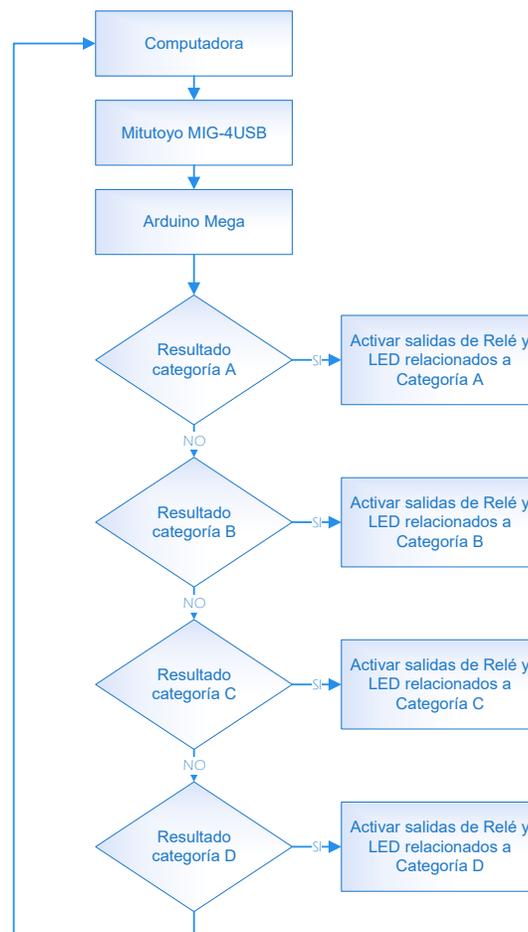
Para lograr dicha comunicación, se realiza la conexión con un Mitutoyo MIG-4USB, el cual es un multiplexor USB, este fue recomendado por el fabricante, ya que es la forma más sencilla y eficiente de realizar la comunicación.

Con la conexión del Mitutoyo MIG-4USB al sistema original que realiza la prueba de deflexión, se logra obtener las señales requerida para que la etapa de control pueda ser ejecutada.

5.2.2. Etapa de control

Esta etapa es la encargada de recibir las señales del resultado de la prueba provenientes del Mitutoyo MIG-4USB, para procesarlas y lograr la automatización del dispensado del frasco, estas señales van a ser manejadas por un Arduino Mega.

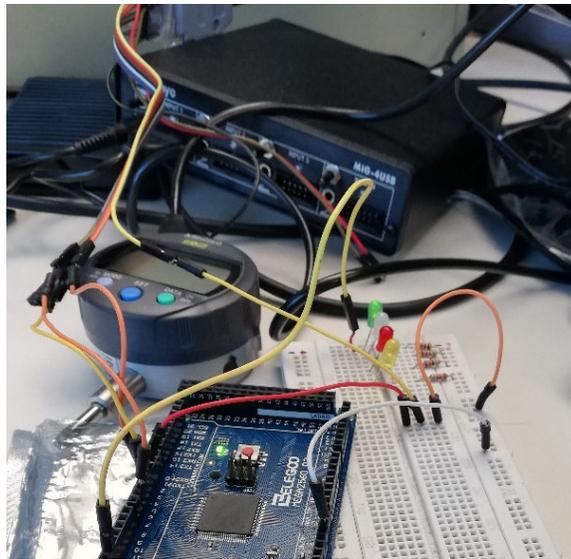
Figura 13. Diagrama de flujo programación.



Fuente: El autor

Como se observa en la Figura 13. Diagrama de flujo programación, la computadora es la primera sección que recibe el resultado, esta se comunica con el Mitutoyo MIG-4USB, y cada una de las salidas se convierten en las señales de entrada del Arduino Mega, la lógica bajo la que se trabaja para realizar la programación, se basa en la lectura de dichas entradas y seleccionar cuales son las salidas correspondientes a activar para lograr el dispensado.

Figura 14. Conexión del Arduino con sistema original



Fuente: El autor

Como se logra observar en la figura anterior, cada una de las señales que indican el resultado de la prueba, se conecta a un pin de entrada del Arduino Mega, dichas señales son leídas e interpretadas por el programa cargado al mismo.

Figura 15. Lectura de los pines de entrada

```
// iniciar los pines como entrada:
pinMode(APin, INPUT);
pinMode(BPin, INPUT);
pinMode(CPin, INPUT);
pinMode(DPin, INPUT);
pinMode(EPin, INPUT);
}

void loop() {
  // leer el estado de los pines:
  AState = digitalRead(APin);
  BState = digitalRead(BPin);
  CState = digitalRead(CPin);
  DState = digitalRead(DPin);
  EState = digitalRead(EPin);
}
```

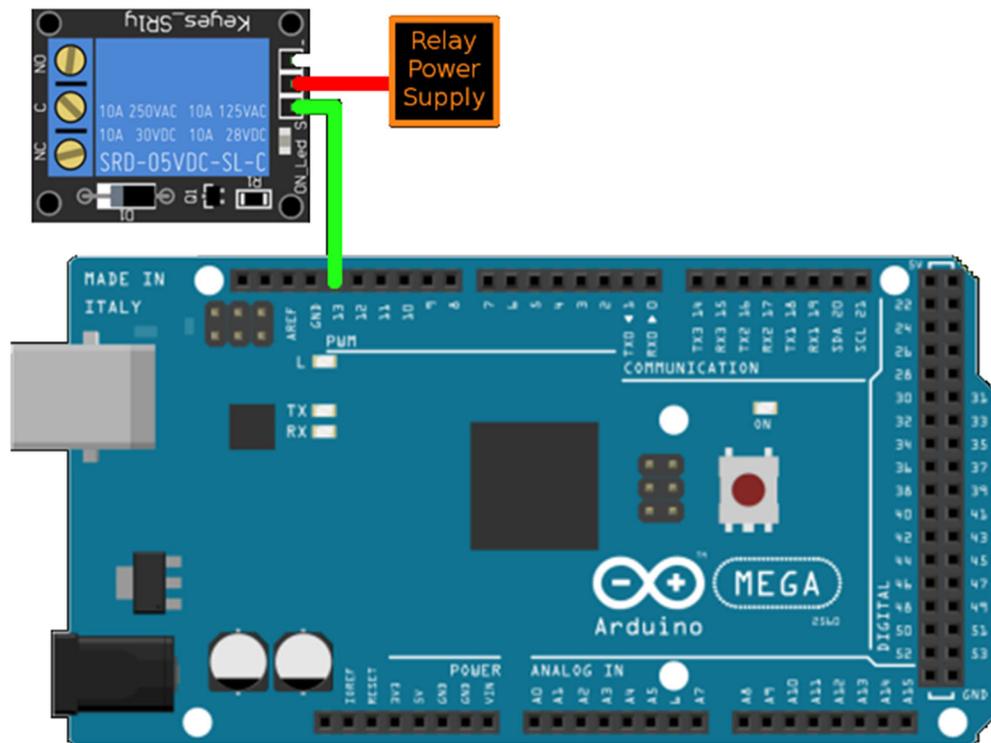
Fuente: El autor

Luego de ser leídas las entradas, el programa cargado al Arduino procede a tomar la decisión de que frasco es el que tiene que dispensar de acuerdo con el resultado de la prueba, adicionalmente se envía la señal requerida para que el LED le indique al operador 2 a cuál cavidad pertenece el frasco a devolver.

5.2.3. Actuadores

Esta etapa es controlada por el programa que está en el Arduino Mega, las diferentes salidas de este dispositivo se conectan a relevadores los cuales permitirán el manejo de los componentes que requieren voltajes más altos de los que puede manejar el microcontrolador, como lo son los cilindros hidráulicos.

Figura 16. Conexión Arduino con Relevadores



Fuente: El autor

Cada uno de los relevadores va conectado a un cilindro hidráulico, el cual se alimenta con una presión de aire de 13 psi, la cual es suficiente para permitir el movimiento de cada uno de los frascos en los que el tejido va a ser clasificado, dicha presión es obtenida de uno de los puntos de uso ya disponibles en la planta de EW.

Adicional al dispensado del frasco se coloca una señal luminosa, para que el operador que requiere retornar el frasco luego de la inspección visual, cuente con una señalización que le otorgue la garantía de que lo va a colocar en el compartimiento correcto.

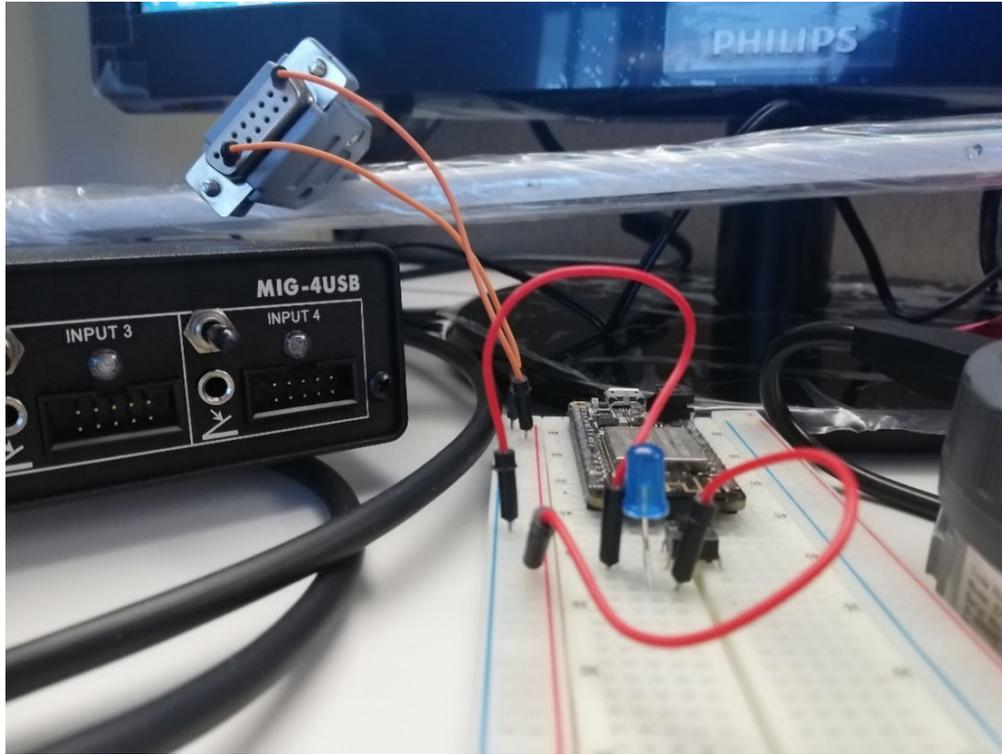
5.3 IMPLEMENTACIÓN DEL DISPOSITIVO

El proceso de construcción y puesta en marcha del dispositivo, se realizó según se planteó de manera gráfica en la figura # 12 Diagrama de flujo de la propuesta de diseño, en el cual se expusieron las diferentes etapas de actuadores, control y comunicación con sistema original, con las cuales de una manera unificada se logró la creación e implementación del dispositivo diseñado.

Parte de las primeras pruebas a realizar consistieron en la conexión del sistema original con el Mitutoyo MIG-4USB, el cual fue recomendado por el fabricante del resto del equipo, dichas pruebas fueron completadas con éxito.

Del Mitutoyo MIG-4USB, se logran obtener señales de 5V relacionadas a cada uno de los resultados, las cuales son completamente compatibles con el Arduino Mega, lo cual hace más sencilla la implementación de la mejora.

Figura 17. Primeras pruebas de comunicación con sistema actual



Fuente: El autor

Figura 18. Primeras pruebas de comunicación con sistema actual



Fuente: El autor

Luego de lograr la comunicación efectiva con el dispositivo original, se procede a iniciar la programación del Arduino Mega, la cual se arranca con la etapa de la lectura de cada una de las señales que se obtienen del sistema original.

Dichas pruebas se realizaron simulando el valor de la prueba en cada uno de los rangos deseados, ya que no se cuenta con tejido para las mismas; esta condición se mantiene por todo el proceso de pruebas realizadas al prototipo.

Como se observa en la figura anterior, al inicio las pruebas de las salidas del software, se realizaron solamente con luces LED, debido a que las electroválvulas a utilizar no habían llegado al país para el momento en que se iniciaron las pruebas.

Ya contando con las electroválvulas, se iniciaron las pruebas para conectar las mismas con el software del Arduino, estas pruebas iniciales se realizan con una presión de 25 psi pero se determina que es muy fuerte para el peso de los frascos.

Fue requerido determinar la presión necesaria en el pistón de la electroválvula para poder movilizar los frascos, por lo que se realiza una regla de 3 utilizando los parámetros del proveedor, para encontrar la equivalencia de la presión requerida para el peso de los frascos.

$$50 \text{ psi} \quad 4 \text{ lbs}$$

$$x \text{ psi} \quad 1 \text{ lbs}$$

$$x = \frac{50 \times 1}{4}$$

$$x = 12.5 \text{ psi}$$

De acuerdo con el resultado del cálculo anterior, se le aplican aproximadamente 12.5 psi a cada electroválvula para garantizar que se logre el dispensado del frasco al obtener el resultado que le corresponda.

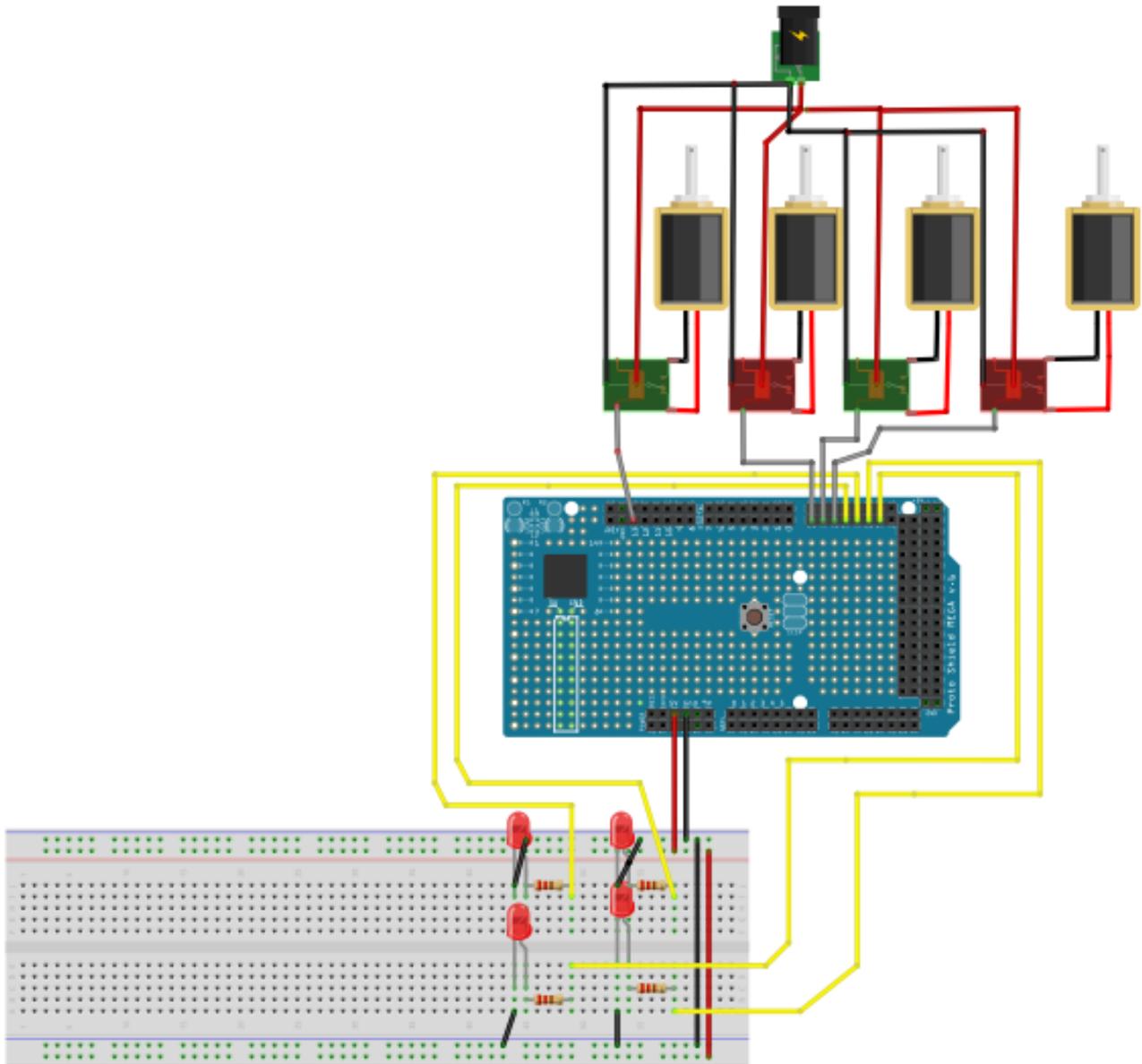
Figura 19. Primeras pruebas de las salidas del sistema



Fuente: El autor

La Figura 20, se muestra el diagrama del circuito a implementar para lograr la automatización del dispensado del frasco correspondiente, este es colocado en el prototipo físico, cada actuador se coloca en un canal diferente y separado para de esta forma evitar que el movimiento del frasco no interfiera con los frascos de otra categoría y cause confusión, los LED se colocan de igual forma en cada canal para que el operador que lo retorna tenga una ayuda visual.

Figura 20. Diagrama del circuito a implementar



Fuente: El autor

5.4 CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO

Se presenta un diseño prototipo que cuenta con la posibilidad de clasificar en 4 diferentes categorías, a pesar de que el proceso actual cuenta con 11, esto debido a que el presupuesto que la empresa dio para la creación del prototipo para evaluar la implementación era limitado y no alcanzó para la compra de los componentes requeridos para realizarlo con las 11 categorías.

Debido a este limitante del presupuesto, la maqueta tampoco se logró hacer en un material aceptable para cuarto limpio, dado que el acero inoxidable es un material altamente costoso.

Este prototipo se realizó de acuerdo con la secuencia dada en la figura # 12 Diagrama de flujo de la propuesta de diseño, en el cual se explicaron cada una de las etapas requeridas para lograr la propuesta a la mejora deseada.

La computadora del sistema original se conecta con un módulo Mitutoyo MIG-4USB el cual es un multiplexor con el cual ya la empresa contaba, esto debido a que la necesidad de mejorar este proceso era algo que ya se había identificado anteriormente, pero no se contaba con el recurso humano para realizar la mejora.

Este multiplexor genera señales de 5V las cuales son de fácil comunicación con el Arduino Mega, cada resultado de la prueba genera una señal específica, las cuales son conectadas al Arduino y por medio del programa se configuran como entradas para que las mismas sean interpretadas.

El programa cargado en el Arduino, de acuerdo con los valores de las entradas selecciona cuál de las salidas activar, para con esto lograr el dispensado del frasco correspondiente a la categoría relacionada con el resultado de la prueba.

Se configuran cada uno de los pines requeridos como salidas, para que estén relacionados a los resultados y de esta forma activar la electroválvula correspondiente al frasco del resultado así logrando el dispensado de forma automática.

Adicionalmente, otra salida del Arduino Mega se configura coordinadamente con la electroválvula y el resultado de la prueba, para que se active una luz LED para el operador que requiere retornar el frasco tenga una ayuda visual, este indicador se configura para que parpadee durante 15 segundos, el cual es el tiempo de ciclo de la operación, esto se configura como se observa en la figura #21 Manejo de las luces LED.

Figura 21. Manejo de las luces LED

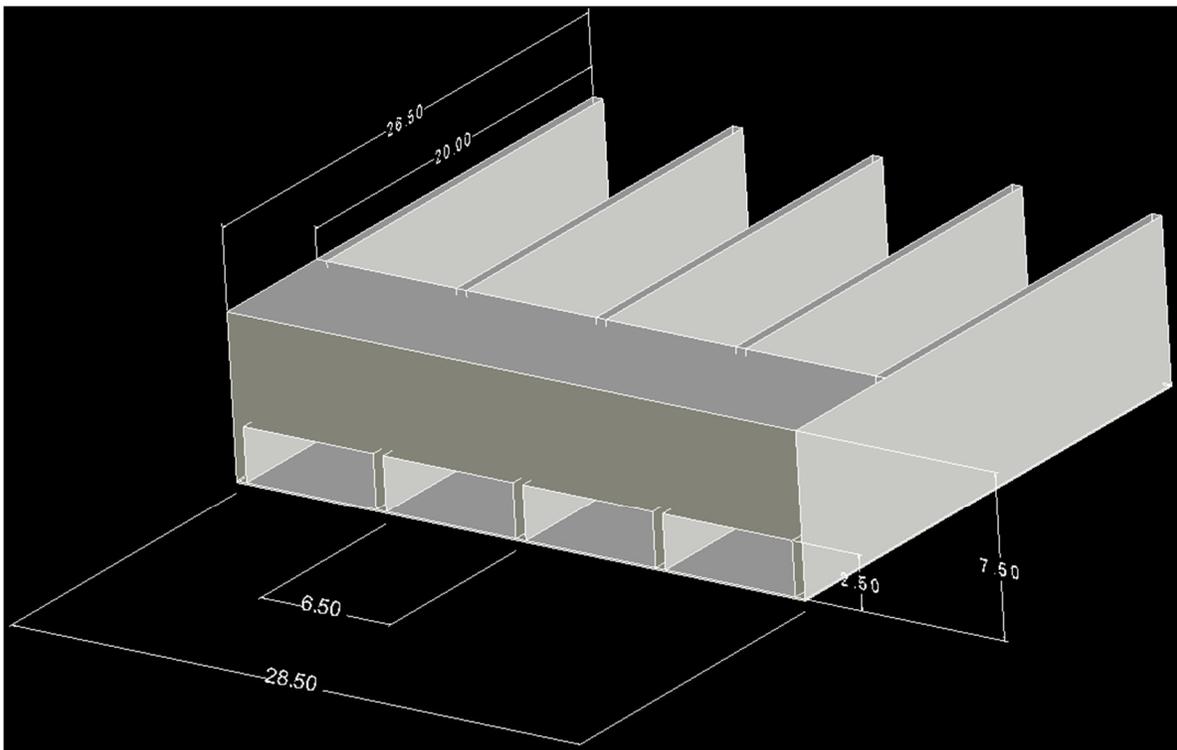
```
if (AState == HIGH)
{
    digitalWrite(SAPin, HIGH);
    for (int i=0; i <= 15; i++)
    {digitalWrite(LAPin, HIGH);
      delay(500);
      digitalWrite(LAPin, LOW);
      delay(500);}
}
```

Fuente: El autor

Todo lo antes mencionado, se coloca en una maqueta prototipo para la operación, dicho diseño se creó en conjunto con el supervisor de la operación, teniendo en consideración que se estima contar con 2 frascos para cada rango de prueba, adicionalmente el espacio disponible en la estación actual.

Como se observa en la figura #22 Diseño del prototipo, cada uno de los canales corresponde a una categoría diferente, se diseña de esa forma para que, al activarse la electroválvula, el frasco mantenga un movimiento en línea recta y evitar que se mueva el frasco de alguna otra categoría.

Figura 22. Diseño del prototipo



Fuente: El autor

5.5 ANÁLISIS DE COSTOS

En esta sección es importante destacar que existen dos costos diferentes asociados a la implementación de este proyecto, debido a que el primer costo está relacionado con el prototipo que se presentó y otro que es el costo contemplando todo lo requerido para la implementación en el piso de manufactura.

La tabla 7 Costos de los materiales utilizados para la creación del prototipo, detalla la lista de los materiales utilizados para la creación del prototipo y los costos de cada uno de estos.

Tabla 7. Costos de los materiales utilizados para la creación del prototipo.

Material	Cantidad	Costo Unitario	Total
Cilindro Hidráulico	4	\$ 41,84	\$ 167,36
Bracket para el cilindro	4	\$ 4,18	\$ 16,72
Electroválvula	2	\$ 51,44	\$ 102,88
Conector regulador de aire	2	\$ 32,98	\$ 65,96
Tubo plástico	10 ft	\$ 9,50	\$ 9,50
Arduino	1	\$ 16,00	\$ 16,00
LEDs	4	\$ 0,80	\$ 3,20
Resistencias	4	\$ 0,05	\$ 0,20
Estructura	1	\$ 30,00	\$ 30,00
Modulo relé 16 canales	1	\$ 24,95	\$ 24,95
Total			\$ 436,77

Fuente: Elaboración propia del autor

Adicionalmente a la compra de los materiales, se requiere tomar en cuenta los gastos relacionados con la etapa de diseño, programación, configuración, logística, armado, implementación y la corroboración del funcionamiento del prototipo, para los cuales se determinan los valores de costo por hora del salario mínimo pagado a un personal técnico en la empresa EW.

El diseño del prototipo inició con la etapa de diseño, esta va desde la estructura completa del dispositivo, hasta la determinación de cada una de las partes y componentes requeridos para la fabricación de este.

Además, se requiere contemplar cada programación para cada una de las etapas, esta programación va relacionada con las instrucciones escritas en el lenguaje de programación del Arduino Mega para después realizar la conexión con los actuadores y luces requeridas en el sistema. Posteriormente, se procedió con la construcción del dispositivo y las pruebas en condiciones de operación normales.

En la Tabla 8. Costos de implementación se muestran las diferentes actividades llevadas a cabo en el diseño e implementación del proyecto, así como la cantidad total de horas invertidas a cada una de estas etapas anteriormente descritas.

Tabla 8. Costos de implementación.

Actividad	Costo por hora	Horas	Total
Diseño del dispositivo	\$ 10	30	\$ 300,00
Programación del Arduino	\$ 10	20	\$ 200,00
Pruebas de la programación	\$ 10	8	\$ 80,00
Configuración del Dispositivo	\$ 10	25	\$ 250,00
Construcción del dispositivo	\$ 10	20	\$ 200,00
Pruebas del dispositivo	\$ 10	20	\$ 200,00

Total

\$1.230,00

Fuente: Elaboración propia del autor

Para la realización de la implementación, se efectúa un análisis del costo, alineado con los precios de los componentes, la cantidad que realmente será necesaria para completarla y con el costo aproximado de la estructura diseñada.

Tabla 9. Costos de los materiales a ser utilizados para la creación de la implementación.

Material	Cantidad	Costo unitario	Total
Cilindro Hidráulico	11	\$ 41,84	\$ 460,24
Bracket para el cilindro	11	\$ 4,18	\$ 45,98
Electroválvula	11	\$ 51,44	\$ 565,84
Conector regulador de aire	11	\$ 32,98	\$ 362,78
Tubo plástico	10 ft	\$ 9,50	\$ 9,50
Arduino	1	\$ 16,00	\$ 16,00
LED's	11	\$ 0,80	\$ 8,80
Resistencias	11	\$ 0,05	\$ 0,55
Estructura	1	\$ 300,00	\$ 200,00
Modulo relé 16 canales	1	\$ 24,95	\$ 24,95
Total			\$ 1.694,64

Fuente: Elaboración propia del autor

Considerando los montos requeridos para la etapa de implementación y cada una de las etapas del diseño, programación e implementación, se genera la tabla 9 Costo total del proyecto, en esta se contemplan todas las etapas y componentes requeridos para completar la implementación en manufactura del prototipo.

Tabla 10. Costo total del proyecto

Descripción	Monto
Costo Materiales	\$ 1.694,64
Horas de trabajo	\$ 1.230,00
Estructura de prototipo	\$ 200,00
Tejido para pruebas	\$ 300,00
Total	\$ 3.424,64

Fuente: Elaboración propia del autor

El proceso actual de la prueba de deflexión, es una operación completamente manual, en la cual la clasificación de la materia prima es dependiente del operador, esta operación a pesar de ser bastante rápida ya que le toma al operador 30 segundos por pieza de tejido, es una operación que genera un 15% de desperdicio, del cual un 10% se da por error al momento de clasificar el tejido.

Esta operación procesa alrededor de diez mil piezas al mes, lo que quiere decir que por mes, mil piezas de tejido son desechadas por error al momento de la clasificación, esto sin contar los errores que genera al momento de ensamblarlo con el resto de los componentes de la válvula.

Después de las pruebas realizadas con el prototipo, se logró determinar que la operación disminuyó 5 segundos, logrando que su tiempo total sea de 25 segundos por pieza de tejido, lo cual genera un beneficio debido a que estos operadores no son exclusivos a esta operación, es decir esto les genera más tiempo para realizar las demás tareas.

De igual forma, con las pruebas realizadas, se logra estimar que el porcentaje de desperdicio por error de clasificación baje de un 10% a un 2%. De acuerdo con la información suministrada por el departamento de finanzas, el costo de cada pieza de tejido es de \$ 2.95, con base a esta información, se construye la tabla 10 Análisis del ahorro económico para dimensionar de mejor forma el beneficio de esta mejora, este análisis se realiza para un solo cuarto de manufactura en un turno de producción, sin embargo, EW Costa Rica actualmente cuenta con 2 cuartos de producción y 2 más en proceso de construcción, adicionalmente se inició con el segundo turno de manufactura, lo que hace el ahorro más significativo.

Tabla 11 Análisis del ahorro económico

Descripción	Unidades	Desperdicio por clasificación	Costo unidad	Perdida
Proceso Actual	10000	1008	\$2.95	\$2,974
Proceso Automatizado	10000	202	\$2.95	\$596
Ganancia mensual				\$2,378

Fuente: Elaboración propia del autor

La tabla 11 Análisis del ahorro económico, deja en evidencia que la implementación del proyecto de automatización de la prueba de deflexión es completamente viable para la empresa, esto debido a que la ganancia estimada que se va a obtener en el transcurso de 2 meses de la implementación ya supera el costo de la inversión en diseño, configuración e implementación.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

Al concluir el prototipo de este proyecto que completa el diseño de un sistema electrónico que permite la automatización de la prueba de deflexión en Edwards Lifesciences, se demuestra que es completamente funcional y que de ser implementado en la empresa lograría la mejora deseada, dado que el dispositivo dispensa de forma automática el frasco correspondiente para la segregación del material, alcanzando mayor eficiencia y disminuyendo el desperdicio.

El estudio de observación, dio como resultado la identificación de las actividades necesarias para ejecutar el procedimiento realizado por los operadores actuales de la prueba de deflexión, que se aplica en la empresa Edwards para la clasificación del tejido.

Se analizaron a fondo todos los detalles de cada parte del proceso de la prueba de deflexión y sus respectivos problemas, con este análisis se logró entender las necesidades del proceso y la forma más idónea de ejecutar la mejora.

A partir del proceso de observación y las pruebas realizadas con el equipo de actual, se lograron definir las tecnologías actuales que son utilizadas en Edwards durante prueba de deflexión, mismo que permitió la comunicación con el equipo y la definición del equipo a utilizar.

De acuerdo con las pruebas de comunicación realizadas con el equipo, se definieron las señales de salida que se obtienen de cada resultado de la prueba y con esto se logró entender la tecnología a nivel de software y hardware que utiliza el dispositivo actual.

A partir de las pruebas e investigaciones realizadas sobre los materiales y el presupuesto requerido, se determinó que el Arduino Mega era la tecnología ideal para realizar el control del sistema de este proyecto.

Se determinó que, para el proceso de la prueba de deflexión, la mejor opción en funcionalidad para el diseño del proyecto, tomando en cuenta los requerimientos, es aplicar una fuerza controlada para dispensar cada frasco de acuerdo al resultado de la prueba.

Con el diseño del prototipo ya revisado con todas las áreas impactadas, se construye el prototipo físico que se diseñó para lograr la implementación de la propuesta de la mejora del equipo.

Con relación al costo beneficio para consolidar el costo de realización del prototipo y el posible costo de la etapa de implementación, se concluye que el proyecto de automatización de la prueba de deflexión es sumamente rentable, logrando una mejora sustancial en el proceso y en la calidad del producto, de la empresa EW.

6.2 RECOMENDACIONES

A continuación, se enuncian las recomendaciones relacionadas con el desarrollo del proyecto propuesto:

De acuerdo con el alcance establecido en este proyecto, exclusivamente para la etapa de automatización de la prueba de deflexión en la planta de Edwards Costa Rica, se recomienda la implementación de la propuesta en el piso de manufactura, dado el gran beneficio y mejora que se obtiene en el proceso de clasificación el tejido previo a su ensamble.

Se recomienda efectuar un proceso de evaluación del equipo que se utiliza actualmente, debido a que es un equipo de poca vida útil, pronto a quedar obsoleto, lo cual, ante cualquier fallo, afectará el proceso de compra de los repuestos requeridos para solventar el evento.

Se recomienda ampliar el alcance de este proyecto, por lo que se propone que sea evaluado en la planta de Edwards Singapur la posibilidad de realizar la implementación del prototipo, esto debido a los beneficios observados al probarlo en la planta de Costa Rica.

Es recomendable, a partir de la implementación de proyecto, crear una rutina de mantenimiento preventivo, a fin de garantizar el correcto funcionamiento de las piezas mecánicas e hidráulicas como lo son los relevadores y los cilindros, utilizados en este proceso.

Se recomienda para una segunda fase, la implementación de una banda transportadora entre el operador que realiza la prueba de deflexión y el que realiza la inspección visual, a fin de minimizar el transporte manual del material, lo cual generaría una mejora ergonómica en dicha estación.

Se recomienda efectuar una mejora en el prototipo, creando un desnivel en el lado de la persona que realiza el retorno del frasco de segregación, para facilitar la operación al momento de implementación.

BIBLIOGRAFÍA

Internet:

Anatomía y función de las válvulas del corazón Disponible en:
<https://www.stanfordchildrens.org/es/topic/default?id=anatomaylafuncindelasvlvulascardacas-90-P06152>

Las 24 partes del corazón humano (anatomía y funciones), 2020 disponible en
<https://medicoplus.com/cardiologia/partes-corazon-humano>

Electroválvula 12V Disponible en:

<https://www.adafruit.com/product/997>

¿Como empezar a aplicar Lean? (II), 2011 disponible en
<http://leanlogisticsexecution.blogspot.com/2011/12/como-empezar-aplicar-lean-ii.html>

Tesis:

Rosales, M. (2019). Desarrollo de un equipo electrónico que permita la automatización del proceso de calibración de los mecanismos de bombas de infusión, para lograr mayor eficiencia en los procesos productivos, Heredia 2018.

Villalobos, E. (2012) Desarrollo e implementación de prototipo de un ambiente controlado automáticamente de área menor a 2 metros cuadrados para riego y control de cultivos, en el segundo semestre del 2012, en la comunidad de bajos de sardinal, cantón de mora, San José, Costa Rica

Libros:

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación (6ta ed.). México D.F.: McGraw-Hill.

Tamayo, M. T. (2003). El proceso de la investigación científica. México DF: Limusa S.A.

Maytorena, G. B. (2011). Métodos de Investigación. México: Colegio de Bachilleres del Estado de Sonora.

Muñoz Razo, C. (2011). Cómo Elaborar y Asesorar una Investigación de Tesis (2da ed). México: Pearson Educación de México, S.A de C.V.

Kaufman, R. (2004). Herramientas prácticas para el éxito organizacional. España: Universidad Jaume I.

Del Cid, A., Méndez, R., & Sandoval, F. (2011). Investigación. Fundamentos y Metodología (2da ed). México: Pearson Educación de México, S.A de C.V

Niño, V. M. (2011). Metodología de la Investigación Diseño y ejecución. Bogota, Colombia: Ediciones de la U.

Gutiérrez, H. C. (1993). Los elementos de la investigación. Cómo reconocerlos, diseñarlos y construirlos. Santa Fe de Bogotá: Editorial El Búho.

Gómez, S. (2012). Metodología de la Investigación. México: Red Tercer Milenio S.C.

Gutiérrez, H. C. (1993). Los elementos de la investigación. Cómo reconocerlos, diseñarlos y construirlos. Santa Fe de Bogotá: Editorial El Búho.

ANEXO

Lista de anexos

En el CD se encuentra una carpeta llamada “Anexos” en la cual pueden ser localizados los documentos de apoyo utilizados para el desarrollo de esta investigación.

01. Cronograma
02. Diagrama
03. Entrevista
04. Fishbone_Diagram
05. Minuta Observación