

**SEP                    TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TIJUANA**

**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

**MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN**



**“Control estadístico de proceso para la reducción de desperdicio  
en una empresa aeroespacial”**

Tesis que presenta:

**Garibo Rodríguez Ana Patricia**

Para obtener el grado de:

**MAESTRA EN ADMINISTRACIÓN**

Directora de Tesis:

**Dra. María Esther Ibarra Estrada**



Tijuana Baja California, 15/junio/2021

No. de Oficio: 045/Coord. /2021

Asunto: Autorización impresión de tesis

**DRA. YAZMIN MALDONADO ROBLES**  
**JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**  
**E INVESTIGACIÓN**  
**PRESENTE**

En lo referente al trabajo de tesis titulado: "control estadístico de proceso para la reducción de desperdicio en una empresa aeroespacial", presentado por la C. ANA PATRICIA GARIBO RODRÍGUEZ, alumna con número de control: G09211300 de la Maestría en Administración. Informamos a usted que después de una minuciosa revisión, los miembros del comité manifiestan **APROBAR LA TESIS** en todas sus partes, en virtud de reunir las exigencias de un trabajo profesional y a su vez satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias, por lo que se autoriza a la interesada para que proceda de inmediato a la impresión de este.

**ATENTAMENTE**

*Excelencia en Educación Tecnológica*  
*Por una juventud integrada al desarrollo de México*

**DRA. MARÍA ESTHER IBARRA ESTRADA**  
**PRESIDENTE**

**M.C. CARMEN ESTHER CAREY RAYGOZA**  
**SECRETARIO**

**M.C.A. MARTHA ALICIA RODRÍGUEZ MEDELLÍN**  
**VOCAL**





Instituto Tecnológico de Tijuana

Tijuana, Baja California,

21/junio/2021

OFICIO No. 058/DEPI/2021

Asunto: **Autorización de Impresión de Tesis**

**MARIBEL GUERRERO LUIS**  
**JEFA DEL DEPARTAMENTO DE SERVICIOS ESCOLARES**  
**PRESENTE**

En lo referente al trabajo de tesis, "Control estadístico de proceso para la reducción de desperdicio en una empresa aeroespacial". Presentado por C. **Ana Patricia Garibo Rodríguez**, alumna de la Maestría en Administración con número de control **G09211300**; informo a usted que a solicitud del comité de tutorial, tengo a bien **Autorizar la impresión de Tesis**, atendiendo las disposiciones de los Lineamientos para la Operación de Estudios de Posgrado del Tecnológico Nacional de México.

Sin más por el momento le envío un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**

*Excelencia en Educación Tecnológica-*  
*Por una juventud integrada al desarrollo de México-*



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TIJUANA**

**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
E INVESTIGACIÓN**

**YAZMIN MALDONADO ROBLES**  
**JEFA DE DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

ccp. Archivo  
YMR/lap



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TIJUANA**  
**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

**CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS**

En la ciudad de Tijuana, B.C a 22 de Junio del 2021, la ingeniero Ana Patricia Garibo Rodríguez, alumna del posgrado de Maestría en Administración con número de control G09211300, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de tesis bajo la dirección de la Doctora María Esther Ibarra Estrada y ceden los derechos de trabajo titulado "Control estadístico de proceso para la reducción de desperdicio en una empresa aeroespacial" al Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Tijuana para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, figuras, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y del director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección de correo electrónico: [estheribarra@yahoo.com](mailto:estheribarra@yahoo.com).

Sin el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

  
Ana Patricia Garibo Rodríguez

Nombre y firma del estudiante

## **Agradecimientos**

A mi directora de tesis la Doctora María Esther Ibarra Estrada, por su valiosa crítica y retroalimentación en el desarrollo y conclusión de este proyecto.

## Resumen

El interés por la reducción del desperdicio nació cuando se introdujeron los primeros sistemas de producción en masa, en la década de 1920. En la búsqueda de mayor competitividad los líderes de las grandes industrias identificaron a la reducción de los distintos tipos de desperdicio como un factor crítico. Fue esta premisa la que impulsó a Walter Shewhart cuando ideó los primeros gráficos de control y que han sido la base del control estadístico de proceso que ahora es usado principalmente en las empresas de fabricación.

De acuerdo con lo anterior, la empresa TE Connectivity planta Tecate, B.C. identificó como uno de los principales problemas en el área de producción, la detección tardía de productos defectuosos generó un incremento en el desperdicio de materia prima y por consecuencia impactó en costos extraordinarios. Lo cual motivó el abordaje de esta investigación.

Para lo cual se implementó como herramienta un método de control estadístico de proceso, que arrojó la información necesaria para detectar oportunamente las unidades que no cumplían con los requerimientos de calidad.

Los resultados del desarrollo de esta investigación al implementar un control estadístico de proceso en el área de ensamble de conectores, reflejó una reducción en la cantidad de partes con defectos que fueron removidas al final del proceso impactando en la reducción del costo de desperdicio, comparado este con el mismo periodo del año anterior.

Este proyecto concluye que la implementación de la herramienta de control estadístico de proceso permite identificar en etapas tempranas los problemas en materia prima y en el proceso de ensamble, generando acciones de tipo preventivo con la finalidad de evitar costos extraordinarios por incremento de partes defectuosas.

## **Abstract**

*Waste reduction has been an interesting topic since the mass production was born in the 1920 decade. The leaders of main industries were pursuing a high competitiveness and defined the different kind of waste as a critical factor to achieve it. This premise was the motivation for Walter Shewhart to create the first control chart, that has been the statistical process control base.*

*Based on the above, the company TE Connectivity at Tecate B.C. site has been identified as one of the most important issues on the production floor, the late detection of defective products, it generated an increase on waste of raw material and as a consequence an impact on extraordinary costs. This was the reason for this investigation.*

*Investigation results after implementation of statistical process control on assembly connectors area, reflected a reduction on the quantity of defective parts that were removed from the final process impacting on reduction of waste cost, compared with the same period of previous year.*

*This project is concluding that the statistical process control allows identify at early stages quality issues on raw material and process mistakes, generating preventive actions to avoid extraordinary costs on defective parts.*

# ÍNDICE GENERAL

<b>DEDICATORIA</b> .....	Error! Bookmark not defined.
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>i</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>ii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iii</b>
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	<b>iv</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>vii</b>
<b>CAPÍTULO I Planteamiento de la investigación</b> .....	<b>1</b>
1.1 Antecedentes .....	3
1.2 Planteamiento del problema.....	6
1.2.1 Definición del problema.....	8
1.3 Objetivos.....	8
1.3.1 Objetivo general .....	8
1.3.2 Objetivos específicos .....	9
1.4 Preguntas de investigación .....	9
1.5 Formulación de la hipótesis.....	9
1.6 Definición de variables .....	9
1.6.1 Modelo de variables .....	10
1.7 Justificación.....	11
1.8 Delimitación del estudio .....	12
1.9 Limitación del estudio.....	12
<b>CAPÍTULO II Fundamento Teórico</b> .....	<b>2</b>
2.1 Marco teórico.....	13
2.1.1 El desperdicio.....	13
2.1.2 Costo del desperdicio.....	14
2.1.3 Reducción del desperdicio .....	17
2.1.4 Control Estadístico de Proceso.....	19
2.2 Marco Referencial .....	26
2.2.1 Caso de estudio 1: Método para el control de la producción defectuosa dentro del proceso de conformado de metales. Caso ZF Sachs Automotive México, México (Limonos, 2012).....	26
2.2.2 Caso de estudio 2: Implementación de control estadístico de procesos para el control de la calidad y la mejora continua en una industria minera, México (Andrade, 2013). .....	27
2.2.3 Caso de estudio 3: Implementación del Control Estadístico de la Calidad, para mejorar el proceso de producción de vidrios templados. Caso de la empresa Corporación Furukawa, Perú (Soto, 2018). .....	29
<b>CAPÍTULO III Metodología</b> .....	<b>30</b>
3.1 Diseño de la investigación.....	32

3.2	Sujeto de estudio.....	33
3.3	Universo .....	33
3.3.1	Muestra.....	34
3.3.2	Selección de la muestra .....	34
3.4	Métodos y técnicas de recolección de datos .....	35
3.5	Diseño del instrumento.....	35
3.5.1	Validez del instrumento .....	39
3.6	Recolección de datos .....	39
3.6.1	Tabulación de los datos .....	40
3.7	Estadística descriptiva de la muestra y/o estimación de parámetros .....	42
<b>CAPÍTULO IV Resultados .....</b>		<b>44</b>
4.1	Análisis de resultados .....	46
4.2	Análisis e interpretación de los resultados.....	47
4.3	Propuesta .....	47
4.3.1	Resultados de la implementación .....	54
4.3.1	Cumplimiento del Objetivo General .....	55
4.3.2	Respuesta a la pregunta de investigación .....	55
4.3.3	Aceptación de la Hipótesis .....	56
4.4	Hallazgos.....	56
<b>CAPÍTULO V Conclusiones y Recomendaciones.....</b>		<b>57</b>
5.1	Conclusiones.....	58
5.2	Propuesta .....	58
5.3	Recomendaciones.....	59
5.3.1	Recomendaciones para la empresa sujeto de investigación .....	59
5.3.2	Recomendaciones para investigaciones futuras.....	59
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>		<b>57</b>

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1.1	Tráfico anual mundial .....	3
Gráfica 2.1	: Ejemplo de gráfico de control .....	22
Gráfica 2.2:	Gráfico de proporción de unidades defectuosas o gráfico .....	23
Gráfica 2.3:	Gráfico del número de unidades defectuosas o gráfico np.....	23
Gráfica 2.4:	Gráfico del número de defectos .....	24
Gráfica 2.5:	Gráfico del número de defectos por unidad .....	24
Gráfica 3.1:	Número de piezas rechazadas de los productos ABC,.....	40
Gráfica 3.2:	Productos rechazados en inspección final por etapa óptima para la detección .....	41
Gráfica 3.3:	Costo de la materia prima desechada por código de defecto .....	41
Gráfica 3.4:	Cantidad de piezas desechadas por etapa de producción en que pudieron ser detectadas.....	42
Gráfica 3.5:	Costo de desperdicio por etapa óptima para la detección .....	44

Gráfica 4.1: Resultados mensuales de scrap del último trimestre del año fiscal 2019 .....	52
Gráfica 4.2: Total de partes desechadas en el último trimestre del año fiscal 2018 y 2019 .....	54
Gráfica 4.3: Resultados en cantidad y costo del desperdicio .....	54

## **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1.1 Principales productores 2015.....	5
Tabla 1.2: Definición conceptual y operacional de variables .....	9
Tabla 3.1: Etapas de la investigación .....	32
Tabla 3.2: Costo pronosticado por etapa óptima de detección .....	44
Tabla 4.1: Resultados de los datos vinculados a la variable independiente .....	46
Tabla 4.2: Defectos agrupados en código y etapa óptima de detección asignada (ejemplo) .....	48
Tabla 4.3: Programa de entrenamiento e implementación .....	52

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1.1: Reducción del costo por etapas .....	7
Figura 1.2: Modelo de variables.....	11
Figura 2.1: Generación de desperdicios en un sistema.....	14
Figura 3.1: Composición del universo.....	34

## **ÍNDICE DE IMÁGENES**

Imagen 2.1 : Descomposición de la variabilidad de un proceso.....	20
Imagen 3.1: Reporte final de operación .....	37
Imagen 3.2: Acumulado de rechazos.....	37
Imagen 3.3: Ejemplo de asignación de etapa óptima de detección para “Circulares” .....	38
Imagen 3.4: Ejemplo del reporte diario de scrap por código de defecto .....	39
Imagen 4.1: Vista de un plan de inspección .....	49
Imagen 4.2: Ejemplo de gráfico X-Bar .....	53

## INTRODUCCIÓN

Controlar el desperdicio de recursos en los procesos de manufactura es imprescindible si se busca la permanencia en un mercado con una competencia cada vez más agresiva. En la industria de sector aeroespacial incursionan y salen empresas que intentan abrirse camino en este lucrativo negocio, sin embargo, las que se mantienen son aquellas compañías que se encuentran en constante movimiento y las cuales tienen el mejoramiento continuo como cultura.

Al observar el alto porcentaje de desperdicio de materiales en una empresa que fabrica conectores para el área aeroespacial, surge la necesidad de analizar una de sus principales áreas de operación, Bonding, el área de pegado. Esta investigación propone y recolecta los resultados de la implementación de control estadístico de proceso, como metodología para obtener información oportuna de los defectos en la materia prima que permitan tomar acciones correctivas para que el defecto no continúe reproduciéndose y remover las partes antes de que su costo se eleve.

El proceso se llevó a cabo en siete etapas, a través de las cuales fue posible, primero diseñar instrumentos para recolectar los datos de la producción actual, estos datos permitieron cuantificar el problema y muestran que el 35.54% del costo del material puede evitarse si los defectos son detectados en una etapa oportuna del proceso. Una vez confirmada la oportunidad de mejora, se realizó un plan para la implementación del control estadístico de proceso, el cual se llevó a cabo conforme a las fechas planeadas.

Se observaron los resultados del desperdicio durante 3 meses después de la implementación, en cantidad de piezas y costo de los materiales que fueron desechados; por cantidad, se logró la reducción del 43.62% del desperdicio y en costo un 48.56% comparado con el mismo periodo del año anterior.

La investigación se detalla a través de cinco capítulos que se describen a continuación:

Capítulo I: Se aborda la problemática que despertó el interés de realizar esta investigación, las oportunidades de mejora que se identificaron en el área de Bonding de la empresa TE Connectivity, se plantea el objetivo que persigue el estudio, se establecen variables, hipótesis y preguntas de investigación, se justifica la importancia del proyecto y se definen las limitaciones y delimitaciones a las que se enfrenta.

Capítulo II: Se describe el estado del arte para cada una de las variables y se analizan investigaciones similares y se considera la metodología, resultados y recomendaciones; como en la de Jonathan Limones que identificó a través de un diagrama de Pareto el defecto que representaba el 48.49% de las partes que se rechazan y son desechadas. Definió una variable de entrada que tiene relación directa con la salida del producto, y diseñó los planes de inspección apropiados para la detección de los productos defectuosos.

Capítulo III: Este apartado contiene información muy importante, se presenta la metodología, enfoque y tipo de investigación, incluye la cronología de las diferentes etapas. Se establece el sujeto de estudio, el universo que lo componen y se selecciona la muestra. Se muestran los instrumentos de recolección de datos, incluyendo su validación y la presentación de los resultados que se recolectaron.

Capítulo IV: En esta sección se analizan los datos que se obtuvieron y mostraron en el capítulo anterior; se interpretan estos resultados alineándolos al objetivo y se detalla la propuesta para dar solución a la problemática definida en el capítulo I. Se incluye la respuesta a las preguntas de investigación, se acepta la hipótesis y se afirma el cumplimiento del objetivo planteado, también incluye el apartado de hallazgos, en el que se redactan aquellas observaciones extraordinarias que tuvieron lugar en el desarrollo del estudio.

Capítulo V: Se concluye y presentan los resultados de la investigación; con base en la experiencia de todos los capítulos, los resultados obtenidos y los hallazgos, se realizan recomendaciones para la empresa y para futuras investigaciones.

## CAPÍTULO I

### **Planteamiento de la investigación**

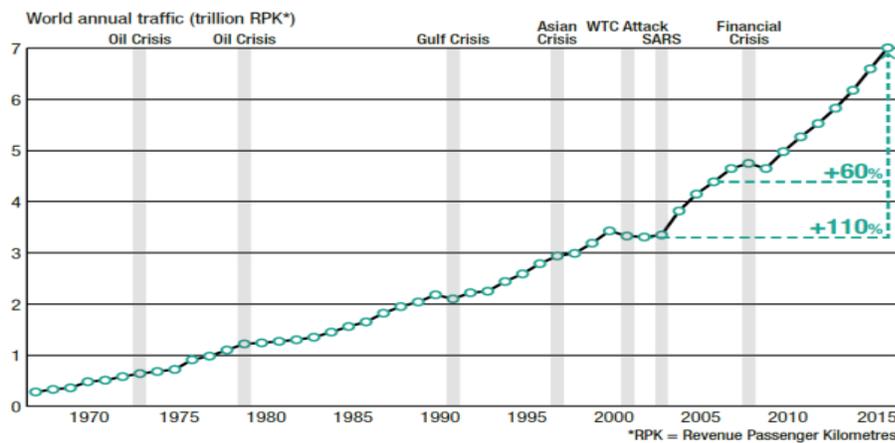
En este capítulo se describen los orígenes de la investigación, las razones que la motivaron; además se definirán los objetivos que se persiguen y se planteará la hipótesis, así como la justificación, delimitación y limitaciones de la investigación.

## 1.1 Antecedentes

El flujo aéreo se ha incrementado significativamente en la última década; al ser un medio de transporte atractivo tanto en lo industrial como en servicios, debido a menores tiempos de traslado de personas y mercancías, considerando una mínima probabilidad de accidentes, aunado a este incremento en el flujo aéreo, detona la demanda de aviones, por lo que actualmente los fabricantes cuentan con listas de espera para sus clientes, en la entrega de un producto, cabe destacar que este proceso puede llegar a tomar hasta algunos años.

Un estudio publicado por la empresa -del sector aeroespacial- Airbus (Ver gráfica 1.1), indica que el transporte de pasajeros a nivel mundial ha mantenido un crecimiento favorable del 60% en los últimos diez años; como lo fue en el año 2016 que se incrementó en un 6.3% respecto al año 2015, medido por los RPKs (*Revenue Passenger Kilometers*) (FEMIA, 2015 online).

**Gráfica 1.1 Tráfico anual mundial**



Fuente: Airbus Global Market Forecast 2017-2036 "Growing horizons"

Es por ello, que la industria aeroespacial, ha ido en auge, ya que el ensamblaje final de las aeronaves está compuesto de cientos de subensambles que permiten a muchas industrias posicionarse en el sector aeroespacial. Cabe precisar que:

Se considera industria aeroespacial a la industria que se ocupa del diseño, fabricación, comercialización y mantenimiento de aeronaves, naves espaciales y cohetes, así como equipos especializados asociados. Es una de las actividades del sector económico de la industria aeronáutica, automovilista y aeroespacial (FEMIA, 2015 online).

Airbus y Boeing son conocidos como las dos más grandes empresas de la industria aeronáutica de las últimas décadas, sin embargo, durante los años más recientes, cinco países han comenzado a crear sus propias compañías que pronto competirán a la par en este mercado. Estos países son Canadá, Rusia, Brasil, China y Japón.

En el caso de las naciones americanas, Canadá cuenta con su propia empresa Bombardier, la cual desde el 2004 inició con la construcción de aeronaves superiores a cien plazas. Por su parte Brasil cuenta con su empresa de jets ejecutivos, Embraer, la cual tiene gran presencia en México. Situadas en el continente asiático, China con la empresa Comac; mientras que Japón compite en el mercado con Mitsubishi, empresa que está desarrollando su serie de aviones MRJ; y por último Rusia, que intenta entrar al mercado aeronáutico con el fabricante Irkustsk (FEMIA, 2015 online).

Es importante destacar que, si únicamente se limita a la producción aeroespacial, el valor de la producción mundial ascendió en el 2015 a 582.6 mil millones de dólares (ver tabla 1.1) (ProMéxico, 2016). Norteamérica incluyendo México, sigue siendo la región con más participación con el 51.1% de total, seguido de Europa con el 31.02% y Asia-Pacífico con 13.93%. Estas 3 regiones concentran el 96.05% de la producción mundial.

**Tabla 1.1 Principales productores 2015**

Principales países productores, 2015. (miles de millones de dólares)		
Rank	País	2015
1	United States	277.4
2	France	83.6
3	United Kingdom	41.3
4	China	39.4
5	Germany	33.9
6	Japan	18.7
7	Canada	16.2
8	Russia	11.1
9	South Korea	8.3
10	Italy	7.0
11	Brazil	5.7
12	Singapore	4.9
13	Spain	4.1
14	<b>Mexico</b>	<b>3.8</b>
15	Switzerland	3.6
16	Malaysia	2.5
17	Australia	2.2
18	Sweden	2.2
19	Philippines	1.5
20	Israel	1.4
	Others	13.7
	Total	582.6

Fuente: ProMéxico (2016) con información de IHS Markit

México ocupa un lugar importante en el sector de la producción aeroespacial, de acuerdo con el estudio “Diagnóstico de la Industria Aeroespacial”, realizado por ProMéxico, 2016, el país se ha consolidado como un líder global en el sector aeroespacial (ocupando el lugar 14 en ranking global de la industria) con un nivel de exportaciones que ha registrado un crecimiento de 14.1% durante el periodo 2006-2015.

En este sentido, datos de la Federación Mexicana de la Industria Aeroespacial (FEMIA) señalan que en México existen entre 320 a 330 instalaciones industriales (plantas) divididas de la siguiente manera:

- 79%, MFG – *Manufacturing*
- 11%, MRO - *Maintenance Repair Overhaul*
- 10%, I&D - *Research and Development*

Cabe señalar que dichas plantas están concentradas principalmente en cinco regiones: Baja California, Sonora, Chihuahua, Nuevo León y Querétaro, y que la mayor parte cuenta con certificaciones NADCAP y AS9100.

Asimismo, FEMIA refiere que los datos preliminares de 2016 indican que el país exportó 7,200 millones de dólares, lo cual representó un crecimiento de

alrededor de 10% (con relación al 2015). Entre los principales productos y servicios en el país se encuentran:

- Componentes para Sistema de Propulsión
- Aero estructuras (*sheet metal*)
- Componentes Sistema de Aterrizaje
- Mecanizados de Precisión
- Partes plásticas
- Tratamientos superficiales
- Sistemas eléctricos y electrónicos
- Partes de material compuesto
- Ingeniería y Diseño
- Servicios de Materiales, Reparaciones and Operaciones (MRO)

Dentro del rubro de sistemas eléctricos y electrónicos, se ubicada la empresa TE Connectivity, localizada en el Parque Industrial Tecate, en Tecate, Baja California, siendo un corporativo multinacional con presencia en casi 50 países y una plantilla de más de 97,000 empleados. La compañía diseña, fabrica y comercializa productos para varias industrias incluyendo la industria automovilística, sistemas de comunicación de datos y electrónica de consumo, telecomunicaciones, industria aeroespacial, defensa y marina, medicina, energía e iluminación.

La planta Tecate es una de las principales en fabricación y ensamble de conectores para uso aeroespacial y forma parte de la división Aeroespacial, Defensa y Marina del corporativo; sus productos se venden a clientes a nivel mundial como Boeing, Airbus, Lockheed Martin, Embraer, Fokker, Parker; y otros clientes nacionales como Gulfstream y Safran, entre otras industrias que sirven a los principales ensambladores de aeronaves.

## **1.2 Planteamiento del problema**

En el área de Bonding de la planta Tecate, se unen los componentes que forman conectores electrónicos para uso aeroespacial; para esto se usan tres

principales variedades de adhesivo epóxico; los materiales son obtenidos de un proveedor interno ubicado en una nave industrial contigua -que es parte de TE Connectivity-y que contiene los procesos de moldeo de plástico y *rubber*; el 70% de la materia prima utilizada en Bonding proviene de fuente interna, mientras que el 30% restante es proporcionado por fuentes externas.

El proceso de manufactura es lineal con flujo del tipo “*pull*” y estaciones de trabajo diseñadas para mantener en movimiento constante los materiales. En la última fase del ciclo de transformación se encuentra la “línea de inspección final”, la operación consiste en la inspección por atributos de los ensambles, previos a ser enviados a liberación por parte del representante de aseguramiento de la calidad. Es aquí, en estas dos últimas fases, en que pueden presentarse dos escenarios, el primero, en el que el producto sea conforme y se envíe al siguiente proceso (ensamble de Shell, en la nave 2 de la planta Tecate) o con el cliente final; o el segundo, en que el material sea rechazado por no cumplir con los requerimientos, en este caso, pudiera ocurrir un reproceso, retrabajo o *scrap* (desecho) del material ya ensamblado. En los 3 casos se genera desperdicio de la materia prima.

Cuando menos el 40% de los defectos reportados son características no deseadas que pudieron ser detectadas en el inicio de la producción o a etapas tempranas. Cuando el material se dispone a *scrap*, el costo que el sistema de ERP “SAP” le ha asignado, se elevó en promedio un 60% con respecto del costo inicial de los componentes dentro del proceso de producción (Ver figura 1.1); esto debido a que el sistema incluirá en el gasto, las horas hombre usadas para el ensamble, la cantidad de adhesivo aplicado, el consumo de energía y otros insumos básicos del proceso.

**Figura 1.1: Reducción del costo por etapas**



Fuente: Elaboración propia.

Aun cuando existen auditorías al proceso de producción por parte de los responsables de aseguramiento de la calidad, no se han definido etapas adecuadas para la auditoría del producto con un enfoque de prevención.

Se precisa que para esta investigación no serán considerados otros impactos negativos que resultan de este problema; como lo son el hecho que los productos defectuosos ya procesados no contribuyen a los métricos del área, como el de productividad, *yield* (porcentaje de aceptación en la primera inspección) y provoca en los empleados frustración ya que al no alcanzar sus métricos a causa de un material no conforme del proveedor, no son considerados para reconocimientos o incentivos económicos que la empresa ofrece, como bono de cumplimiento, producción y horas ganadas. En el año fiscal 2018 se reportó una productividad promedio del 78%, *yield* del 88% y *scrap* de \$511,934.81 dólares que representa el 5.42% del total de las ventas del área, para el *scrap* la meta establecida por el corporativo para la planta fue del 3%, no se alcanzó esta meta, por lo cual originó el desarrollo de esta investigación.

### **1.2.1 Definición del problema**

Los defectos en la materia prima del área de “Bonding” son detectados al final del proceso de ensamble, cuando el impacto económico del desperdicio de materiales se ha incrementado en promedio un 60% con respecto del costo inicial de los componentes, generando así en el año fiscal 2018 un porcentaje de *scrap* del 5.42% comparado con el monto facturado por las ventas.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Implementar un control estadístico de proceso en el área ensamble de conectores “Bonding” en TE Connectivity planta Tecate con el propósito de reducir un 40% el costo del desperdicio “*scrap*” en el último trimestre del año fiscal 2019.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Analizar la variación del proceso de ensamble de conectores para determinar las causas y la etapa donde se identifican los defectos durante los meses de enero y febrero del 2019.
- Desarrollar planes de inspección adecuadas a las características y necesidades del área de producción en los meses de marzo y abril del 2019.
- Implementar un sistema de control estadístico de proceso adecuado las necesidades al área de ensamble de conectores en el primer semestre del año fiscal 2019.
- Evaluar los resultados de la implementación en el área de ensamble de conectores en los meses de octubre a diciembre del 2019.

### **1.4 Preguntas de investigación**

¿Cuáles defectos pudieron detectarse en las etapas iniciales del proceso?

¿Cuál es la diferencia en el costo de la materia prima en las diferentes etapas del proceso?

¿Qué etapas del proceso son óptimas para identificar los defectos en la materia prima?

### **1.5 Formulación de la hipótesis**

Hi: Con la implementación de un sistema de control estadístico de proceso se reducirá el costo del desperdicio de material prima.

### **1.6 Definición de variables**

En la investigación intervienen tres variables (Ver tabla 1.2), una variable independiente: desperdicio de materia prima; una variable dependiente, costos del desperdicio; y la variable moderadora, herramienta control estadístico de proceso.

**Tabla 1.2: Definición conceptual y operacional de variables**

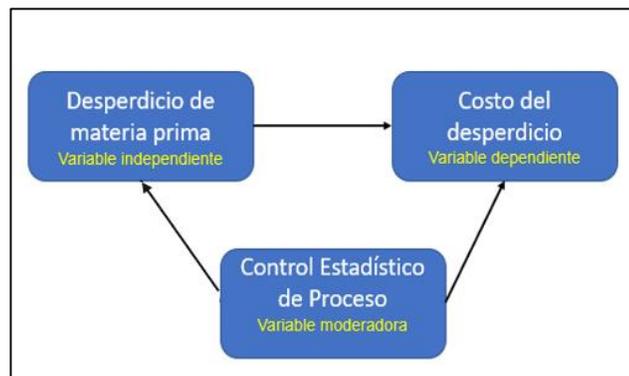
Variable	Definición de la Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional
<b>Variable Independiente</b>	<b>Desperdicio de materia prima</b>	Cualquier cosa distinta de la cantidad mínima de equipamiento, materiales, partes, espacios y tiempo, que sea absolutamente esencial para añadir valor al producto (Escudero, 2013)	Materiales que son desechados cuando se ha confirmado que no cumplen con los requisitos mínimos de calidad. Representado en esta investigación por su costo en dólares estadounidenses
<b>Variable dependiente</b>	<b>Costo del desperdicio (<i>scrap</i>)</b>	El costo es la suma de las inversiones que se han efectuado en los elementos que concurren en la producción y venta de un artículo o desarrollo de una función (Cárdenas, 2016)	Valor monetario expresado en dólares estadounidenses asignado a los recursos con los que cuenta la empresa y que puede ser consultado en el sistema de ERP "SAP"
<b>Variable moderadora</b>	<b>Herramienta Control Estadístico de Proceso</b>	Comprende un conjunto de herramientas estadísticas que permiten descubrir causas especiales de variación, que no son parte del proceso permanentemente, y surgen debido a condiciones específicas (Montgomery, 2004)	Medir las características de calidad de un producto, compararlas contra las especificaciones de fabricación o cliente, representarlas de manera gráfica y tomar acciones oportunas para corregir

Fuente: Elaboración propia

### 1.6.1 Modelo de variables

El modelo de variables (Ver figura 1.2), representa la forma en que estas se relacionan entre sí.

**Figura 1.2: Modelo de variables**



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con el modelo de las variables principales de esta investigación donde el desperdicio de materia prima se identifica como variable independiente ya identificado como el problema que da origen a este estudio, mientras que el costo del desperdicio (*scrap*) impactando en el costo de producción de forma negativa; así mismo se identifica como variable moderadora al control estadístico de proceso, influyendo de manera positiva en las variables principales al reducir la cantidad de desperdicio y el costo del este.

### **1.7 Justificación**

Actualmente, en el sector de manufactura se debe de contar con herramientas que identifiquen de manera oportuna los defectos en las áreas de producción ya que se manejan grandes volúmenes de materia prima para ensamblar distintos componentes, en este caso de giro aeroespacial; es por ello por lo que la empresa TE Connectivity no es ajena a esta problemática, por lo cual se justifica el desarrollo de esta investigación orientada a la administración de la calidad como ruta de seguimiento de estudio.

Para lo cual, la implementación de este proyecto pretende reducir en un 40% el costo de operación asociado al desperdicio de materia prima (*scrap*); el cual impactará de manera positiva al métrico “horas ganadas” de manufactura; la detección oportuna de los defectos reducirá la probabilidad de escapes al cliente mejorando así la imagen como proveedor en la industria.

Durante el año fiscal 2018 se reportaron – el área Bonding– \$511,934.81 dólares que representan el 5.42% del total facturado, la meta impuesta para la planta Tecate fue del 3% para el año fiscal 2019, con la tendencia que presenta el área no se contribuye al logro del objetivo; aun cuando el objetivo de esta investigación está enfocado a reducir el costo de los materiales que son desechados, tendrá un impacto indirecto en otros métricos del área.

Cabe destacar que la inversión estimada (\$4,000 dólares) que se requiere para la implementación de un sistema de control estadístico de proceso para el área

sujeto de investigación, es mínima comparada con los beneficios, así como el retorno de inversión se reflejará dentro del primer mes de implementación, de acuerdo con el cálculo del promedio actual de desperdicio que genera \$42,661.23 dólares mensuales, impactando en la reducción del 40% en el desperdicio proyectando un ahorro de \$17,064.49 dólares para la empresa.

El desarrollo e implementación de este sistema de control estadístico de proceso puede ser replicado en otras áreas de la planta incrementando la eficiencia en la administración de la calidad.

### **1.8 Delimitación del estudio**

Este estudio se delimita a identificar el costo del desperdicio de materia prima y comparar el impacto que tiene la implementación de un sistema de control estadístico de proceso específicamente en las operaciones de ensamble de conectores en el área “bonding” excluyendo las áreas de moldeo, contactos y ensamble final de la empresa TE Connectivity Planta Tecate Baja California.

### **1.9 Limitación del estudio**

Esta investigación se encuentra limitada en cuanto al presupuesto asignado por lo que solo se implementará el control estadístico de proceso en el área Bonding, y no en las áreas que son proveedores del proceso; de modo que los defectos no podrán eliminarse, solo contenerse.

## **CAPÍTULO II**

### **Fundamento Teórico**

El capítulo describe la fundamentación teórica, práctica y legal que han servido como base para el desarrollo de la investigación, que motivaron las hipótesis descritas y ofrecen un panorama de otros casos de éxito.

## **2.1 Marco teórico**

### **2.1.1 El desperdicio**

El concepto desperdicio ha sido interpretado como desechos, residuos o mermas. De acuerdo con Ezquerria (1998), residuo, desecho y desperdicio son sinónimos en su definición. Ya que desperdicio es un residuo que no es fácil de aprovechar o se deja de utilizar por descuido; desecho es lo que se desecha y no sirve de una cosa y el residuo es el resultado de la descomposición o destrucción de una cosa. Por otra parte, merma, es lo que se substraer de una cosa y se va consumiendo naturalmente.

#### **2.1.1.1 Desperdicios en un sistema de producción**

El desperdicio dentro de los sistemas productivos es un tema que mucho se ha estudiado en cuanto a mejoras de procesos se refiere, pero ¿Qué es el desperdicio?

Los procesos de producción se componen de una serie de actividades que aportan valor a nuestro cliente. Cuando una actividad o consumo de recurso no aportan valor añadido alguno, tomando en cuenta que toda actividad o consumo genera un costo, estaremos hablando de un desperdicio (Cuatrecasas, 2010).

En el contexto del proceso de manufactura, el desperdicio se define como cualquier recurso gastado en exceso de lo requerido y lo valorado por el cliente (Sipper, 1998).

El desperdicio, es el tema central de la metodología de manufactura esbelta, el termino japonés *muda* define el desperdicio como cualquier actividad en un proceso que consume recursos y que no agrega valor al producto o servicio desde el punto de vista del cliente (Ibarra-Balderas, 2017).

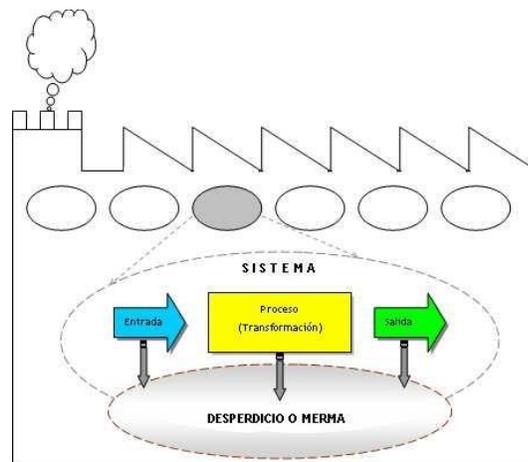
Ibarra y Balderas (2017) mencionan que el ingeniero industrial japonés, diseñador del sistema de producción Toyota, Taiichi Ohno, identificó 7 formas de desperdicios que se dan en cualquiera de las fases de realización de un producto o servicio:

- Sobreproducción: Producir más o antes de lo necesario.
- Inventarios: Cualquier acumulación de materiales o información.

- Sobre proceso: Procesos innecesarios
- Esperas: Tiempos perdidos en las máquinas o personas.
- Reprocesos: Por defectos o inspecciones.
- Transportes: De productos, materiales o información de un lugar a otro.
- Movimientos: Innecesarios de personal por zona de trabajo.

Al definir el desperdicio dentro de un sistema (Ver figura 2.1), se puede concluir como aquello que se utiliza cuando una entrada sufre una transformación y no genera beneficios en su salida, y estos pueden ocurrir en cualquier parte del proceso.

**Figura 2.1: Generación de desperdicios en un sistema**



Fuente: Elaboración propia

### 2.1.2 Costo del desperdicio

Una vez que se tiene una percepción más clara de lo que puede definirse como desperdicio en las operaciones de cualquier actividad productiva, se abordará el tema central de esta investigación y que sustenta la relevancia de esta: El costo del desperdicio en la materia prima.

Cuando se trata directamente el tema de costos industriales, el desperdicio de los materiales se refiere al material de desecho inevitable durante el proceso de transformación. El costo de esas pérdidas debe ser incluido en los costos del producto. Si el desperdicio es aprovechable en futuras producciones mediante

reparaciones o reprocesos se debita a la cuenta de almacén de materiales (inventarios) y se acredita a los gastos de fabricación. El costo de las reparaciones o reprocesos debe adicionarse al costo del material (Jiménez & Espinoza, 2007).

De acuerdo con los autores anteriores, definen los costos de los materiales, en tres tipos, el material de desperdicio, los materiales averiados y materiales defectuosos.

Los materiales averiados, es el caso del producto semiacabado o terminado que resulta con defectos corregibles. El costo del reproceso se puede considerar de alguna de las siguientes maneras:

- El costo del reproceso se carga a la orden correspondiente
- Que se genere una orden específica para ese material
- Que se cargue a los gastos de fabricación para ser distribuidos

El material defectuoso, es el que presenta características no deseadas, sin remedio. Normalmente se considera material de segunda y su valor es inferior a su costo. La pérdida real debe ser tratada por alguna de las siguientes formas:

- Cargar la pérdida a la orden
- Cargar la pérdida a gastos de fabricación para ser distribuida entre toda la producción

De acuerdo con Arredondo (2015) define que, en términos contables para un sistema de costeo por procesos, se refiere al material que ya no puede ser aprovechado, como unidades perdidas, dañadas o defectuosas, y las separa en “desperdicios normarles” y “desperdicios anormales”. Se define a continuación los tipos de unidades para que se pueda distinguir entre ellas:

- Unidades dañadas: Son unidades físicas que no se pueden seguir procesando porque no cumplen con los estándares de producción requeridos o esperados.
- Unidades defectuosas: Son unidades físicas que se detectan a tiempo para seguir su proceso y venderlas posteriormente. Requieren de tiempo y costos extras antes de venderlas.

- Unidades perdidas: Pueden surgir al inicio, durante o al final del proceso productivo y pueden considerarse normales o anormales según sea el caso.

Desperdicios normales: Son los que se consideran inevitables; es decir, forman parte del proceso productivo y como ejemplo se puede mencionar la evaporación de materias primas usadas para la elaboración de productos químicos o pequeños trozos de tela en la producción en serie de ropa. Cada empresa deberá establecer los límites entre una pérdida normal y una pérdida anormal.

El costo del desperdicio normal debe considerarse como parte del costo de producción; es decir, deberá asignarse a las unidades producidas en buen estado.

Desperdicios anormales: Son los que pueden ser evitados pero que surgen por algún error, descuido o negligencia en el proceso productivo. Aunque las empresas tienen considerado un desperdicio normal dentro de su proceso productivo, por alguna razón podría ser mayor al esperado y entonces se considera como desperdicio anormal.

El costo del desperdicio anormal debe considerarse como pérdida durante el periodo y por ningún motivo deberá asignarse al costo de producción, es decir, no puede inventariarse.

Analizando las definiciones conceptuales que maneja Arredondo; el reconocimiento de los desperdicios normales y anormales ayuda a la administración a realizar un buen control de calidad y monitorear la eficiencia de la producción, ya que se comparan los rendimientos obtenidos con los planeados. Hay desperdicios que se generan durante cualquier proceso productivo y que son inevitables aun cuando se tengan operaciones controladas, y estos se incluyen en el costo de producción, lo que significa que el cliente los incluye en el precio que han definido para el producto. Los desperdicios anormales son los que representan un impacto negativo en el desempeño de la empresa, ya que estos resultan en pérdidas económicas no planeadas y que deben atenderse.

### 2.1.3 Reducción del desperdicio

Cuando se ha de abordar el tema de reducción de desperdicios, es necesario hablar de los orígenes de la producción, que es de hecho tan antigua como las primeras civilizaciones. Los primeros administradores consideraron nuevas formas de hacer ruedas, utensilios y bloques. Los egipcios probablemente tenían su versión de la ruta crítica PERT; los romanos con sus construcciones; las obras maestras de arte en la edad media; y la artesanía de los gremios medievales. Todos ellos se caracterizaron por su producción en actividades individuales y la utilización de la fuerza muscular, en vez de la energía mecánica (Riggs, 2008).

Fue el aprovechamiento de la energía mecánica la que impulsó la revolución industrial que comenzó en Gran Bretaña en el siglo XVIII. Dio origen a numerosas invenciones tecnológicas como la máquina para hilar y máquina de vapor. Oficios tradicionales como la costura, la molienda de harina, la elaboración de cerveza y la fabricación de calzado se transformaron en tareas mecanizadas. El beneficio para el individuo fue un mayor nivel de vida proporcionado por salarios más altos que generaron mayor poder adquisitivo. Esto trajo como consecuencia que la gente demandara más productos, lo cual causó un incremento en el consumo de recursos y la producción de más afluentes de las fábricas por vía aérea y acuática. La industrialización se aceleró en las naciones más desarrolladas por la explotación de la mano de obra barata, las tierras y los recursos de las regiones menos desarrolladas del mundo (Henry & Heinke, 1999).

Durante este periodo los trabajos de Taylor, de Gantt y de los Gilbreth sentaron las bases para la disciplina de la ingeniería industrial. Aunque los adelantos originales son apenas reconocibles en las practicas modernas, afianzaron la disciplina a los sistemas de producción, donde todavía desempeña una función vital. Durante la década de los veinte y treinta, las cosas se complicaron al descubrir que las personas no siempre se comportaban como se esperaba y que la complejidad de los nuevos procesos requería más controles. Los estudios de Hawthorne, mejores salarios y condiciones de trabajo no siempre dieron lugar a aumentos proporcionales de producción. Los trabajos de Shewart, aportaron

medidas de control estadístico para garantizar partes intercambiables que exigían las técnicas de producción en masa iniciadas por Henry Ford. Al aplicarse los controles estadísticos de Shewart se tomaron en cuenta todos los factores como el diseño del producto, la distribución de la planta, la capacidad del trabajador, las condiciones ambientales, los materiales y la actitud de los clientes, todas ellas, dieron lugar al estudio de la totalidad de los sistemas de producción (Riggs, 2008).

En el periodo posterior a la segunda guerra mundial se experimentó un crecimiento sin precedentes en la economía de la mayor parte de los países más desarrollados, en particular Estados Unidos, Japón y la antigua Alemania Occidental. En Estados Unidos, el crecimiento se desarrolló en muchos sectores de la economía: en la agricultura, la manufactura, las comunicaciones, los transportes, las industrias de recursos y otros. Se fabricaron en gran escala nuevos productos (televisores, computadoras, fertilizantes, entre otros). Algunos de ellos sustituyeron artículos menos eficaces, no tan durables o más costosos. Por ejemplo, los detergentes desplazaron a los jabones, las fibras sintéticas tomaron lugar de la lana (Henry & Heinke, 1999).

Ante este hecho, grandes avances metodológicos dieron fuerza en el siglo XX, a la calidad de los productos y mejoras en las empresas para el beneficio de los procesos y de los productos, dejando fuera, enfoques de procesos que no consideraban al ser humano en los procesos productivos. Principalmente la transformación del oriente adoptando metodologías occidentales, para hacerlas suyas y mejorarlas, proponiendo nuevos enfoques (mejora continua de los procesos, participación del personal, la satisfacción del cliente, entre otras, con la finalidad de ser más productivos, reducir costos y optimizar los recursos) (Hernández, 2014).

La eliminación del desperdicio es la forma más eficiente de aumentar la rentabilidad de cualquier organización por eso es importante entender exactamente qué es y dónde se encuentra. Y lo que es más importante, sin aumentar el estrés de las personas. No se trata de hacer más, sino de hacerlo mejor (Ibarra y Ballesteros, 2017).

## 2.1.4 Control Estadístico de Proceso

### 2.1.4.1 Variación

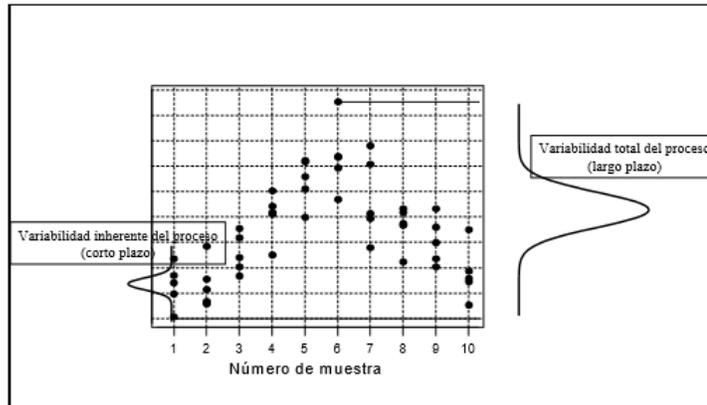
La variación en los procesos es uno de los factores que contribuyen al desperdicio de materia prima; identificar el momento del sistema en que las características deseadas han cambiado es primordial para la reducción del desperdicio.

Pero ¿Por qué varían los procesos? De acuerdo (Ruiz, 2006) a un proceso industrial está sometido a una serie de factores de carácter aleatorio que hacen imposible fabricar dos productos exactamente iguales. Dicho de otra manera, las características del producto fabricado no son uniformes y presentan una variabilidad. Esta variabilidad es claramente indeseable y el objetivo ha de ser reducirla lo más posible o al menos mantenerla dentro de unos límites. El Control Estadístico de Proceso es una herramienta útil para alcanzar este segundo objetivo. Dado que su aplicación es en el momento de la fabricación, puede decirse que esta herramienta contribuye a la mejora de la calidad de la fabricación. Permite también aumentar el conocimiento del proceso (puesto que se le está tomando “el pulso” de manera habitual) lo cual en algunos casos puede dar lugar a la mejora de este.

Un proceso productivo tiene habitualmente dos tipos de variabilidad (ibídem):

- Variabilidad inherente del proceso. Aquella componente de la variabilidad debida a causas comunes solamente y representa la variabilidad que puede estar presente entre elementos fabricados en intervalos próximos (variabilidad en el corto plazo, ver gráfica 2.1). Algunos autores denominan a este componente de la variabilidad como “ruido blanco”.
- Variabilidad total del proceso. Es la variación resultante de todas las causas de variabilidad (causas comunes y especiales), en la que se tienen en cuenta factores como el desgaste o cambios de lote de materia prima. Representa la variabilidad que puede afectar al conjunto de los elementos fabricados recibidos por el cliente (variabilidad en el largo plazo, ver Figura 2.2). Este componente es denominado “ruido negro”.

**Imagen 2.1 : Descomposición de la variabilidad de un proceso**



Fuente: Control estadístico de proceso (Ruiz, 2006)

**2.1.4.2 Definición de control estadístico de proceso**

La historia del control estadístico del proceso (SPC) por sus siglas en inglés (*Statistical Process Control*), se remonta a los años 1920 y Western Electric, que forma parte de los laboratorios Bell, donde Walter Shewhart observa que los procesos del mundo real, tales como la fabricación de piezas, rara vez generan datos distribuidos normalmente. Llegó a la conclusión de que estas variaciones son inherentes al proceso (variación común) y la variación extra (variación especial). La ausencia o presencia de la variación especial determina si un proceso está dentro o fuera de control (Kumiega & Vliet, 2008).

La metodología consiste esencialmente en medir las características de calidad de un producto, compararlas contra especificaciones de fabricación o cliente y cuando existen disconformidades, realizar las acciones correctivas necesarias para que estas no se vuelvan a presentar (Bull & Williams, 2014).

El SPC comprende un conjunto de herramientas estadísticas que permiten descubrir causas especiales de variación, que no son parte del proceso permanente, y surgen debido a condiciones específicas. Esas herramientas son útiles para lograr la estabilidad de los procesos productivos y mejorar su capacidad mediante a la reducción de la variabilidad. (Orlandoni Merli, 2012).

Es aplicable a cualquier tipo de proceso. Se basa en el uso eficiente de herramientas estadísticas tales como: Histograma de frecuencias, hoja de verificación, diagrama de causa y efecto, diagrama de concentración de efectos, diagrama de dispersión, cartas de control. Aun cuando estas herramientas son parte importante de SPC, ellas constituyen tan solo su aspecto técnico. El SPC crea un ambiente en el que todos los entes de la organización desean el mejoramiento continuo de la calidad y la productividad. Este ambiente se desarrolla mejor cuando la dirección se involucra en el proceso del mejoramiento continuo de la calidad (Ibídem).

#### **2.1.4.3 Gráficos de control**

Un gráfico de control es una representación gráfica de una característica de calidad, medida o calculada a partir de muestras del producto, en función del número de las muestras o el tiempo. La gráfica tiene una línea central que representa el valor medio de la característica de calidad correspondiente al estado bajo control (causas no asignables). En la gráfica se muestran también otras dos líneas horizontales, llamadas límite superior de control (LSC) y límite inferior de control (LIC). Mientras los puntos se encuentren entre los límites de control, se considera que el proceso está bajo control y no es necesario tomar ninguna acción. Sin embargo, un punto que se encuentre fuera de los límites de control se interpreta como una evidencia de que el proceso está fuera de control, y son necesarias acciones correctivas para encontrar y eliminar la o las causas asignables a este comportamiento. Se acostumbra a unir los diferentes puntos muestrales en el diagrama de control mediante segmentos rectilíneos con objeto de visualizar mejor la evolución de la secuencia de los puntos a través del tiempo (Montgomery, 1991).

Los gráficos de control pueden clasificarse en dos tipos generales: gráficos de control por variables y gráficos de control por atributos. En el gráfico de control por variables es posible medir la característica del objeto de estudio y expresarla como un número. En estos casos conviene describir la característica de calidad mediante una medida de tendencia central y una medida de su variabilidad. El diagrama de la media es el que más se usa para controlar la tendencia central,

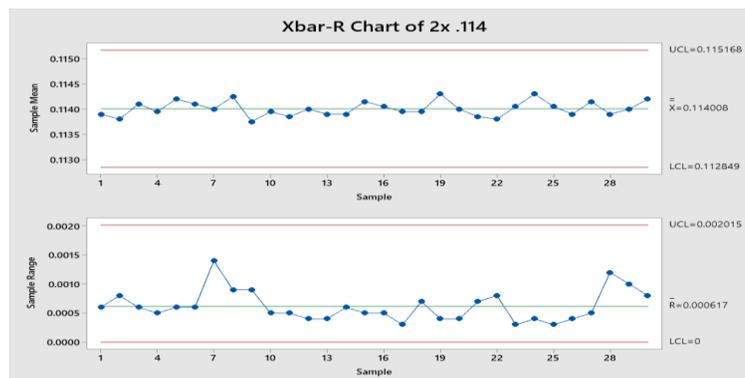
mientras que las gráficas basadas en la amplitud muestral o en la desviación estándar muestral sirven para controlar la variabilidad del proceso (Stuart, 1996).

Es un hecho que muchas características de calidad no se miden en una variable cuantitativa. En estos casos puede clasificarse cada unidad del producto como conforme o disconforme, según posea o no ciertos atributos, o bien se puede contar el número de disconformidades (defectos) que aparecen en una unidad del producto. Los gráficos de control para estas características de calidad se llaman gráficos de control por atributos (Marsh & Tucker, 1991).

Entre los gráficos de control por variables más importantes tenemos los siguientes: gráfico de medias ( $\bar{X}$ ) y gráfico de rangos (R) (Ver gráfica 2.1). Besterfield (Control de calidad, 2009) menciona que este tipo de gráficos son principalmente utilizados para:

- Mejorar la calidad
- Definir la capacidad del proceso
- Tomar decisiones relativas a las especificaciones del producto, tomar decisiones relacionadas con el proceso de producción, tomar decisiones relativas a productos recién elaborados.

**Gráfica 2.1 : Ejemplo de gráfico de control**



Fuente: Elaboración propia

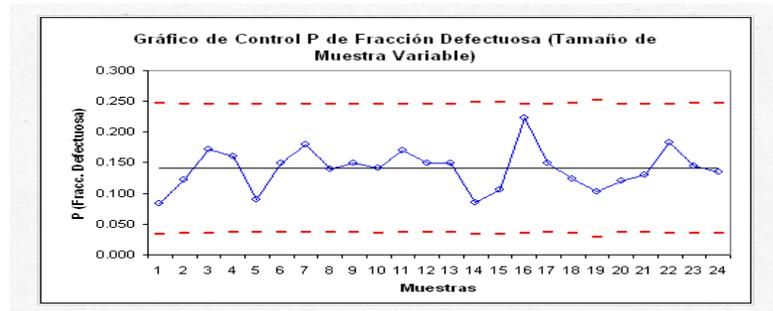
Entre los gráficos de control por atributos tenemos los siguientes: gráfico de proporción de unidades defectuosas o gráfico p (ver gráfica 2.2), gráfico del número de unidades defectuosas o gráfico np (ver gráfica 2.3), gráfico del número de

defectos  $c$  (Ver gráfica 2.4) y gráfico del número de defectos por unidad  $u$  (Ver gráfica 2.5).

Besterfield (Control de calidad, 2009) menciona que este tipo de gráficos son principalmente utilizados para:

- Calcular el nivel promedio de la calidad, mejorar la calidad del producto.
- Llamar la atención del área administrativa siempre que se produzca cualquier desviación respecto del promedio, evaluar el desempeño de la calidad del personal de operación y administrativo. Definir el criterio de aceptación de un producto antes de enviarlo al cliente.

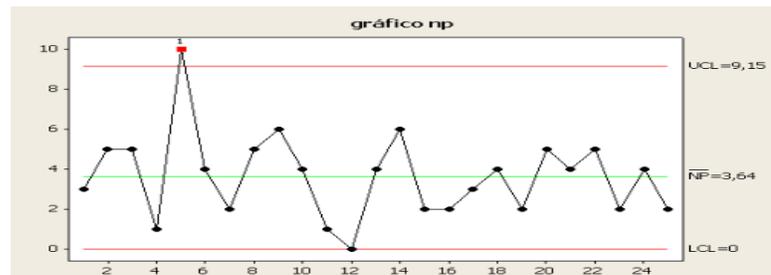
**Gráfica 2.2: Gráfico de proporción de unidades defectuosas o gráfico**



Fuente: Elaboración propia

Como se mencionó, el siguiente gráfico expresa en términos numéricos la cantidad de piezas defectuosas que se observan en el periodo en que se recolectan las muestras.

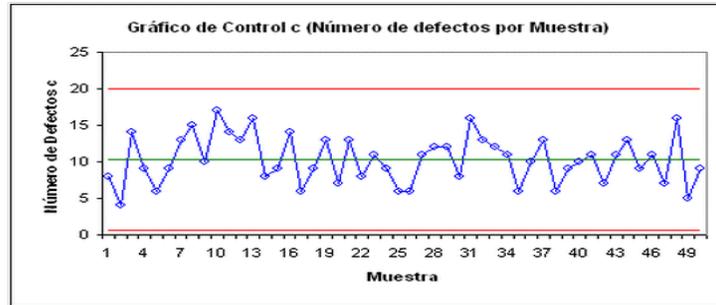
**Gráfica 2.3: Gráfico del número de unidades defectuosas o gráfico np**



Fuente: Elaboración propia

El gráfico por número de defectos es útil cuando se busca mostrar la cantidad de veces que un mismo defecto aparece en el proceso, identificar dentro de la muestra seleccionada en cada evento cuantas partes presentan una determinada condición.

**Gráfica 2.4: Gráfico del número de defectos**



Fuente: Elaboración propia

La gráfica de número de defectos por unidad es usada cuando se presenta más de un defecto en una misma muestra seleccionada. Útil si se desea monitorear los diferentes defectos en un mismo proceso y producto.

**Gráfica 2.5: Gráfico del número de defectos por unidad**



Fuente: Elaboración propia

#### 2.1.4.4 Beneficios del control estadístico de proceso en la industria

Al referir el valor que agrega el control estadístico de proceso a las empresas que lo implementen, se hace un análisis comparativo conceptual de acuerdo a los siguientes autores con el propósito de asociar la identificación de ideologías

conceptuales que conllevan a la aplicación de este, en apoyo a incrementar la eficiencia en los procesos productivos.

- El control estadístico de procesos es una metodología simple que resulta en grandes beneficios para el seguimiento de los procesos con baja tasa de defectos y que actualmente, a través de una corrección en los gráficos p basándose en la fórmula de corrección cuantil Cornish-Fisher usan la gráfica p para monitorear procesos de muy alta calidad (Joekesa & Pimentel, 2013).
- SPC facilita la supervisión del rendimiento "en tiempo real" y permite la detección temprana y la intervención en el funcionamiento de los procesos. Hace fácil la interpretación de los gráficos para los operadores y ha demostrado ser útil en la detección y diferenciación de variación sistémica versus individual (Smith, 2013).
- Permite entender y evaluar la capacidad de los procesos de fabricación entre los límites de tolerancia y especificaciones de ingeniería. Desarrolla técnicas sistemáticas con el fin de mejorar la sensibilidad y robustez (Haridy, 2011).
- El SPC se centra en el control de la variabilidad debido a una causa asignable. Por tanto, se logra la estandarización en los procesos y reducción de costos (Govindarajan, 2010).
- La implementación del control estadístico de proceso (SPC) ayuda a las industrias manufactureras en la toma de mejores decisiones para el sistema de medición y los procesos de fabricación de una forma integrada y eficiente para lograr la calidad de la producción deseada (Villeta, 2012).

## 2.2 Marco Referencial

Para el desarrollo del marco referencial de esta investigación se han considerado casos de estudio similares, se presentan las metodologías aplicadas y la información de los resultados.

### 2.2.1 Caso de estudio 1: Método para el control de la producción defectuosa dentro del proceso de conformado de metales. Caso ZF Sachs Automotive México, México (Limonés, 2012).

La problemática que se aborda en este caso de estudio es el porcentaje de desperdicios en dos operaciones de un proceso de partes automotrices, estampado y troquelado. Se determinó que en ambas existen variables aleatorias que son difícilmente predecibles individualmente y su relación entre ellas. Al desconocer tales relaciones se llega al punto de carecer de un sistema que permita describirlas y examinar sus efectos en el proceso.

En el proceso productivo de un ensamble de turbina para vehículos automotores se determinó que la variación en la longitud del “alabe” (descripción de la parte manufacturada) y el control de las partes defectuosas ocasionaron desperdicios en materiales del 0.22% con respecto a las ventas anuales.

Se identifican cuatro elementos en el sistema: geometría, tolerancias, tasas de producción y factores humanos. De estos, se relaciona como principales ofensores en el desperdicio: A la geometría por la complejidad de la parte a fabricar; y a la tasa de producción, esta última debido a que la maquinaria se encuentra funcionando a velocidades de ciclo de 180 piezas por minuto, de modo que cuando se presenta una variación y es detectada, ya se ha producido una gran cantidad de piezas, generando así un aumento en la fabricación de productos defectuosos.

Mediante un diagrama de Pareto se identificó que el principal defecto es “golpes” y representa el 48.49% del total de las partes rechazadas, mismas que no tienen oportunidad de ser retrabajadas y el producto es desechado.

La hipótesis de esta investigación formula que “con la selección de una variable de entrada, relacionada a la variable de salida en el producto, se tiene un

tamaño de muestra adecuado para su inspección y un criterio de aceptación que discrimina en forma eficiente las partes que no cumplen con las especificaciones del cliente”; mientras que el objetivo es “Desarrollar un método apropiado para verificar la calidad de la materia prima dentro de los procesos de conformado de metales, que permita tener un control de la producción defectuosa” (ibídem).

La metodología aplicada por Limones inicia con una etapa de diagnóstico de la problemática; identificando en ella lo que ocurre con el porcentaje de productos defectuosos y la variación del producto. Utilizó para la etapa de recolección de datos el registro diario de la producción total y la fracción de productos defectuosos. Con la información obtenida se realizaron análisis estadísticos para conocer su distribución, regresión lineal, correlación de la variable, ANOVA, y normalidad; los resultados de estos análisis permitieron la adecuación de un plan de muestreo de aceptación de las variables determinadas como relevantes y correlacionadas con el resultado de partes aceptables.

El autor de esta investigación recomienda que la recolección de los datos se realice de manera no secuencial para evitar dependencia con el tiempo, y con respecto al plan de muestreo, considerar que las unidades seleccionadas para inspección del lote deben ser tomadas aleatoriamente, y deben ser representativas de todos los artículos del lote.

### **2.2.2 Caso de estudio 2: Implementación de control estadístico de procesos para el control de la calidad y la mejora continua en una industria minera, México (Andrade, 2013).**

La problemática que encuentra como objeto de estudio esta investigación surge de la necesidad de resolver los problemas en la variabilidad de un proceso de extracción.

Por la naturaleza del proceso, la variación se observa al determinar el porcentaje del metal a través del análisis por absorción atómica; este es realizado en el laboratorio de calidad en el área de ensaye por vía húmeda de una industria minera. Cuando los resultados reportados por el laboratorio fueron comparados

contra los de un laboratorio subcontratado se encontraron diferencias notables que dejaron en duda la estabilidad del proceso interno, con estas variaciones se produce desperdicio de materiales.

Se concluyó en la primera etapa que la principal causa era la falta de una técnica estadística adecuada que permitiera determinar la estabilidad del proceso y de la técnica de absorción atómica, y con ello obtener resultados confiables.

En la metodología de esta investigación, se llevó a cabo un mapeo del proceso con el que fue posible dividirlo en etapas y por medio de un diagrama de causa y efecto determinar las variables que provocan la inestabilidad en la extracción. Una vez determinadas las variables consideradas en la medición se elaboraron gráficos de control para estas.

Para la construcción de dichos gráficos de control se llevaron a cabo los siguientes pasos:

1. Selección de la característica que se va a controlar: Porcentaje de metal determinado por el método de absorción atómica, ya que sirve como medio para verificar que el proceso se encuentra en una situación controlada.
2. Selección de un número conveniente de muestras del producto y toma de los datos de la medición de la característica de la calidad elegida: Dado que la producción es continua, se llevó a cabo un solo muestreo por día, las 25 muestras necesarias fueron tomadas por un solo operador y se registraron en el orden en que fueron obtenidas. Esta decisión fue con el fin de poder equilibrar algunos factores como los costos, posible deslizamiento en el ajuste de los equipos, disponibilidad de operadores y accesibilidad del equipo de mediciones.
3. Cálculo de promedio y desviación estándar: Aplicando las fórmulas descritas en el Capítulo 2 de la investigación, se obtuvieron los valores. Se traza los valores del promedio como una línea central en el gráfico de control.
4. Cálculo de los límites de control: Las fórmulas empleadas para el cálculo de los límites de control se describen en el Capítulo 2, estableciéndolos de

acuerdo a la media con  $\pm 1s$ ,  $\pm 2s$  y  $\pm 3s$ . Estos límites de control se trazan por medio de líneas con respectivos colores para su fácil identificación.

Se concluye que establecer límites de control de proceso con un rango menor, permitirá asegurar la calidad del producto, al ser más restrictivos los límites de control en la separación de los minerales antes de ser enviados al laboratorio.

### **2.2.3 Caso de estudio 3: Implementación del Control Estadístico de la Calidad, para mejorar el proceso de producción de vidrios templados. Caso de la empresa Corporación Furukawa, Perú (Soto, 2018).**

En este caso, el autor identifica más de un problema, detalla tres de ellos; el primero, el retraso en los envíos al cliente por las demoras no planificadas en los procesos, en segundo lugar, las quejas de cliente y rechazos internos por los incumplimientos en las características funcionales requeridas; por último, el incremento en el nivel de desperdicios por productos no conformes detectados en el proceso.

Se menciona como principal ofensor de estas pérdidas a dos características dimensionales que no cumplen los requerimientos: los radios y curvatura de los vidrios y la longitud. Cuando estos requerimientos se encuentran fuera de las tolerancias especificadas, tienen un efecto adverso en la funcionalidad del producto ensamblado.

“Las deficiencias descritas anteriormente son el resultado de un proceso de producción que se viene operando sin procedimientos y controles de calidad establecidos y/o estandarizados, generando situaciones de incertidumbre, desconfianza en cuanto a la calidad de los productos. Así mismo por desconocimiento de las técnicas de control de calidad que han sido probados y se vienen utilizando en empresa que son referentes en el mundo” (Soto, 2018).

La hipótesis planteada tiene enfoque particular en la problemática ocasionada por la calidad de los vidrios, y afirma que si se implementa un control estadístico se mejora el proceso de producción y la calidad de los productos.

Para probar la hipótesis, se implementó el control estadístico de proceso aplicando cartas para monitorear los atributos y variables que determinan el cumplimiento de los requisitos del cliente. Estableciendo límites de control que permitieran la oportuna intervención e investigación de no conformancias potenciales en la operación.

Concluye que la hipótesis se acepta, los resultados muestran una disminución del 10% y una tendencia favorable en cuanto a la cantidad de productos no conformes relacionados a estos defectos.

# **CAPÍTULO III**

## **Metodología**

En este capítulo se presenta la metodología utilizada para la obtención de la información, donde se describe el diseño, sujeto de estudio, universo, selección de muestra y herramientas para la recolección de datos.

### 3.1 Diseño de la investigación

Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo ya que se lleva a cabo un análisis comparativo de la cantidad de desperdicio de materiales y su impacto económico en relación con la producción total de la línea de ensamble, entre el periodo inmediato a la implementación y el periodo actual.

Contando con un diseño de tipo prospectivo y una periodicidad longitudinal ya que, los datos recolectados del problema se identificaron en el periodo de octubre a diciembre del 2018, mientras que la implementación del SPC, se llevó a cabo en el año 2019.

Con respecto al alcance de la investigación se identifica como correlacional, debido a que, cumplir el objetivo general requiere del análisis comparativo del desempeño de la variable dependiente (costo del desperdicio) e independiente (desperdicio de materia prima), observando en ellos la influencia de la variable moderadora (control estadístico de proceso).

En la siguiente tabla se muestran las etapas de la investigación se llevó a cabo en un periodo de 14 meses.

**Tabla 3.1: Etapas de la investigación**

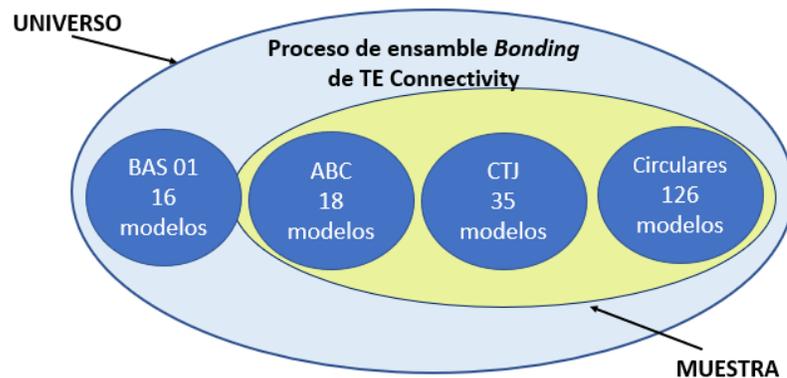
Etapa	Descripción	Octubre-2018	Noviembre-2018	Diciembre-2018	Enero-2019	Febrero-2019	Marzo-2019	Abril-2019	Mayo-2019	Junio-2019	Julio-2019	Agosto-2019	Septiembre-2019	Octubre-2019	Noviembre-2019	Diciembre-2019
I	Recolección de información de los defectos que producen el scrap	■	■	■												
II	Clasificación en grupos por tipo y etapa de detección				■	■										
III	Desarrollo de planes de inspección					■	■									
IV	Selección y adquisición el software y equipo que será usado para el SPC				■	■	■									
V	Entrenamiento del personal involucrado e implementación							■	■							



### 3.3.1 Muestra

Del universo conformado por las 4 familias de productos, se han seleccionado como muestra de estudio exclusivamente tres de las cuatro familias denominadas: circulares, CTJ y ABC (Ver figura 3.1), considerando para la investigación el 100% de modelos que las componen.

**Figura 3.1: Composición del universo**



Fuente: Elaboración propia

### 3.3.2 Selección de la muestra

La selección de la muestra es no probabilística; los datos que se usaron para tomar la decisión de usar como muestra las familias de circulares, CTJ y ABC no resultaron de un proceso estadístico si no que fueron seleccionadas arbitrariamente tomando en consideración:

- El volumen de producción de los modelos *“high runner”*
- El impacto económico que tiene la familia de productos en las ventas facturadas de la empresa
- El histórico de defectos reportados

Estos criterios a su vez fueron seleccionados para asegurar que sean considerados los modelos que podrían generar el mayor impacto económico en la reducción del desperdicio; y alcanzar el objetivo que se ha definido para esta investigación.

### 3.4 Métodos y técnicas de recolección de datos

#### **Método: Observacional y de análisis estadístico**

El método se identifica como observacional y estadístico, la recolección de datos primarios se realizó durante el periodo octubre - diciembre 2018 en las líneas de ensamble Bonding para las familias de conectores circulares, CTJ y ABC a través de la observación, registro y graficación de muestras determinadas como defectuosas en el proceso normal de operación.

#### **Técnicas: Registro de las observaciones y base de datos**

Se diseñaron instrumentos que consideren las variables dependiente e independiente y se incluye el análisis de las etapas óptimas de detección.

El muestreo y estudio de los datos obtenidos se realizó en etapas listadas a continuación:

- 1) Recolección de la información del total de productos inspeccionados en el final del proceso y de partes defectuosas (incluyendo la disposición final)
- 2) Clasificación de los productos defectuosos por código de defecto
- 3) Analizar y determinar la etapa óptima del proceso para identificar el defecto antes que el costo sea elevado
- 4) Recolección de datos del costo del material desechado por código de defecto
- 5) Priorizar por costo los defectos que impactan negativamente en el monto del desperdicio

### 3.5 Diseño del instrumento

Se inició la etapa de recolección y análisis de los datos con la evaluación del estado actual del desperdicio por área. El primer paso, es reconocer los rechazos que son notificados en la etapa final de la operación, se empleó para esto el “Registro de rechazos de producción Bonding”, es un documento en formato electrónico que solicita la captura manual de las características necesarias para

---

obtener la información (Ver imagen 3.1). La estructura del formato contiene los siguientes aspectos:

1. Área: En esta sección se anota si el lote de producción (denominado en la operación y por sistema ERP “orden de producción) corresponde a la familia de circulares, CTJ o ABC.
2. Turno: El turno en que el material fue inspeccionado y liberado
3. Fecha: Fecha en que se ha terminado la orden de producción y se da por finalizada en el sistema SAP
4. Número de la orden: Orden de producción asignada por el sistema SAP
5. Número de material: Número de parte del producto
6. Cantidad de la orden: Cantidad total del lote que corresponde a la orden de producción
7. Cantidad del parcial: Esta sección es aplicable cuando se libera la producción en parciales (si la orden no fue completada debido a que material fue rechazado y será enviado a retrabajo), en este caso aún no se ha reportado el scrap.
8. Piezas buenas: Material aceptable que será enviado
9. Piezas rechazadas: Cantidad de piezas que no cumplen con los requisitos del cliente
10. Notificadas a planta 3: Aplicable cuando piezas ya ensambladas de la orden serán devueltas al proveedor porque pueden ser retrabajadas
11. ¿Es retrabajo?: Si las piezas serán devueltas para retrabajo o reproceso se indica en esta sección, de lo contrario significa que las partes rechazadas fueron dispuestas como scrap.
12. Código de defecto: Código de defecto que se ha designado en el sistema SAP para cuantificar las perdidas
13. Descripción del defecto: Esta sección indica el nombre del defecto
14. Cantidad: Desglosa la cantidad de partes rechazadas por código de defecto



El análisis inicia con la asignación de etapas óptimas de detección del defecto; estas etapas son definidas usando el propio proceso como referencia y partiéndolo en operaciones principales como lo son: Tray, ensamble, quebrado e inspección final.

Se debe entender por “etapa óptima de detección” para inspección por atributos, el momento inmediato posterior al que el defecto fue fabricado, y para inspección de variables el momento en que los resultados muestren un proceso inestable o con tendencias hacia los límites de control.

Este análisis se realiza considerando los códigos de defectos que son aplicables a cada familia de productos evaluada (Ver imagen 3.3) y será la base que determine los planes de inspección.

**Imagen 3.3: Ejemplo de asignación de etapa óptima de detección para “Circulares”**

**CLASIFICACIÓN CIRCULARES**

Codigo	Descripcion	Etapas óptimas para la detección
AB08	Bond - Barrier Danado	Quebrado
AB09	Bond - Cavidad Bloqueada	Ensamble
AB10	Bond - Cavidad Danada	Tray
AB11	Bond - Clip Danado	Tray
AB12	Bond - Danado por Torno	Inspección final
AB13	Bond - Dano por Dowell	Quebrado
AB14	Bond - E-P Fuga de Aire	Inspección final
AB15	Bond - Estampado Doble	Tray
AB16	Bond - Grom Contaminado	Tray
AB17	Bond - Grom Danado	Tray
AB18	Bond - Grom Desalineado	Ensamble
AB19	Bond - Grom Despegado	Quebrado

Fuente: Elaboración propia con datos de TE Connectivity planta Tecate

La variable “costo del desperdicio” (imagen 3.4).es monitoreada y la información recolectada del sistema ERP SAP; no se ha diseñado un instrumento para este proceso ya que los costos por código de defecto y etapas de los procesos han sido previamente asignados y un reporte puede obtenerse; por lo que se ha determinado solamente la frecuencia para la toma de los datos se realiza

diariamente (considerando ambos turnos de producción), ponderando por costo los productos y defectos.

**Imagen 3.4: Ejemplo del reporte diario de scrap por código de defecto**

Scrap Code	Scrap Description	Op. Scrap Qty	Total Scrap Cost
C315	CFNL - Crimp Test - Crumbled	78.000	\$245.56
AB50	Bond - Retencion	20.000	\$87.12
AB26	Bond - Insercion	11.000	\$46.84
AB39	Bond - P-P Danado	11.000	\$44.69
AB19	Bond - Grom Despegado	7.000	\$40.65
AB55	Danado por Shear Test	7.000	\$39.85
AB51	Bond - P-P Despegado	7.000	\$36.11
AB18	Bond - Grom Desalineado	3.000	\$30.34
BM06	ABC - Grom Contaminado	1.000	\$13.02
BM33	ABC - P-P Danado	0.000	\$0.00
TOTAL		145.000	\$584.18

Fuente: Sistema ERP SAP- TE Connectivity Planta Tecate

### 3.5.1 Validez del instrumento

Los instrumentos 3.2 y 3.3 fueron validados a través del registro de corridas piloto, se monitorearon los lotes de producción durante una semana en que se llenaron los registros por el responsable del área de inspección final, la información recopilada fue la esperada y eficaz para el uso previsto.

El instrumento 3.4 se validó con el desarrollo de 3 planes de inspección y aplicados en las etapas de detección definidas para la familia de circulares, siendo aprobada para su uso y replica en el área de Bonding.

El 3.5 es un reporte obtenido y manejado por el área y la empresa TE Connectivity por los últimos cinco años, el objetivo previsto para este instrumento ya ha sido validado mediante el uso cotidiano.

### 3.6 Recolección de datos

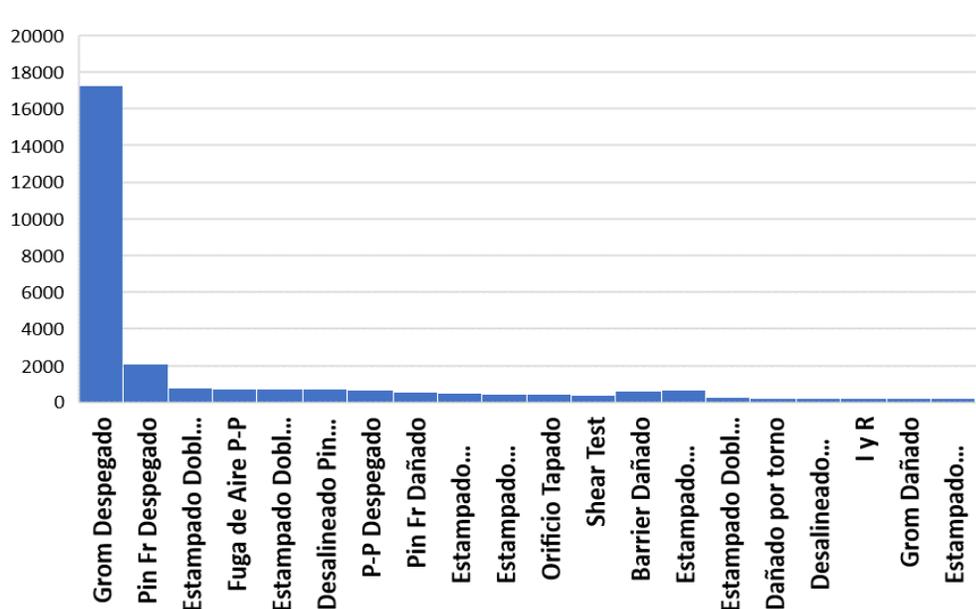
La recolección de datos se llevó a cabo directamente en el área de operación de Bonding, aplicando los instrumentos diseñados para reunir la información

correspondiente a la producción del periodo octubre - diciembre del 2018 de las familias de productos que representan la muestra: Circulares, CTJ y ABC.

### 3.6.1 Tabulación de los datos

La recolección de datos se inicia contabilizando los productos que fueron rechazados en la línea de inspección final del proceso, clasificándolos por el código de defecto que hace a la parte un producto no conforme. En este punto es posible apreciar una clasificación de defectos (Ver gráfica 3.1) y la cantidad de piezas rechazadas que se registraron en el primer trimestre del año fiscal.

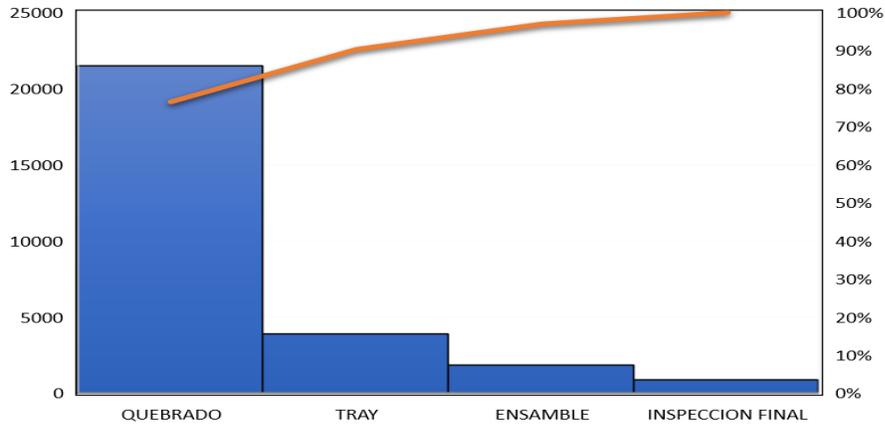
**Gráfica 3.1: Número de piezas rechazadas de los productos ABC, CIRCULARES, CTJ**



Fuente: Elaboración propia con datos de TE Connectivity planta Tecate

Otra información de relevancia en la investigación es identificar la etapa óptima para identificar el defecto reportado, es decir, la etapa del proceso en el que el impacto del rechazo sería menor en cuanto a costos del desperdicio (Ver gráfica 3.2). Es posible observar la agrupación de los productos defectuosos por etapa óptima para la detección.

**Gráfica 3.2: Productos rechazados en inspección final por etapa óptima para la detección**

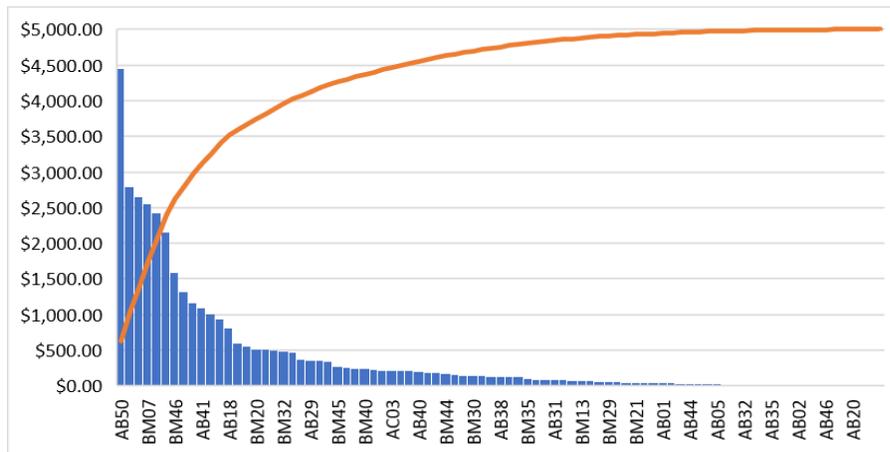


Fuente: Elaboración propia con datos de TE Connectivity planta Tecate

Por último, la información recolectada y que se muestra continuación es la relacionada con la variable de dependiente: el costo de la materia prima (ver gráfica 3.3). Algunos de los materiales rechazados son retrabajados y es posible recuperar parte de su valor, otros, sin embargo, no pueden ser rescatados y fueron dispuestos como scrap (desecho).

En la siguiente gráfica puede apreciarse por código de defecto, el costo que representan las piezas desechadas.

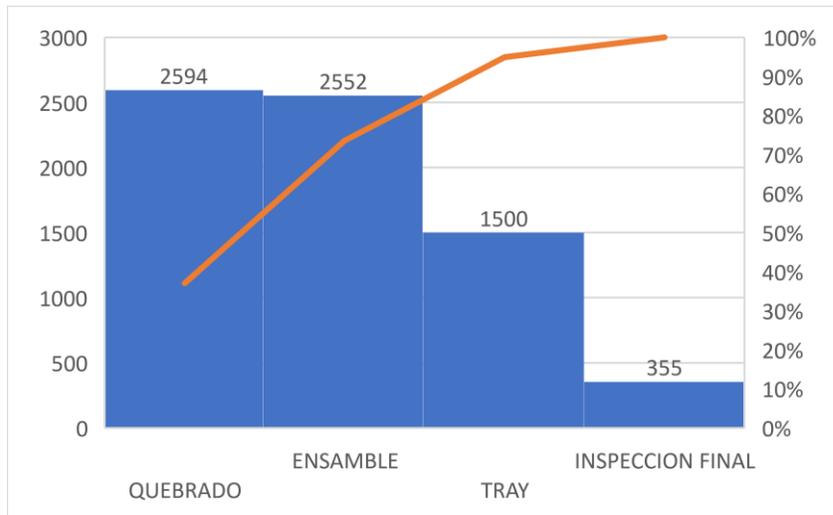
**Gráfica 3.3: Costo de la materia prima desechada por código de defecto**



Fuente: Elaboración propia con datos de TE Connectivity planta Tecate

Para continuar con el análisis de los datos recolectados, se tomará en cuenta solamente la información que considera las piezas que fueron desechadas; en la gráfica 3.4 se muestra la frecuencia con la que aparecieron el total de las partes rechazadas, clasificadas por etapa óptima para la detección, considerando cada pieza defectuosa como un evento individual.

**Gráfica 3.4: Cantidad de piezas desechadas por etapa de producción en que pudieron ser detectadas**



Fuente: Elaboración propia con datos de TE Connectivity planta Tecate

### 3.7 Estadística descriptiva de la muestra y/o estimación de parámetros

Con la finalidad de realizar una proyección de la reducción en el desperdicio que podría obtenerse, se ha calculado mediante la fórmula de media ponderada

$$\bar{x} = \frac{\sum(w \cdot x)}{\sum n}$$

fórmula donde:  $\bar{x}$  = Media ponderada,  $w$  = Peso asignado al valor,  $x$  = Valor para ponderar y  $n$  = Numero de datos obtenidos (Triola, 2004).

Con la fórmula mencionada anteriormente, y los siguientes datos que se mencionan a continuación se realiza el pronóstico en la reducción del costo desperdicio. En la etapa de quebrado los materiales son 20% más económicos que en la inspección final, en ensamble son 40% menos costosos y en la etapa inicial -tray- son 60% de menor precio, todos estos con respecto del costo asignado

para la etapa de inspección final. Se ha obtenido el costo del desperdicio por código defecto (Ver gráfica 3.3), y con apoyo del instrumento de asignación de etapa óptima de detección se pueden categorizar los costos por etapa en que pudieron ser detectados (Ver gráfica 3.5).

Para cada etapa de detección se realiza la operación con los datos correspondientes:

### Tray

$\bar{x} = \frac{\Sigma(w \cdot x)}{\Sigma n} = \frac{\Sigma(0.40 \cdot 8772.02)}{1500} = 2.33$ , se pronostica un promedio de 2.33 dólares estadounidenses de desperdicio por cada parte desechada que sea detectada en la etapa de “tray”.

### Ensamble

$\bar{x} = \frac{\Sigma(w \cdot x)}{\Sigma n} = \frac{\Sigma(0.60 \cdot 12338.29)}{2552} = 2.90$ , se pronostica un promedio de 2.90 dólares estadounidenses de desperdicio por cada parte desechada que sea detectada en la etapa de “ensamble”.

### Quebrado

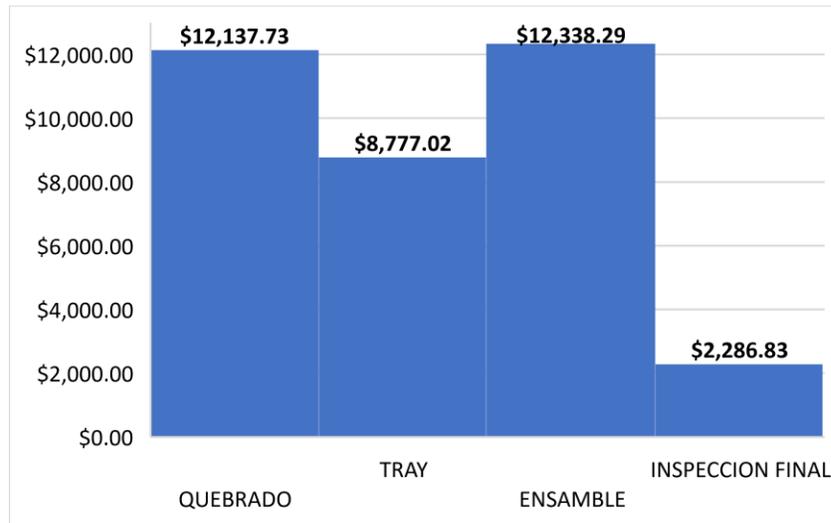
$\bar{x} = \frac{\Sigma(w \cdot x)}{\Sigma n} = \frac{\Sigma(0.80 \cdot 12137.73)}{2594} = 3.74$ , se pronostica un promedio de 3.74 dólares estadounidenses de desperdicio por cada parte desechada que sea detectada en la etapa de “quebrado”.

### Ensamble

$\bar{x} = \frac{\Sigma(w \cdot x)}{\Sigma n} = \frac{\Sigma(1 \cdot 2286.83)}{355} = 6.44$ , se pronostica un promedio de 6.44 dólares estadounidenses de desperdicio por cada parte desechada que sea detectada en la etapa de “inspección final”.

Si esta detección hubiese ocurrido en las etapas apropiadas el impacto económico del desecho fuese menor. A continuación, los costos del desperdicio por etapa óptima para la detección.

**Gráfica 3.5: Costo de desperdicio por etapa óptima para la detección**



Fuente: Elaboración propia con datos de TE Connectivity planta Tecate

De acuerdo con la información proporcionada en las gráficas 3.4 y 3.5 se puede pronosticar el costo del desperdicio (Ver tabla 3.1), si los materiales se hubiesen detectado en la etapa óptima para la detección.

**Tabla 3.2: Costo pronosticado por etapa óptima de detección**

ETAPA ÓPTIMA PARA LA DETECCIÓN	COSTO ACTIUAL REPORTADO	% DE REDUCCIÓN CALCULADO	COSTO PRONOSTICADO
<b>INSPECCIÓN FINAL</b>	\$ 2,286.83	0%	\$ 2,286.83
<b>QUEBRADO</b>	\$12,137.73	20%	\$9,710.19
<b>ENSAMBLE</b>	\$12,338.29	40%	\$7,402.98
<b>TRAY</b>	\$8,777.02	60%	\$ 3,510.80
<b>TOTALES</b>	<b>\$35,539.87</b>	-	<b>\$22,910.80</b>

Fuente: Elaboración propia con datos de TE Connectivity planta Tecate

Al finalizar este análisis es posible concluir que un 35.54% del costo del material puede evitarse si los defectos son detectados en una etapa oportuna del proceso; estos cálculos se realizaron considerando un costo promedio por etapa de operación y el comparativo con el costo actual reportado en la etapa de inspección final.

# **CAPÍTULO IV**

## **Resultados**

Este capítulo contiene el análisis de los datos recolectados y detallados en el capítulo anterior; con base en los resultados obtenidos se establecerán acciones que permitan lograr el objetivo de esta investigación.

#### 4.1 Análisis de resultados

En este punto se detallará el análisis de los datos obtenidos por medio de los instrumentos de recolección, y como estos se relacionan con las variables dependiente e independiente de esta investigación (Ver tabla 4.1).

Esta información muestra el estado actual del área en cuanto a la cantidad de piezas que se desechan (desperdicio) y el costo que estas representan. Es necesario recalcar que esta cantidad se desechó en la etapa “Inspección final”, esto significa que el cálculo del costo por pieza es a nivel de producto final, es decir, el más costoso en esta etapa de la producción.

**Tabla 4.1: Resultados de los datos vinculados a la variable independiente**

Tipo de variable	Definición de la variable	Métrico	Resultados
INDEPENDIENTE	Desperdicio de materia prima	Partes desechadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En el periodo se rechazaron 28,097 piezas</li> <li>• El 61.40% presentan el defecto AB19-Grom despegado, con un total de 17252 partes</li> <li>• Del total de piezas rechazadas 7,001 se dispusieron como “scrap”, es decir, el 24.91% de las partes rechazadas</li> <li>• Del total de partes desechadas, 1500 partes pudieron detectarse en la etapa “tray”</li> <li>• Del total de partes desechadas, 2552 pudieron detectarse en la etapa “ensamble”</li> <li>• Del total de partes desechadas, 2594 partes pudieron detectarse en la etapa “quebrado”</li> <li>• Solo 355 no podían detectarse antes de la “inspección final”</li> </ul>
DEPENDIENTE	Costo del desperdicio	Dólares estadounidenses	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En el periodo el costo del desperdicio observado es de \$35,539.87</li> <li>• Del costo total de las partes desechadas, \$8,777.02 pudieron detectarse durante la etapa de “tray”</li> <li>• Del costo total de las partes desechadas, \$12,338.29 pudieron detectarse durante la etapa de “ensamble”</li> <li>• Del costo total de las partes desechadas, \$12,137.73 pudieron detectarse durante la etapa de “quebrado”</li> <li>• Del costo total de las partes desechadas solo \$2,288.83 no podían detectarse antes de la “inspección final”</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia con datos de TE Connectivity planta Tecate

## 4.2 Análisis e interpretación de los resultados

La información que ofrece el 4.1 de este capítulo, permite la interpretación de los resultados obtenidos durante el periodo de recolección de datos.

Los resultados vinculados a la variable independiente (cantidad de piezas desechadas) demuestran que el principal defecto responsable de los rechazos internos es el AB19- *Grom* despegado, y de estos materiales el 25% son desechados, toda vez que se ha determinado que no es posible reprocesar o retrabajar. Este desperdicio es considerado como “aceptable” en cuanto a cantidad de piezas se refiere, sin embargo, esto cambia cuando se calcula el impacto económico que estas partes representan.

La principal área de oportunidad se encuentra en el costo que representa el desperdicio (variable dependiente), el cual se incrementa a medida que el proceso de producción avanza, encareciendo las partes que serán desechadas (esto por los materiales y el gasto en labor que son agregados en cada etapa). La tabla 4.1 indica que de un total de \$35,539.87 dólares que fueron desechados, \$33,253.04 pudieron ser evitados parcialmente con una detección oportuna, cuando menos en un 35.54% (Ver capítulo III, apartado 3.7, tabla 3.1: Costo pronosticado por etapa óptima de detección).

## 4.3 Propuesta

En esta sección y con base en el análisis e interpretación de los datos obtenidos en la etapa de recolección, es que puede hacerse una propuesta que permita abordar las áreas de oportunidad detectadas.

La propuesta consiste en implementar un sistema de control estadístico de proceso (variable moderadora) que incluya el monitoreo de variables clave en las etapas de producción que son consideradas como las óptimas para la detección oportuna de los defectos; los gráficos de control permitirán no solo detectar el defecto cuando ya se encuentra presente, si no identificar cuando una variable se

encuentra cerca o fuera de los límites de control, antes de que la variación afecte el proceso y/o el problema continúe reproduciéndose.

El plan de para la implementación y evaluación consta **de 7 etapas**; se describen a continuación, en un orden cronológico.

**Etapa I: Recolección de información de los defectos que producen el scrap**

Durante la etapa de recolección de datos (ver capítulo III, apartado 3.6) y a través de los instrumentos diseñados fue posible obtener la información necesaria para determinar los defectos que ocasionan el desperdicio de materiales “scrap”.

**Etapa II: Clasificación en grupos por tipo y etapa de detección**

En esta etapa se han agrupado los materiales rechazados por tipo - asignando un código para identificarlos- y se ha determinado la etapa óptima de detección para cada uno de los defectos; se ha considerado como etapa óptima la parte del proceso en que el defecto se volvió tangible y por esto puede detectarse objetivamente y cuantificarse (Ver tabla 4.2). Esta actividad es la base para crear los planes de inspección.

**Tabla 4.2: Defectos agrupados en código y etapa óptima de detección asignada (ejemplo)**

CODIGO	DESCRIPCION	ETAPA OPTIMA PARA LA DETECCION	CANTIDAD
AB19	Grom Despegado	QUEBRADO	17252
AB31	Pin Fr Despegado	QUEBRADO	2113
AB43	Estampado Doble P-P	TRAY	780
BM40	Fuga de Aire P-P	QUEBRADO	758
AB20	Estampado Doble GROM	TRAY	747
AB30	Desalineado Pin Fr	QUEBRADO	715

Fuente: Elaboración propia con datos de TE Connectivity planta Tecate

**Etapa III: Desarrollo de planes de inspección**

Para este proyecto, un plan de inspección puede definirse como el documento que contiene el método estructurado para ejecutar la inspección de las muestras, este método incluye: las características críticas a evaluar, la frecuencia y tamaño de la muestra a evaluar (Ver imagen 4.1), y la etapa del proceso en que ha

de llevarse a cabo la evaluación y el registro de los datos resultantes. Desarrollarlo conlleva pasos a seguir que son importantes cuando se trata de asegurar que la información sea útil y relevante en la toma de decisiones.

**Imagen 4.1: Vista de un plan de inspección**

PART #	PN REVISION	PART DESCRIPTION	WORKCENTER	START DATE										
3111-139-2201U	B	INS KIT												
QIP #	QIP REVISION	FACTORY ORDER #	TOOL #	END DATE	INSPECTED BY (ID #)									
P-3111-139-XX01U	A													
TECHNICAL NOTES		SPECIAL NOTES												
U1 Measurement of Flatness 1 U2 Measurement of Flatness 2 U3 Measurement of Major Diameter														
		DATE:												
		TIME:												
		LOT:												
FEATURE ID	FEATURE NAME	DETAILS	PICTURE	RECORD RESULTS FOR DIMENSIONAL CHECKS										
VISUAL (PASS/FAIL)														
VARIABLE (MEASUREMENT)														
A11	U1-1	Flatness 1	Measurement of Flatness 1 Target: 0(-0.002/+0.002) in CTF:Y											
A11	U1-2	Flatness 2	Measurement of Flatness 2 Target: 0(-0.002/+0.002) in CTF:Y											
A11	U2	Major Diameter	Measurement of Mayor Side Target: 0.513(-0.003/+0.003) in CTF:Y											

Fuente: Formato DQIP de TE Connectivity planta Tecate

**Paso 1:** Para elaborar un plan de inspección es necesario determinar las características que son críticas para lograr un producto conforme a los requisitos establecidos. Para definir las se ha considerado, primero las que fueron establecidas durante el diseño de la parte y están plasmadas en el dibujo, aquellas que son o pueden ser modificadas durante el proceso de ensamble y que impactan significativamente en las operaciones consecuentes de la manufactura del producto.

Las características, según su naturaleza, pueden ser variables o atributos. Cuando la característica observada es cuantificable se genera una variable y cuando es cualitativa se genera un atributo (Alea, 2001).

**Paso 2:** Se precisa la cantidad de muestras que serán consideradas en cada evento de inspección y la frecuencia en que estos eventos ocurrirán durante el turno de producción.

**Paso 3:** Identificar la etapa del proceso en el que las muestras serán recolectadas para su evaluación.

**Paso 4:** Documentar los planes de inspección por familia y número de parte.

#### **Etapa IV: Selección y adquisición del software y equipo que será usado para el SPC**

Mitutoyo es una marca líder en el mundo en la fabricación y venta de instrumentos y equipos de medición; ofrece además servicio de entrenamiento, calibración y técnico. En los últimos años incursionando no solamente en tecnología de transmisión de datos si no que en el diseño de softwares para la administración de datos inteligentes; de manera que los datos estén disponibles para su visualización y análisis para la toma de decisiones.

Para ejecutar las mediciones de los planes de inspección que se han desarrollado previamente, se han seleccionado dos de los productos ofertados por Mitutoyo, U-WAVE Fit y MeasureLink.

**U-WAVE Fit:** Sistema de comunicación inalámbrica para instrumentos de medición.

Este sistema elimina el cableado, mejorando la operabilidad en la medición al eliminar errores de escritura y captura de datos, además de reducir costos y mejorar la eficiencia de trabajo (Mitutoyo, Mexico, 2005).

Estos dispositivos pueden ser ligados a cualquier equipo o instrumento de medición y transmitir los datos digitales a otro dispositivo para su procesamiento y visualización; la transmisión puede ocurrir en un rango de hasta 20 metros de distancia aproximadamente.

**MeasureLink:** Conjunto modular de software que combina la adquisición de datos en tiempo real, análisis SPC en línea, redes integradas y la calidad para compartir en una solución integral.

El sistema de la red de datos de medición "MeasurLink" recopila datos de varios tipos de equipos de medición y brinda visualizaciones en tiempo real de los

resultados del procesamiento estadístico (cuadros de control, histogramas, índices de capacidad de proceso, etc.).

El proveedor hace énfasis en la recopilación de datos en tiempo real de todos los dispositivos de medición conectados a la red y pronostica la ocurrencia de defectos utilizando un control estadístico de proceso. El resultado es SPC. (Mitutoyo, Mexico, 2005).

Las diversas pantallas de recolección de datos que ofrece el software muestran a los usuarios -según sus funciones asignadas- resultados de análisis estadísticos, listas de datos, pantallas de imágenes y los planes de inspección; las pantallas son cambiadas según el objetivo del usuario.

El software además permite administrar los documentos de tal manera que estos pueden ser modificados para que sean simples de interpretar y con diseños de pantalla flexibles.

### **Costos de adquisición**

Para la implementación del proyecto en el área de Bonding y limitado a las 3 familias seleccionadas, se han invertido \$4,890 dólares estadounidenses. Esta inversión incluye:

- Licencia para el uso del software, soporte y entrenamiento en línea para el uso y operación.
- Instrumentos de medición tales como: micrómetro digital, calibrador digital, medidor de alturas.
- Dispositivos U-WAVE fit para cada instrumento de medición

### **Etapa V: Entrenamiento del personal involucrado e implementación**

El entrenamiento se llevó a cabo en fases semanales (Ver tabla 4.3), durante las cuales se recibió entrenamiento del proveedor y se hizo el despliegue a los usuarios según la función que ejecutarán en la implementación.

**Tabla 4.3: Programa de entrenamiento e implementación**

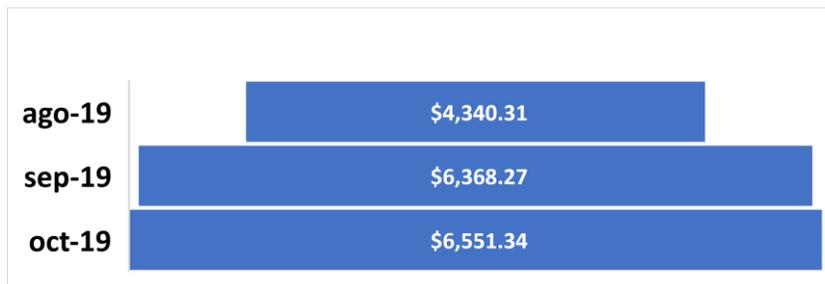
Usuario / responsable	Actividad	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
Programador	Entrenamiento: programación integral del software en cuanto a instalación, visualización y respaldo de datos								
Ingeniero / interno	Entrenamiento: integración de los planes de inspección al software								
Inspector	Entrenamiento: Planes de inspección e integración de datos								
Programador	Instalación del software en los equipos 5 equipos de cómputo disponibles para SPC								
Ingeniero / interno	Integración de los planes de inspección al software								
Ingeniero / inspector	Corridas de prueba								

Fuente: Elaboración propia

**Etapa VI: Recolección de resultados mensuales de scrap**

Durante los meses agosto, septiembre y octubre del año fiscal 2019 se realizó el seguimiento detallado de los resultados de scrap reportado por producción usando el instrumento 3.5 reporte diario de scrap (Capítulo III, apartado 3.5); los datos se recolectaron diariamente y se muestra un sumario mensual (ver gráfica 4.1) del costo que representa las partes defectuosas desechadas.

**Gráfica 4.1: Resultados mensuales de scrap del último trimestre del año fiscal 2019**

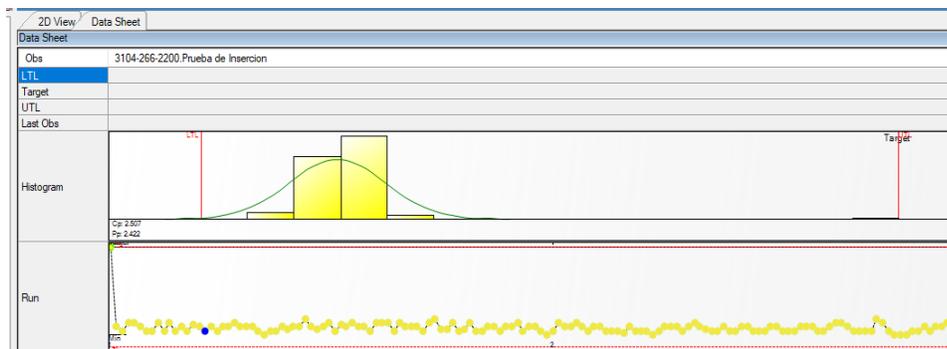


Fuente: Elaboración propia con datos de TE Connectivity planta Tecate

## Etapa VII: Análisis de datos de la implementación de SPC y presentación de resultados

Durante la etapa de diseño de planes de inspección se identificaron las variables críticas en el producto y estas fueron seleccionadas para monitorear su desempeño en las etapas óptimas del proceso. Con el ingreso de los datos al ejecutar los planes de inspección es posible visualizar cuando una variable se encuentra fuera de especificación o tiene tendencia a los límites inferior o superior (Ver imagen 4.2). La disponibilidad de estos datos en tiempo real permitió al equipo de aseguramiento de la calidad detener las operaciones cuando la materia prima presenta un defecto o el proceso está generando partes fuera de especificación o fuera de los límites de control.

**Imagen 4.2: Ejemplo de gráfico X-Bar**

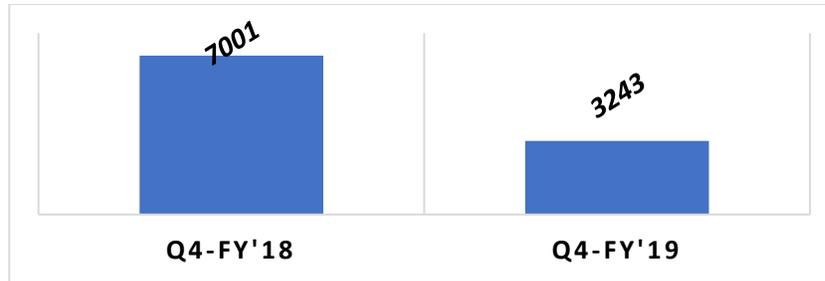


Fuente: Registros de Mesaurelink- TE Connectivity Planta Tecate

La identificación oportuna de estos eventos en el proceso logró disminuir notablemente la cantidad de partes defectuosas producidas, y en los casos que no pudo evitarse el desperdicio, el costo fue menor al representado cuando las partes son detectadas en la etapa de inspección final.

Durante el último trimestre del año fiscal 2019 - que comprende los meses de agosto a octubre del 2019- se desecharon 3243 piezas, 43.62% menos que en el último trimestre del año fiscal 2018 (Ver gráfica 4.2). El costo total de la materia prima desechada para este periodo fue de \$17, 259.92 dólares estadounidenses, que representa un ahorro del 48.56%.

**Gráfica 4.2: Total de partes desechadas en el último trimestre del año fiscal 2018 y 2019**

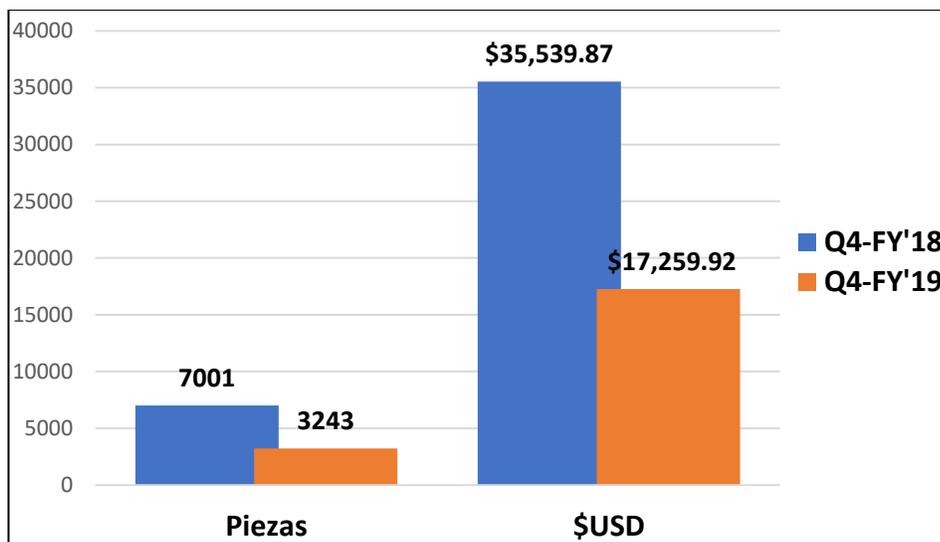


Fuente: Elaboración propia con datos de TE Connectivity planta Tecate

### 4.3.1 Resultados de la implementación

La implementación de un sistema de control estadístico de proceso para el área de Bonding se completó satisfactoriamente en el periodo previsto. Los resultados esperados después de la implementación pudieron observarse y es así como se logró el objetivo definido para esta investigación (Ver gráfica 4.3). Se consideraron dos indicadores para la conclusión, la cantidad de piezas rechazadas y el impacto económico de esta pérdida, obteniendo una reducción de 43.62% y 48.56% respectivamente.

**Gráfica 4.3: Resultados en cantidad y costo del desperdicio**



Fuente: Elaboración propia con datos de TE Connectivity planta Tecate

### 4.3.1 Cumplimiento del Objetivo General

El objetivo general se estableció de la siguiente manera “*Implementar un control estadístico de proceso en el área ensamble de conectores “Bonding” en TE Connectivity planta Tecate con el propósito de reducir un 40% el costo del desperdicio “scrap” en el último trimestre del año fiscal 2019*”.

El resultado excedió las expectativas iniciales, logrando reducir un 48.56% el costo del desperdicio de materia prima en el proceso de Bonding, por lo cual se cumplió a cabalidad.

### 4.3.2 Respuesta a la pregunta de investigación

Las preguntas que motivaron esta investigación y fueron descritas en el capítulo I, se responden a continuación:

**¿Cuáles defectos pudieron detectarse en las etapas iniciales del proceso?**

Respuesta: El análisis de los datos recolectados mostraron que el 37.05% de los materiales defectuosos pudieron detectarse en la etapa inicial del proceso y el 57.87% de ellos en etapas intermedias; es decir que solamente el 5.07% de materiales defectuosos no tenían oportunidad de ser detectados previamente.

**¿Cuál es la diferencia en el costo de la materia prima en las diferentes etapas del proceso?**

Respuesta: En la etapa de quebrado los materiales son 20% más económicos que en la inspección final, en ensamble son 40% menos costosos y en la etapa inicial -tray- son 60% más baratos, todos estos con respecto del costo asignado para la etapa de inspección final

**¿Qué etapas del proceso son óptimas para identificar los defectos en la materia prima?**

Respuesta: Se identificaron cuatro etapas óptimas para la detección del defecto; estas etapas fueron definidas usando el propio proceso como referencia y

dividiéndolo en operaciones principales, estas son: Tray, ensamble, quebrado e inspección final.

Se debe entender por “etapa óptima de detección” para inspección por atributos, el momento inmediato posterior al que el defecto fue fabricado, y para inspección de variables el momento en que los resultados muestren un proceso inestable o con tendencias a los límites de control.

### 4.3.3 Aceptación de la Hipótesis

La hipótesis planteada para esta investigación se formuló de la siguiente manera: *Con la implementación de un sistema de control estadístico de proceso se reducirá el costo del desperdicio de materia prima.* Es aceptada debido a que se redujo en un 48.56% el costo del desperdicio durante el último trimestre del año fiscal 2019 con respecto al mismo periodo para el año fiscal 2018.

## 4.4 Hallazgos

Aun cuando el desarrollo de la investigación y la implementación de la propuesta transcurrieron sin contratiempos y los resultados se consolidaron como se planeó, se han podido identificar oportunidades importantes para abordar en investigaciones y proyectos posteriores. Se encontró qué:

- El 80% de los defectos que se detectan en la operación son responsabilidad del proveedor interno de partes moldeadas.
- La mayor movilidad del equipo de aseguramiento de la calidad sucedió por eventos relacionados con inspección de atributos y no por variables
- Se registraron 72 eventos en los que los defectos no fueron detectados oportunamente; la frecuencia de las inspecciones no es adecuada para la línea circulares

# **CAPÍTULO V**

## **Conclusiones y Recomendaciones**

En este capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones de esta investigación, los elementos medulares que resultaron de relevancia en el proceso de implementación en el área objeto de estudio, las observaciones y hallazgos que se presentaron y que pueden sentar bases para el desarrollo de otras investigaciones relacionadas con el control estadístico aplicado a los procesos de manufactura.

## 5.1 Conclusiones

En un sistema económico globalizado como el que se vive en la actualidad, las empresas multinacionales persiguen la mejora continua para optimizar los recursos y mantenerse en constante movimiento para hacer frente a un mercado cada vez más competitivo, en el cual, los clientes no buscan solamente productos de calidad, también a los mejores precios; es por ello, que la implementación de controles en los procesos productivos se vuelven imperantes. Más aun cuando estos controles encuentran su base en metodologías comprobadas que requieren de inversiones mínimas y que ofrecen resultados tangibles y a corto plazo, así como el retorno de inversión, siendo la única opción para los procesos de manufactura en el ambiente de la industria aeroespacial.

Es por ello que esta investigación concluye, que identificar las etapas óptimas para la detección de defectos para monitorear el comportamiento de las características críticas del producto a través del control estadístico de proceso resultó en una mejoría de la productividad del área. Sin embargo, como ya se mencionó antes, en este punto el porcentaje más representativo de defectos están siendo solamente detectados y no eliminados desde su causa.

Así mismo, el análisis comparativo después de la implementación de la propuesta de esta investigación demostró un ahorro \$18,279.95 dólares estadounidenses en el desperdicio de materia prima (capítulo IV, apartado 4.3.1, gráfica 4.3: Resultados en cantidad y costo del desperdicio) que representa una disminución del 48.56% con respecto del mismo periodo en el año anterior, esto solamente en el primer trimestre posterior a la implementación de un Control Estadístico de Proceso, comparado con la inversión de \$4,890.00 dólares reflejó un retorno de inversión menor a un mes, considerando exitoso el resultado del proyecto.

## 5.2 Propuesta

En la etapa de recolección de datos de esta investigación se encontró que el 80% de los defectos reportados en esta operación son generados y son responsabilidad del proceso productivo de moldeo que es predecesor de Bonding.

Por lo anterior se propone implementar control estadístico de proceso y se monitoreen las características críticas desde esa etapa y de esta manera abordar la problemática y aplicar la solución desde un enfoque de prevención. Las acciones correctivas implementadas para corregir los defectos ocasionados en este punto impactarían significativamente en el ahorro de desperdicio a nivel planta, evitaría los retrasos en las operaciones subsecuentes mejorando el nivel de entregas a tiempo y reduciría las probabilidades de escapes de productos defectuosos al cliente.

Observados estos resultados, se recomienda ampliamente replicar este sistema de control estadístico de proceso y continuar con la implementación en todas las áreas de operación en un periodo no mayor a 2 años, ya que se requiere además un periodo de adaptación por parte de los usuarios; siendo más eficiente si se realiza simultáneamente o cuando menos en periodos cortos entre la implementación en un área y la siguiente.

### **5.3 Recomendaciones**

#### **5.3.1 Recomendaciones para la empresa sujeto de investigación**

Aun cuando el programa MeasureLink está funcionando y cumple con lo mínimo requerido, este ha presentado fallas técnicas y no ha resultado amigable para los usuarios como fue previsto. No ha resultado en inconvenientes de operación ya que se trata de solamente ocho licencias en funcionamiento, pero si las licencias y los usuarios continúan aumentando significativamente, se encontrarían con la limitante de capacidad, ya que solo se podría ser implementado para cuatro áreas más. Por lo que se recomienda revisar otras soluciones de software más robustas considerando las áreas de oportunidad que se han observado con MeasureLink.

#### **5.3.2 Recomendaciones para investigaciones futuras**

Durante la implementación de la propuesta se encontró que la mayor parte de hallazgos de producto no conforme se debió a características cualitativas (atributos) y para este tipo de producto y proceso se monitorearon más variables

que atributos; las variables representan un mayor grado de dificultad de verificación y requieren de más tiempo para el análisis.

Se recomienda que en futuras investigaciones se considere en la etapa de recolección la diferenciación por tipo de característica, de esta manera se podrán priorizar y/o descartar características, que, según el caso, que no tengan aportación relevante en el cumplimiento del objetivo de la investigación y que retrasarían la salida.

Finalmente, se recomienda también elaborar instrumentos de recolección de datos que permitan determinar una frecuencia asertiva y óptima para los planes de inspección, en el caso que las frecuencias no sean suficientes esto incrementa las posibilidades de escapes de una etapa a la siguiente, por otro lado, si las frecuencias son excesivas estarían provocando retrasos inesperados e innecesarios a la salida del producto.

## Bibliografía

- Alea, V. (2001). *Estadística descriptiva. Aplicaciones prácticas*. Barcelona: Edicions Universitat.
- Andrade, Y. (2013). *Implementacion de Control Estadístico de Procesos para el control de la calidad y la mejora continua en una industria minera (tesis de grado)*. Toluca, Edo. de Mexico: Universidad Autonoma del Estado de Mexico.
- Arredondo, M. M. (2015). *Contabilidad y Analisis de Costos*. Mexico: Grupo Editorial Patria.
- Besterfield, D. H. (2009). *Control de calidad*. Mexico: Pearson Educacion.
- Bull, G., & Williams, T. (2014). *The computer - a tool for statistical process control. Programming of statistical quality control applications*. Cincinnati, OH: Elsevier.
- Cárdenas, R. (2016). *Costos 1*. Mexico: IMCP.
- Cuatrecasas, L. (2010). *Lean Management: La gestión competitiva por excelencia (1ª ed.)*. España: Profit.
- Escudero, M. (2013). *Gestión logística y comercial*. México: Ediciones Paraninfo.
- Ezquerro, M. A. (1998). *Diccionario ideológico de la lengua española (1ª ed.)*. España: VOX.
- Federacion Mexicana de la Industria Aeroespacial (FEMIA), A.C. (2018, Septiembre 12). *Conociendo la industria aeroespacial*. Retrieved from FEMIA: [https://docs.google.com/viewer?url=http://femia.com.mx/themes/femia/ppt/Conociendo\\_la\\_Industria\\_Aeroespacial.pdf](https://docs.google.com/viewer?url=http://femia.com.mx/themes/femia/ppt/Conociendo_la_Industria_Aeroespacial.pdf)
- Geografía, I. N. (2018, Marzo 23). *ProMexico*. Retrieved from Gobierno de Mexico: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/315125/conociendo\\_la\\_industria\\_aeroespacial\\_23mar2018.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/315125/conociendo_la_industria_aeroespacial_23mar2018.pdf)
- Global Market Forecast*. (2018, Septiembre 12). Retrieved from Airbus S.A.S.: <https://www.airbus.com/aircraft/market/global-market-forecast.html>
- Henry, G., & Heinke, G. (1999). *Ingeniería ambiental*. Mexico: Prentice Hall.
- Govindarajan, R. L. (2010). El control estadístico de proceso puede ayudar a prevenir los errores de tratamiento sin aumentar los costes en radioterapia. *Revista de Calidad Asistencial*, 25.
- Haridy, S. W. (2011). Univariate and multivariate approaches for evaluating the capability of dynamic-behavior processes (case study). *Statistical Methodology*, 8.
- Hernández, Z. T. (2014). *Teoría General de la Administración, 2a. Ed.* Mexico: Grupo Editorial Patria.
- Ibarra-Balderas, V. &.-M. (2017). Manufactura Esbelta. *Conciencia Tecnológica*, 53.
- Jimenez, F., & Espinoza, C. (2007). *Costos Industriales*. Costa Rica: Editorial Tecnologica de Costa Rica.
- Joekesa, S. &. (2013). An improved attribute control chart for monitoring nonconforming proportion in high quality processes. *Control Engineering Practice*, 21.
- Kumiega, A., & Van Vliet, B. (2011). *Quality Money Management: Process Engineering and Best Practices for Systematic Trading and Investment*. New York: Academic Press.
- Limones, J. (2012). *Método para el control de la producción defectuosa dentro del proceso de conformado de metales. Caso ZF Sachs Automotive México (Tesis de maestría)*. Saltillo: Corporacion Mexicana de Investigacion en Materiales.
- Marsh, C. E. (1991). Application Of SPC Techniques to Batch Units. *STATISTICAL PROCESS CONTROL*, InTech.

- Mitutoyo, Mexico. (2005). *Nuestros Productos: Mitutoyo*. Retrieved from Mitutoyo: <http://www.mitutoyo.com.mx>
- Montgomery, D. C. (1991). *Cómo funciona el diagrama de control. Control estadístico de la calidad*. México: Grupo Editorial Iberoamérica S.A. de C.V.
- Montgomery, D. C. (2004). *Control estadístico de la calidad*. Mexico: Limusa.
- Orlandoni Merli, G. (2012). Gestión de la Calidad: Control Estadístico y Seis Sigma. *Telos*, 14 . *Telos Vol. 14*, 269-274.
- Riggs, J. L. (1999). *Sistemas de producción, planeación, análisis y control*. Mexico,D.F: Editorial Limusa.
- Ruiz, A. (2006). *Control estadístico de proceso*. Madrid, España: Universidad Pontificia Comillas.
- Sipper, D. y. (1998). *Planeación y control de la producción (1ª ed.)*. México: MC Graw Hill.
- Smith, I. R. (2013). Use of Graphical Statistical Process Control Tools to Monitor and Improve Outcomes in Cardiac Surgery. *Heart, Lung and Circulation*, 92-99.
- Soto, R. (2018). *Implementación del Control Estadístico de la Calidad, para mejorar el proceso de producción de vidrios templados en la empresa Furukawa*. Lima: Universidad Ricardo Palma Escuela de Posgrado.
- Stuart, M. M. (1996). Statistical quality control and improvement. . *European Journal of Operational Research*, 88.
- Triola, M. (2004) *Estadística*, Mexico, D.F. Pearson Educación.
- Villeta, M. R. (2012). Integrating the continuous improvement of measurement systems into the statistical quality control of manufacturing processes: A novel link. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 61.