

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**



**Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño**  
Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería



**Lean Six Sigma en la Industria Aeroespacial de Baja  
California: Contexto, Prácticas y Desempeño**

Tesis que para cubrir los requisitos necesarios para obtener el grado de:

Maestra en Ingeniería

Presenta:

**Ana Karen Peraza Muñoz**

Director:

**Dr. Diego Alfredo Tlapa Mendoza**

Ensenada Baja California, México; Junio del 2018.

# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño  
Maestría y Doctorado en Ingeniería y ciencias

## “Lean Six Sigma en la Industria Aeroespacial de Baja California: Contexto, Prácticas y Desempeño”

### Tesis

Que para obtener el grado de Maestría en Ingeniería presenta:

**Ana Karen Peraza Muñoz**

Aprobada por:



---

Dr. Diego Alfredo Tlapa Mendoza  
Director del comité



---

Dra. Yolanda Angélica Báez López  
Miembro del comité



---

Dr. Jorge Limón Romero  
Miembro del comité



---

M.I. Julián Israel Aguilar Duque  
Miembro del comité



---

Dr. Alejandro Alvarado Iniesta  
Miembro del comité

Resumen de la tesis que presenta Ana Karen Peraza Muñoz como requisito para la obtención del grado de Maestro en Ingeniería con orientación en **Ingeniería Industrial**

## **Lean Six Sigma en la Industria Aeroespacial de Baja California: contexto, prácticas y desempeño.**

Resumen elaborado por:



---

**Ana Karen Peraza Muñoz**

El siguiente proyecto tiene como objetivo estudiar la implementación de Lean Six Sigma (LSS) en la Industria Aeroespacial (IA) de Baja California (BC). El análisis se realiza en 12 empresas aeroespaciales que corresponde al 23% de la muestra representativa. A través del análisis bibliográfico se determinaron cuáles son los factores críticos de éxito (FCE) más comunes presentes en la implementación de LSS en la IA. Se diseñó y validó un instrumento de recolección de datos que permite describir la implementación de LSS en la IA de BC; el contenido se aprobó por un grupo de expertos y la confiabilidad se validó estadísticamente a través del coeficiente Alfa de Cronbach. Se obtuvieron las herramientas de LSS que funcionan mejor para las empresas aeroespaciales de Baja California, los resultados positivos que han obtenido tras implementar LSS y su postura ante la mejora continua por medio de Lean Six Sigma.

Se realizó un caso de estudio en una empresa aeroespacial que se dedica al maquinado de metales para ensamblaje en aviones comerciales; se realiza un Análisis al Sistema de Medición (MSA) por medio de un Análisis de Acuerdo por Atributos (AAA) al departamento de Pruebas no destructivas de la empresa (NDT, Non-Destructive Test).

Palabras clave: **Industria Aeroespacial, Lean Six Sigma, Factores Críticos de Éxito, Caso de Estudio, Análisis al Sistema de Medición, Instrumento de Recolección de Datos, Alfa de Cronbach, Baja California, México.**

Summary of the thesis presented by Ana Karen Peraza Muñoz as a requirement to obtain a Master's degree in Engineering with a concentration in **Industrial Engineering**

## **Lean Six Sigma in the Aerospace Industry of Baja California: context, practices, and performance.**

Summary by:



---

**Ana Karen Peraza Muñoz**

The following project aims to study the implementation of Lean Six Sigma (LSS) in the Aerospace Industry (IA) of Baja California (BC). The analysis was performed using a sample of 12 aerospace companies, corresponding to 23% of the representative sample. Based on a bibliographic study it was possible to determine the most common critical success factors (FCE) during the implementation of LSS in the IA. A data collection instrument was designed and validated in order to describe the implementation process of LSS in the IA at BC; the content was endorsed by a group of experts and the reliability was statistically validated by Cronbach's alpha coefficient. The project shows the LSS tools that yield the best performance for the state aerospace companies. It exhibits the positive results obtained after implementing LSS. Finally, it presents a study of the companies' willingness to implement continuous-improvement programs using LLS.

Furthermore, a case study was completed in collaboration with an aerospace manufacturer which specializes in the machining of metals for assembly in commercial aircraft. A Measurement System Analysis (MSA) is performed by means of an Attribute Agreement Analysis (AAA) to the company's Nondestructive Testing (NDT) department.

**Keywords: Aerospace Industry, Lean Six Sigma, Critical Success Factors, Case of Study, Analysis of the Measurement System, Data Collection Instrument, Cronbach's alpha coefficient, Baja California, Mexico.**

## Dedicatoria

Dedico esta tesis y todo el esfuerzo realizado durante su elaboración...

A mi hermana Elizabeth, quien puso los cimientos de la formación académica en nuestra familia. Desde niña, tu ejemplo me ha enseñado que el conocimiento y preparación me llevará tan lejos como yo quiera. Gracias por ser mi pepe grillo y ayudarme a ser mejor persona; por hacerme ver que con determinación y perseverancia se alcanza el éxito. Tus consejos, opiniones, regaños y amor durante estos dos años hicieron que fuera más fácil alcanzar esta meta.

*Wwwiiiiiiwwwwwwwwww*

A mi madre, que con su amor y oraciones me hace sentir que puedo alcanzarlo todo. Usted es una gran mujer y me ha dado la mejor lección de vida al enseñarme que es posible romper los moldes y los prejuicios para ser las arquitectas de nuestro propio destino. Gracias por hacer de mi una mujer fuerte, por ser mi amiga y mi confidente estos dos años; por desvelarse conmigo a la distancia y ponerme en manos de Dios en cada examen, cada tarea, cada presentación, en cada visita a las empresas y en esta tesis.

Este logo es suyo!!!

A Manuel mi esposo, que me enseñó lo bonita y emocionante que es la investigación. Recuerdo que hace ocho años me alentaste a estudiar y prometiste que me ayudarías a hacerlo. Gracias por animarme a estudiar, por acompañarme en mi graduación de la preparatoria, de la licenciatura y de la maestría; y gracias por cumplir tu promesa. Tu amor, compañía y comprensión me ayudaron a llegar hasta aquí. Gracias por cuidarme todo este tiempo, por tu paciencia, tus consejos y por suplir todos los recursos que han hecho más ligero este viaje.

*Gracias por preguntar por los audífonos inalámbricos, Te Amo!*



## Agradecimientos

Agradezco a mi querido director de tesis el Dr. Diego Tlapa por todo el apoyo brindado durante estos 2 años, su gran sabiduría, experiencia y conocimiento han sido para mí una inmejorable guía en este camino.

Valoro y reconozco el enorme apoyo brindado por mis sinodales y expreso mi gratitud por las críticas constructivas que contribuyeron en gran medida a mejorar mi trabajo.

A mis maestros, les agradezco todas sus enseñanzas, y les admiro su gran calidad humana, siempre amigos y a la vez siempre tan profesionales, esforzándose por dar siempre clases de gran calidad.

A mis amigos, quienes sin duda hicieron que mi paso por UABC fuera una experiencia de vida inolvidable, les digo gracias por todos los buenos momentos compartidos.

A la Universidad Autónoma de Baja California agradezco la oportunidad que me brindó de forjar en sus aulas una parte muy valiosa de mi educación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por brindarme el apoyo económico para realizar mis estudios de maestría.

# Tabla de Contenido

<b>1. Introducción.....</b>	<b>16</b>
<b>1.1 Industria Aeroespacial.....</b>	<b>16</b>
<b>1.2 Clasificación de la Industria Aeroespacial.....</b>	<b>17</b>
1.2.1 Ensambladores de Aviones OEM´s.....	17
1.2.2 Proveedores de Primer Nivel o Tier 1 .....	18
1.2.3 Proveedores de Segundo Nivel o Tier 2 .....	18
1.2.4 Proveedores de Tercer Nivel o Tier 3 .....	18
<b>1.3 Lean Six Sigma en la Industria Aeroespacial .....</b>	<b>18</b>
<b>1.4 Planteamiento del Problema .....</b>	<b>23</b>
<b>1.5 Justificación .....</b>	<b>23</b>
1.5.1 Industria Aeroespacial en México.....	23
1.5.2 Industria Aeroespacial en Baja California .....	25
<b>1.6 Preguntas de Investigación.....</b>	<b>28</b>
<b>1.7 Objetivos .....</b>	<b>28</b>
1.7.1 General.....	28
1.7.2 Específicos .....	28
<b>1.8 Hipótesis .....</b>	<b>29</b>
<b>1.9 Limitaciones.....</b>	<b>29</b>
<b>2. Metodología .....</b>	<b>30</b>
<b>2.1 Revisión de Literatura.....</b>	<b>31</b>
<b>2.2 Instrumento .....</b>	<b>31</b>
<b>2.3 Recolección de datos .....</b>	<b>31</b>
<b>2.4 Análisis de datos .....</b>	<b>32</b>
<b>2.5 Caso de Estudio .....</b>	<b>32</b>
<b>3. Instrumento de Recolección de Datos.....</b>	<b>33</b>
<b>3.1 Análisis bibliográfico para diseño del instrumento propuesto.....</b>	<b>33</b>

<b>3.2</b>	<b>Factores Críticos de Éxito.....</b>	<b>35</b>
<b>3.3</b>	<b>Encuesta Aplicada en la Industria Aeroespacial de Baja California .....</b>	<b>41</b>
<b>3.4</b>	<b>Diseño del Muestreo para el Estudio de Lean Six Sigma en la Industria Aeroespacial de Baja California.....</b>	<b>42</b>
<b>3.5</b>	<b>Validación de Contenido del Instrumento.....</b>	<b>43</b>
3.5.1	Marco Teórico del Método de Delphi .....	43
3.5.2	Expertos Participantes en la Validación de Contenido.....	44
3.5.3	Procedimiento de la Validación de Contenido a través del Método Delphi.....	46
<b>3.6</b>	<b>Validación Estadística del Instrumento Diseñado.....</b>	<b>47</b>
3.6.1	Marco Teórico del Coeficiente Alfa de Cronbach.....	48
<b>3.7</b>	<b>Diseño de Muestreo para la Validación Estadística del Instrumento .....</b>	<b>49</b>
<b>3.8</b>	<b>Resultados de la Validación Estadística del Instrumento Diseñado.....</b>	<b>49</b>
3.8.1	Coeficiente Alfa de cronbach considerando los seis constructos obligatorios .....	49
3.8.2	Coeficiente Alfa de Cronbach considerando seis constructos obligatorios y el constructo opcional de equipos de alto rendimiento (EAR).....	51
3.8.3	Coeficiente Alfa de Cronbach por Constructos.....	53
<b>3.9</b>	<b>Análisis Descriptivo del Sector Aeroespacial de Baja California de acuerdo con el Instrumento Diseñado .....</b>	<b>54</b>
3.9.1	Descripción de la implementación Lean Six Sigma en 12 empresas aeroespaciales de Baja California 54	
3.9.2	Certificación y Capacitación en Lean Six Sigma.....	57
3.9.3	Aspectos demográficos .....	58
<b>4.</b>	<b><i>Caso de Estudio: análisis al sistema de medición del departamento de pruebas no destructivas de una empresa aeroespacial de Baja California.....</i></b>	<b>62</b>
<b>4.1</b>	<b>Pertinencia de los Casos de Estudio .....</b>	<b>62</b>
<b>4.2</b>	<b>Descripción del caso de estudio .....</b>	<b>63</b>
<b>4.3</b>	<b>Justificación del caso de estudio .....</b>	<b>64</b>
<b>4.4</b>	<b>Marco Teórico para el Análisis al Sistema de Medición .....</b>	<b>66</b>
4.4.1	Análisis de Acuerdo de Atributo.....	66

<b>4.5</b>	<b>Descripción de los procesos considerados para el caso de estudio .....</b>	<b>68</b>
4.5.1	Prueba de Inspección Visual (VIT).....	68
4.5.2	Prueba de Rayos X (RT).....	68
<b>4.6</b>	<b>Diseño de Experimento Análisis de Acuerdo por Atributo .....</b>	<b>69</b>
4.6.1	Requerimientos para garantizar la confiabilidad del experimento durante la etapa del diseño .....	69
4.6.2	Requerimientos para garantizar la confiabilidad del experimento durante la etapa de recolección de datos	70
4.6.2.1	Desarrollo del Experimento VIT .....	71
4.6.2.2	Desarrollo del Experimento RT .....	72
	<i>Tabla 33: Diseño del experimento RT; características de las piezas. ....</i>	<b>73</b>
<b>4.7</b>	<b>Resultados del Análisis al Sistema de Medición .....</b>	<b>73</b>
4.7.1	Resultados del análisis de acuerdo de atributo de la prueba de inspección visual (VIT).....	74
4.7.1.2	Estimación de la pérdida .....	77
4.7.2	Resultados del análisis de acuerdo de atributo de la prueba de rayos x (RT) .....	78
4.7.2.1	Acuerdo por Atributo (Identificar Defecto Específico).....	78
4.7.2.2	Acuerdo por Pieza (Pasa/No Pasa) .....	81
<b>5.</b>	<b><i>CONCLUSIONES GENERALES</i>.....</b>	<b>86</b>
<b>5.1</b>	<b>Objetivo 1: análisis bibliográfico .....</b>	<b>86</b>
<b>5.2</b>	<b>Objetivo 2: instrumento de recolección de datos .....</b>	<b>86</b>
5.2.1	Respuesta a las preguntas de investigación del proyecto.....	86
5.2.2	Determinación acerca de la hipótesis planteada .....	87
<b>5.3</b>	<b>Objetivo 3: caso de estudio en una empresa aeroespacial de BC.....</b>	<b>87</b>
5.3.1	Respuesta a las preguntas de investigación de este proyecto.....	88
5.3.2	Determinación acerca de la hipótesis planteada .....	89
<b>5.4</b>	<b>Recomendaciones.....</b>	<b>90</b>
<b>5.5</b>	<b>Comentarios de las empresas participantes.....</b>	<b>92</b>
	<i>Apéndice.....</i>	<b>93</b>
	<b>Instrumento.....</b>	<b>93</b>
	<i>Referencias.....</i>	<b>109</b>

## Lista de Figuras

Figura 1: Integración de la cadena productiva de la Industria Aeroespacial. _____	17
Figura 2: Industria Aeroespacial de México: Ubicación y Distribución Geográfica de las empresas. _____	24
Figura 3: Distribución de la inversión en el sector aeroespacial de Baja California por país de origen. _____	26
Figura 4: Metodología para cada apartado de el proyecto LSS en la Industria Aeroespacial de Baja California. _____	30

## Lista de Gráficas

Gráfica 1: Los grandes jugadores de la IA en el mundo. Fuente: FEMIA _____	24
Gráfica 2: Distribución de la IA en Baja California: 62 empresas de manufactura (MF), 8 de diseño e investigación (D&I) y 10 dedicadas al mantenimiento, reparación y revisión de unidades (MRO). _____	27
Gráfica 3: Factores encontrados en la revisión bibliográfica (últimos 15 años): EC-entorno cultural, CG-compromiso de la gerencia, CAO-clima de aprendizaje organizacional, EAR-equipos de alto rendimiento, RC-resistencia al cambio, Cm-comunicación y SP-sentido de pertenencia, RP-rotación de personal y CC-cultura de calidad. Fuente: Elaboración propia. _____	33
Gráfica 4: Muestreo estratificado del estado de Baja California. Se estudiarán 27 empresas en Tijuana equivalentes al 51% del total de la muestra, y a su vez, equivalentes al porcentaje de empresas aeroespaciales que hay en Tijuana tomando en cuenta la población total de la IA del estado; se usó el mismo criterio para los demás municipios. Posteriormente, las empresas en cada municipio se seleccionarán de manera aleatoria. _____	43
Gráfica 5: Personal del SA certificado en LSS. _____	57
Gráfica 6: Personal capacitado en LSS. _____	58
Gráfica 7: Relación de mujeres y hombres que participaron en el estudio. _____	59
Gráfica 8: Edades de los individuos que participaron en el estudio. _____	60
Gráfica 9: Departamentos que participaron en el estudio. Análisis de doce empresas: las empresas se ubicaban en Ensenada, Mexicali y Tijuana; n=49. _____	61

Gráfica 10: Concordancia entre inspecciones de VIT; resultados del análisis individual por inspector y cada inspector contra el estándar. Fuente: gráfica obtenida por medio de Minitab con datos del experimento propuesto. _____	76
Gráfica 11: Concordancia entre inspecciones de RT; resultados del análisis de acuerdo por atributo, se muestra la concordancia individual por inspector y cada inspector contra el estándar. Fuente: gráfica obtenida por medio de Minitab con datos del experimento propuesto. _____	80
Gráfica 12: Concordancia entre inspecciones de RT; resultados del análisis de acuerdo por decisión sobre aceptar o rechazar una vista (película radiográfica), se muestra la concordancia individual por inspector y cada inspector contra el estándar. Fuente: gráfica obtenida por medio de Minitab con datos del experimento propuesto. _____	84

## Lista de Tablas

Tabla 1: Metodología y Transferencia Intersectorial de LSS. _____	18
Tabla 2: Casos de estudio de Manufactura de LSS en la IA. _____	20
Tabla 3: Casos de estudio de MRO, Diseño y Cadena de Suministro sobre la implementación de LSS en la IA. _____	21
Tabla 4: LSS en Sector de Servicios y en Sector Educativo de la IA. _____	22
Fuente: Elaboración propia con base en información de la FEMIA y SE. Tabla 5: Procesos de manufactura enfocados a estos productos, distribuidos en todo el país. _____	24
Tabla 6: Herramientas de LSS utilizadas en la IA. _____	34
Tabla 7: Factor Entorno Cultural. _____	36
Tabla 8: Factor Resistencia al Cambio. _____	37
Tabla 9: Factor Comunicación. _____	38
Tabla 10: Factor Sentido de Pertenencia. _____	38
Tabla 11: Factor Formación de Equipos de Alto Rendimiento. _____	39
Tabla 12: Factor Clima de Aprendizaje Organizacional. _____	40
Tabla 13: Factor Compromiso de la Gerencia. _____	41
Tabla 14: Características Principales del Método Delphi según Landeta en 1999 [71]. _____	44
Tabla 15: Características del grupo de expertos que validó el instrumento a través del Método Delphi. _____	45

Tabla 16: Procedimiento de Trabajo Implementado para gestionar la Metodología Delphi. _____	46
Tabla 17: Análisis general del coeficiente Alfa de Cronbach para los constructos de los seis FCE obligatorios en el instrumento “Lean Six Sigma en la Industria Aeroespacial de Baja California”, compuesto de 41 ítems; n=49. _____	49
Tabla 18: Proceso de eliminación de ítems de los seis FCE obligatorios con la finalidad de incrementar la confiabilidad del instrumento de recolección de datos. _____	50
Tabla 19: Confiabilidad final del instrumento “Lean Six Sigma en la Industria Aeroespacial de Baja California”, de acuerdo con el coeficiente Alfa de Cronbach calculado, compuesto de 6 constructos, 35 ítems y n=49. _____	50
Tabla 20: Ítems eliminados del instrumento debido a su correlación negativa en el análisis del coeficiente Alfa de Cronbach. Los ítems eliminados corresponden a los constructos de entorno cultural, resistencia al cambio, compromiso de la gerencia y clima de aprendizaje organizacional. _____	51
Tabla 21: Proceso de eliminación de ítems de los 7 FCE con la finalidad de incrementar la confiabilidad del instrumento de recolección de datos. _____	52
Tabla 22: Confiabilidad final del instrumento “Lean Six Sigma en la Industria Aeroespacial de Baja California”, de acuerdo con el coeficiente Alfa de Cronbach calculado, compuesto de 7 constructos, 40 ítems y n=49. _____	52
Tabla 23: Ítems eliminados del instrumento debido a su aportación al valor del coeficiente Alfa de Cronbach. _____	52
Tabla 24: Análisis particular de la consistencia interna de cada FCE por medio del Alfa de Cronbach. _____	53
Tabla 25: Herramientas más utilizadas en la gestión de procesos industriales en las empresas aeroespaciales del estado de Baja California. _____	55
Tabla 26: Beneficios obtenidos de la implementación de LSS en la gestión de procesos de manufactura del SA. _____	56
Tabla 27: Razones por las cuales las empresas aeroespaciales no certifican y capacitan al personal en el manejo de la metodología LSS. Análisis de 12 empresas, tres municipios diferentes, n=49.	58
Tabla 28: Defectos inspeccionados por el departamento de VIT. _____	71

Tabla 29: Configuración del experimento AAA de VIT; una pieza maestra (PM) y tres inspectores visuales. _____	72
Tabla 30: Diseño del experimento VIT; cantidad de piezas y cantidad de defecto por piezas. __	72
Tabla 31: Configuración de experimento AAA de RT; un valor estándar (VS) y 4 inspectores. _	72
Tabla 32: Defectos inspeccionados por el departamento RT. _____	73
Tabla 33: Diseño del experimento RT; características de las piezas. _____	73
Tabla 34: MSA de VIT: individual por evaluador. Fuente: Tabla obtenida por medio de Minitab con datos del experimento propuesto. _____	74
Tabla 35: MSA de VIT: cada evaluador contra el estándar. _____	75
Tabla 36: MSA de VIT: entre evaluadores. _____	75
Tabla 37: MSA de VIT: todos los evaluadores contra el estándar. _____	76
Tabla 38: MSA de RT por Atributo: individual por evaluador. _____	78
Tabla 39: MSA de RT por Atributo: cada evaluador contra el estándar. _____	79
Tabla 40: MSA de RT por Atributo: acuerdo entre evaluadores. _____	79
Tabla 41: MSA de RT por Atributo: todos los evaluadores contra el estándar. _____	79
Tabla 42: MSA de RT por Vista: individual por evaluador. _____	81
Tabla 43: MSA de RT por Vista: cada evaluador contra el estándar. _____	82
Tabla 44: MSA de RT por Vista: acuerdo entre evaluadores. _____	83
Tabla 45: MSA de RT por Vista: todos los evaluadores contra el estándar. _____	83

# 1. Introducción

La Industria Aeroespacial (IA) ha crecido considerablemente en las últimas décadas, tanto en el sector espacial para explorar nuestro sistema solar y el universo, así como en el sector aeronáutico generando tecnología militar y para uso civil. En este último, produciendo aviones cómodos y accesibles económicamente para la mayoría de las clases sociales y logrando llegar cada vez más rápido a casi cualquier parte del mundo, volviéndose un transporte común y práctico. Esto es posible gracias a la investigación científica y a procesos de manufactura, de diseño y de mantenimiento adecuados para cada producto. Para ello, empresas líderes mundiales en este sector implementan *Lean Six Sigma* (LSS), la cual es una metodología de trabajo que integra herramientas de *Lean Manufacturing* (LM) que se enfocan en reducir y eliminar los desperdicios analizando la cadena de valor y los procesos, y las herramientas de *Six Sigma* (SS) que se centran en la reducción y eliminación de las variaciones aplicando métodos estadísticos de control de calidad [1]. Lo que hace que LSS sea ideal para gestionar y medir procesos de manufactura y proporcionar mayor competitividad a las empresas que lo implementan.

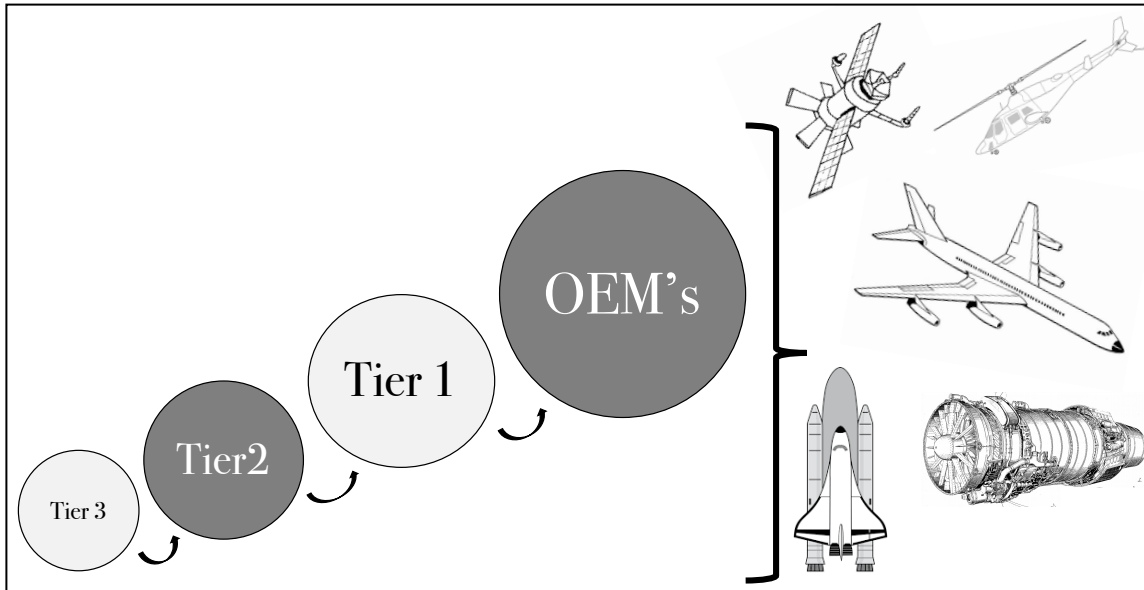
## 1.1 Industria Aeroespacial

La industria aeroespacial se puede definir como el conjunto de todas las actividades productivas destinadas al diseño, fabricación, mantenimiento y comercialización de aeronaves (aviones, helicópteros, vehículos aéreos no tripulados, misiles, etc.), naves espaciales, satélites y cohetes, así como de equipos específicos asociados de los cuales depende llegar al ensamble final (propulsión, sistemas de navegación, consumibles, materiales, etc.) [2].

El término “industria aeroespacial” incluye la fabricación de los productos que circulan tanto en la atmósfera terrestre como fuera de ella; por su parte, la industria aeronáutica solo hace referencia a los productos que circulan dentro [3].

## 1.2 Clasificación de la Industria Aeroespacial

La Industria Aeroespacial divide a las empresas pertenecientes a este sector en cuatro categorías de acuerdo con el tipo de producto que manufactura y a la relevancia de éste. La integración de estas categorías conforma la cadena de suministro de la industria, y a su vez, todas contribuyen a generar el producto del usuario final (ver figura 1). La clasificación de este sector es la siguiente:



*Figura 1: Integración de la cadena productiva de la Industria Aeroespacial.*

### 1.2.1 Ensambladores de Aviones OEM's

Estas empresas conocidas como OEM's (Original Equipment Manufacturer) se dedican al ensamble final de aviones o helicópteros, cuya actividad principal es la integración de aeronaves, la fabricación de algunas partes y componentes, el diseño y desarrollo de los nuevos modelos de avión, así como la venta al cliente final. Además, se consideran dentro de esta categoría a aquellas empresas que fabrican la fuerza motriz de un avión (productores de motores aeronáuticos), que a pesar de que pueden ser considerados proveedores de las OEM's, la relevancia en valor y en contenido tecnológico que representa el motor hacen que dichas empresas puedan ser consideradas al mismo nivel [4].

### **1.2.2 Proveedores de Primer Nivel o Tier 1**

Empresas que participan en actividades de ensamble, fabricación de productos de alto valor agregado e integración de grandes subsistemas. Algunas de las partes son: aeroestructuras, sistemas de aviónica, motores, interiores del avión, tren de aterrizaje y actuadores, entre otros [4].

### **1.2.3 Proveedores de Segundo Nivel o Tier 2**

Se trata de empresas especializadas en montajes de diversos sub-ensambles y secciones para integrarse a aeroestructuras, sistemas de aviónica, motores, interiores del avión y tren de aterrizaje [4].

### **1.2.4 Proveedores de Tercer Nivel o Tier 3**

Son pequeñas empresas especializadas en el diseño y/o fabricación de partes y componentes elementales como tornillos, remaches, empaques, cristales, cubreasientos, etc. [4].

## **1.3 Lean Six Sigma en la Industria Aeroespacial**

TOYOTA (sector automotriz) y MOTOROLA (sector de comunicaciones) fueron los precursores de las metodologías Lean Manufacturing y Six Sigma respectivamente [5]; ambas compañías pertenecientes a sectores con características muy diferentes al sector aeroespacial. Aunque estas metodologías no fueron propuestas para la industria aeroespacial, existen puntos de convergencia entre estos sectores (ver tabla 1) y es posible adecuar estas metodologías para su implementación en las empresas aeroespaciales.

La implementación de LSS en la IA comenzó con las primeras investigaciones y adaptaciones de la metodología que permitieron hacer transferencia intersectorial (Tabla 1). Posteriormente, se analizaron casos de estudio en empresas del sector tanto en Manufactura (tabla 2), como MRO y Diseño en donde la implementación de LSS resultó en beneficios económicos (Tabla 3).

Asimismo, nuevas investigaciones se están enfocando en las ventajas de implementar LSS en la cadena de suministro de la IA (Tabla 3) y en el sector de servicios relacionados con esta industria (Tabla 4), así como incorporar LSS en los planes educativos de instituciones académicas (Tabla 4).

Tabla 1: Metodología y Transferencia Intersectorial de LSS.

<b>Lean Six Sigma en la industria aeroespacial</b>					
Metodología y Transferencia Intersectorial: Casos de Estudio					
Ref.	Año	País	Investigación	Resultados Obtenidos	Área de Oportunidad
[6]	2000	Reino Unido	Aplicación de los métodos de Lean Production a un proceso de manufactura de motores	Se encontraron que varios métodos no eran efectivos en este proceso ya que LM es para producción especulativa y la IA se maneja en producción asegurada. El cambio en la metodología de trabajo fue difícil para los empleados. La rotación de personal y la falta de educación de los empleados fueron los FC sobresalientes.	Hay que adaptar la metodología a los procesos aeroespaciales.
[7]	2003	Reino Unido	Adaptación de Lean a la IA y análisis de factores claves para la implementación. Estudio de 2 empresas distintas.	Las dificultades que se presentan al implementar Lean pueden tener más que ver con el contexto individual de cada planta y con la gestión de ésta que con factores específicos del sector.	Determinar los factores relacionados con el contexto y la gestión de la empresa de forma particular y que funcionen como denominador común en empresas que compartan las mismas características culturales.
[8]	2003	Reino Unido	Análisis de la implementación de Lean en 3 compañías de distintos tamaños.	La aplicación de Lean es factible para grandes y pequeñas empresas aeroespaciales, pero falta coherencia entre la metodología y la industria, así como la adecuación de las herramientas.	Adaptar esta metodología a las necesidades y características de la IA, por lo tanto, es necesario proponer un compendio de herramientas de esta metodología que funcionen especialmente para este sector.
[9]	2008	Reino Unido	Adopción de SS en 60 SMEDs manufactureras de las cuales 10 fueron de la IA. Estudio exploratorio y estadístico.	Muchas de las pymes no son conscientes de Six Sigma y no tienen los recursos para implementar proyectos Six Sigma. Además, se encontraron que LSS no es popular entre las SMEDs. FC participación e involucramiento de la gerencia, hacer a los clientes LSS y estrategia empresarial.	Adaptar la metodología para las PyMES de acuerdo con el nivel de producción que manejan y de acuerdo con nuestra investigación, realizar el estudio por sectores para detectar FCE específicos, en este caso IA.
[10]	2014	España	Principales factores determinantes de la adopción de Lean Production; análisis de 5 plantas del sector aeroespacial de Andalucía que implementa LP hace años y con éxito. Se entrevistó al personal y se observaron procesos en cada planta.	Los FCE son una pobre cultura de calidad total, compromiso de la gerencia, estructura organizacional lean y el rol del líder lean. Se desarrolló un modelo de adopción lean de acuerdo con los FCE encontrados.	No se midió la intensidad de los factores ni la correlación entre ellos ya que fue sólo un caso observacional, además hay que comprobar la eficacia del modelo propuesto.
[11]	2016	España	Estudia la aplicabilidad de SS en pymes de la IA, se determinaron los factores de éxito y obstáculos para la implementación. Estudio en una empresa pyme.	Los resultados confirman su aplicabilidad y sugieren que el éxito depende de factores claves como el compromiso del equipo, la disponibilidad de recursos y la formación previa.	Estudio detallado de factores claves en la implementación de SS: conceptos, indicadores, relevancia e influencia.

Tabla 2: Casos de estudio de Manufactura de LSS en la IA.

Lean Six Sigma en la industria aeroespacial					
Manufactura: Casos de Estudio					
Ref.	Año	País	Investigación	Resultados Obtenidos	Área de Oportunidad
[12]	2006	Canadá	Se realizó un caso de estudio en una empresa aeroespacial mediana donde se implementó una metodología híbrida que fusiona herramientas de Lean Manufacturing, Six Sigma y herramientas administrativas.	Reducción del Lead-time, rejects y reworks al aplicar las metodologías en conjunto.	Las empresas tienen que desarrollar sus propias metodologías de mejora continua que se adapten a sus propias necesidades y a las características del capital humano que poseen.
[13]	2006	Reino Unido	LP: Herramientas visuales de gestión de procesos en tres empresas aeroespaciales Rolls-Royce, Fiton y Weston-Aerospace.	El control visual es una herramienta eficaz en procesos aeroespaciales, permitiendo medir el rendimiento con características de clase mundial según Maskell, B., (Performance Measurement for World Class Manufacturing, 1991)	Los autores proponen más investigaciones similares en otras empresas con el fin de desarrollar una metodología de gestión visual específica para este sector.
[14]	2011	USA	Implementación de LSS: se enlistan las herramientas que determinaron eran las adecuadas para los procesos que realizan, se mencionan los factores en los que hicieron énfasis y que facilitaron el éxito de la implementación.	Disminución de inventario, tiempo de ciclo y aumento de la producción. Factores: capacidad de aprendizaje, preparación cultural, capacidad para compartir conocimiento, entre otros.	Es necesario enfocarse en el capital humano y proponer herramientas adecuadas a los procesos de manufactura de la empresa, pero también herramientas que funcionen con el capital humano de la compañía
[15]	2013	Reino Unido	Transformación del proceso de desarrollo de producto hacia el entorno lean, caso práctico de motores de helicópteros en una empresa.	Se incorporaron los principios de set-based concurrent engineering (SBCE) a un proceso ya existente. Modelo de PD de acuerdo con el tipo de producto.	Posibilidades de mejora de la etapa inicial del diseño y extender el modelo para cubrir el ciclo de vida del producto con la incorporación de los niveles de subsistema y componentes.
[16]	2014	UK & Dublin	Adaptación de la herramienta DMAIC, los autores agregan la etapa 'review' a la herramienta (DMAIRC). Estudio en empresa de clase mundial de motores aeronáuticos.	Reducción óptima en el tiempo de espera en su proceso de ensamble de motores de avión.	Es preciso adaptar las herramientas de LSS a las necesidades del sector aeroespacial.
[17]	2015	Brasil	Automatización de procesos mediante herramientas de LSS. Estudio en una empresa, dos procesos diferentes.	Modificación de varias estaciones de trabajo a una sola línea de producción, se adaptó una misma línea de trabajo para ensamblar varios tipos de alas. Reducción de costos de herramientas y su mantenimiento, beneficios relacionados con ergonomía y salud.	Enfocarse en procesos sustentables que permitan automatizar la manufactura del sector. Pasar de estaciones de trabajo y manufactura artesanal a líneas de producción.
[18]	2016	Reino Unido	Propuesta de Strategic Lean Six Sigma Framework: enfoque más equilibrado e integrado entre los elementos de LM y SS.	Reducción del build time del 20.5%, mejora en los tiempos entrega al cliente en un 26,5%, se redujo el tiempo de no-valor añadido del 44,5%. Además, se estima un ahorro económico de más de £2 millones.	Realizar más casos de estudio de este modelo e identificar que nuevas herramientas y técnicas pueden integrarse a esta propuesta.

Tabla 3: Casos de estudio de MRO, Diseño y Cadena de Suministro sobre la implementación de LSS en la IA.

<b>Lean Six Sigma en la industria aeroespacial</b>					
<b>MRO: Casos de Estudio</b>					
Ref.	Año	País	Investigación	Resultados Obtenidos	Área de Oportunidad
[19]	2005	USA	Desarrollo de concepto de Lean Enterprise Architecture (LEA) para una transformación de toda la empresa.	LEA en toda la empresa minimiza la posibilidad de pasar por alto las oportunidades para mejorar aún más el rendimiento, ayudará a mejorar la calidad de toda la empresa, la entrega a tiempo, y la satisfacción del cliente.	Se requiere comparar el rendimiento de LEA y LM y buscar formas de garantizar la entera participación de la empresa.
[20]	2015	Reino Unido	Describe la aplicación LSS como medio para reducir el riesgo de la cadena de suministro en las funciones MRO. Se utiliza LSS para estimar el impacto económico en la selección de la estrategia de mantenimiento más apropiado para las unidades de aviones.	La modificación del equipo se llevó a cabo y una parte sustancial de la carga de los costos de mantenimiento global de más de 1.000.000 £, durante un periodo de 70.000 horas de funcionamiento, se eliminó.	Es necesario realizar más casos de estudio para validar la eficacia de la herramienta.
<b>Diseño: Casos de Estudio</b>					
[21]	2004	USA	Análisis de Design for Six Sigma (DFSS) para el diseño de nuevos productos aeroespaciales utilizando el principio 80-20 (Pareto) y la voz del cliente.	El diseño resultante es robusto con respecto a las posibles variaciones en los procesos y materiales de fabricación.	DFSS tiene que ser personalizado para cada empresa.
<b>Cadena de Suministro</b>					
[22]	2010	España	Estudio cualitativo de revisión de literatura sobre LP en la cadena de suministro de la industria aeroespacial de EUA y UK	Resumen de estudios en la IA agrupados en aplicabilidad, implantación y resultados de LP, así como todos aquellos que abordan la cadena de suministro.	Hay que atender las necesidades únicas de cada organización para implementar LP eficazmente. Hay escasez de estudios empíricos al respecto. Ver el enfoque lean en la contabilidad de la empresa porque esto también influye en el beneficio económico de la implementación.
[23]	2011	Canadá	Identifica las condiciones que permiten el aprendizaje entre empresas en la cadena de suministro aeroespacial, a través de un estudio transversal de relaciones con los proveedores de los principales contratistas de la industria aeroespacial de Canadá.	Las variables con impacto significativo en el aprendizaje entre empresas son las siguientes: la calidad de la relación comprador-proveedor en términos de confianza, colaboración, socialización y el intercambio de información; los vínculos de propiedad entre ambas empresas; y el uso de TIC.	El estudio no aborda la distinción entre conocimiento explícito y tácito. La investigación futura podría centrarse en distinguir los diferentes antecedentes y consecuencias de la transferencia de estos dos componentes de conocimiento.

Tabla 4: LSS en Sector de Servicios y en Sector Educativo de la LA.

<b>Lean Six Sigma en la industria aeroespacial</b>					
Servicios: Encuesta					
Ref.	Año	País	Investigación	Resultados Obtenidos	Área de Oportunidad
[24]	2012	Grecia	Investiga los FCE de LSS en una aerolínea por medio de entrevistas con gerentes y administradores. Aerolínea europea con servicio a 24 aeropuertos y con una flota de 17 aviones.	Clasifica los FCE en facilitadores e inhibidores. FCE: Liderazgo, orientación estratégica, cultura organizacional, entrenamiento, trabajo en equipo, satisfacción del cliente y sistemas técnicos. Los gerentes son las piezas claves en la implementación pues son ellos quienes juega el roll más importante.	El análisis sólo fue en el área de servicios, se propone aplicarlo al área de manufactura; sin embargo, los autores indican que según la revisión de literatura el identificar los FCE en manufactura y enfocarse en ellos al implementar LSS certeramente generará un impacto positivo en la implementación. Además, mencionan que cada sector debe hacer su investigación pues cada proceso específico, tendrá sus propios FCE.
Educación: Estudio					
[25]	2007	USA	MIT Lean Aerospace Initiative: Red de universidades que busca incorporar los principios lean en sus planes de estudio. El estudio muestra 4 casos en los que se incorporan LM al curso académico.	Los estudiantes desarrollan un sentido práctico de lo que significa el pensamiento lean y comienzan a apreciar que sus empleadores sigan la ruta Lean para tener éxito en la industria moderna.	Establecer planes de estudios que permitan que los ingenieros que se gradúan estén mejor preparados para sus carreras complementa su formación con conocimientos de LM ya que es probable que enfrenten la necesidad de conocimiento de esta metodología cuando tengan un empleo.

Sin embargo, en México no se han encontrado investigaciones similares que brinden información pertinente de la metodología LSS a las empresas de este sector. Es por lo que este proyecto estudia cómo implementan *Lean Six Sigma* las empresas de nuestro país, específicamente en Baja California. Esta primera exploración permitirá conocer si los Factores Críticos de Éxito (FCE) que han experimentado otras culturas extranjeras también se manifiestan en la cultura laboral mexicana. Además, se obtendrá el conjunto de herramientas que funcionan mejor para el tipo de producto que se manufactura en BC, los beneficios obtenidos gracias a la adopción de LSS y la postura de las empresas frente a la implementación, capacitación y certificación de esta metodología. De manera que los resultados de este proyecto contribuyen a que las empresas bajacalifornianas del Sector Aeroespacial (SA) que implementan LSS enfoquen sus esfuerzos en factores y herramientas que garanticen los resultados esperados al adoptar esta metodología. Asimismo, empresas que aún no la incorporan LSS tendrán un mapa seguir en la adopción de la metodología, que no genere incertidumbre.

## **1.4 Planteamiento del Problema**

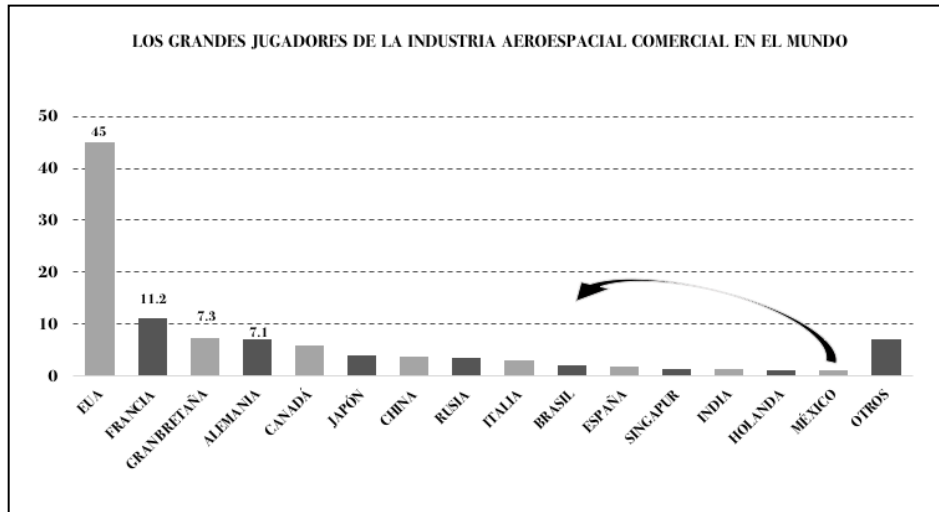
Se desconoce el estado actual de la implementación de LSS en las empresas aeroespaciales de Baja California, así como los factores críticos de éxito (FCE) que intervienen en la adopción de la metodología y las herramientas que funcionan mejor dentro del contexto del trabajador mexicano.

## **1.5 Justificación**

Dado que Baja California es el estado con más presencia en este sector a nivel nacional y que actualmente nuevas empresas internacionales están iniciando operaciones en esta entidad [26], es importante generar información pertinente que permita a las empresas aeroespaciales bajacalifornianas incrementar la competitividad de sus productos a través de las mejores prácticas que permitan alcanzar este fin. En este sentido, *Lean Six Sigma* es una metodología que ya ha demostrado en otros países líderes del SA que puede contribuir a la competitividad del producto y que, además, agrega valor a la empresa que la implementa.

### **1.5.1 Industria Aeroespacial en México**

El Sector Aeroespacial de México ha tomado fuerza en los últimos años, logrando que empresas líderes mundiales de esta industria vean en este país una opción competente para desarrollar sus productos. Esto se debe principalmente a la ubicación geográfica, al bajo costo de la mano de obra, a los beneficios económicos para inversiones extranjeras, al capital humano calificado y a las instituciones académicas que proveen recursos humanos especializados en el sector. Desde los 90's y hasta el 2009 México ocupaba el primer lugar en inversiones de manufactura en el mundo, actualmente es uno de los cuatro principales receptores de inversión extranjera aeroespacial en los últimos cuatro años [26], contando con inversión de más de siete países líderes en el ramo [27]. Además, hoy en día México es el noveno proveedor de la industria aeroespacial de los EE. UU y el sexto de la Unión Europea [27]. Asimismo, en el entorno mundial, México se sitúa en el lugar 15 en términos de ingresos de la IA. La Federación Mexicana de la Industria Aeroespacial (FEMIA), en conjunto con las Secretaría de Economía (SE) y los clústeres aeroespaciales mexicanos, pronostican que para el 2020 México esté dentro de los primeros 10 lugares a nivel internacional (gráfica 1) por medio del Programa Estratégico Nacional Pro-Aéreo [26].



Gráfica 1: Los grandes jugadores de la IA en el mundo. Fuente: FEMIA

México cuenta con centros de diseño, centros de manufactura y empresas ensambladoras distribuidos en los 18 estados del país que conforman esta industria. Industria que actualmente cuenta con más de 300 empresas, mismas que generan más de 43,000 empleos directos (figura 2). La tabla 5 muestra los productos que se fabrican en este país y su demanda.

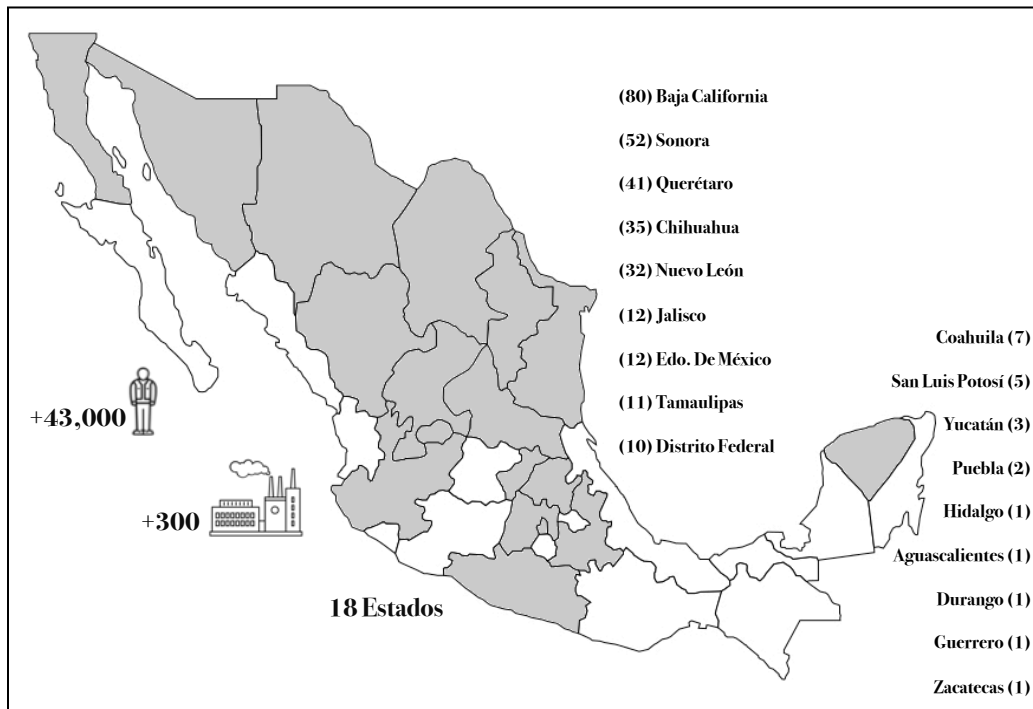


Figura 2: Industria Aeroespacial de México: Ubicación y Distribución Geográfica de las empresas.

Fuente: Elaboración propia con base en información de la FEMIA y SE.

Tabla 5: Procesos de manufactura enfocados a estos productos, distribuidos en todo el país.

Fuente: Revista Business Connection 2014 y Dirección General de Industrias Pesadas y Alta Tecnología 2013.

<b>PARTES PARA TURBINA</b>	<b>MAQUINADOS Y METALES</b>	<b>ENSAMBLE</b>	<b>ARNESES</b>	<b>PRODUCTOS AISLANTES</b>	<b>INTERIORES DE AVIONES Y EQUIPOS DE EMERGENCIA</b>
Anillos	Partes de alta precisión	Aviones	Eléctricos	Aislantes térmicos	Asientos
Álabes	Metales de uso aeroespacial	ejecutivos	Electrónicos	Cobijas aislantes para fuselaje	Cerraduras
Sellos de alta precisión	Piezas de fundición	Avión tipo kits	Para turbinas	Recubrimientos de componentes aeroespaciales	Sujetadores para compartimiento
Aspas para turbina	Proceso de anodizado	Helicópteros	Para aviones	Procesos térmicos	Tornillos
Barras de metal	Placas y láminas de diferentes aleaciones		Para Helicópteros	Protectores aislantes turbinas	Pernos
Coples					Botes salvavidas
Corazas					Chalecos salvavidas
Cubiertas (sistemas de propulsión)					Deslizadores de emergencia
Ductos					Toboganes de emergencia
Protectores aislantes de calor					
Radiadores					
Compresores					
Intercambiadores de calor					
<b>OTROS PRODUCTOS DE AVIÓN</b>					<b>COMPONENTES ELECTRÓNICOS</b>
Aceites					Conectores
Partes de cabina					Cables de fibra óptica y coaxial
Componentes hidráulicos					Sistemas auxiliares
Componentes para sistemas de freno					Sistemas de comunicación
Empaques					Sensores, capacitores
Herramientas de alta precisión					Semiconductores, convertidores
Tanques de gasolina					Sistemas de entrenamiento
Tornillos					Sistemas de telecomunicación
					Termógrafos potenciómetros
					Circuitos electrónicos
					Circuitos integrados
					Conductores medidores de combustible
					Relevadores
					Fuentes de poder
					Interruptores
					Radars equipo de frecuencia

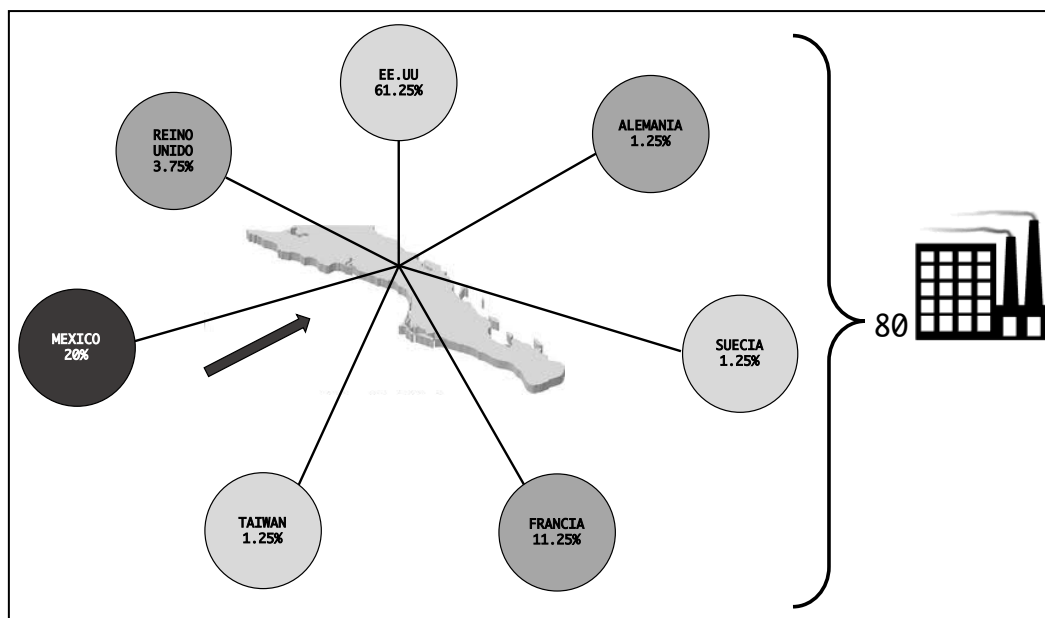
**PRODUCTOS AERONÁUTICOS MANUFACTURADOS**

Categoría	Porcentaje
PARTES PARA MOTORES DE AVIÓN	2.9%
PRODUCTOS AISLANTES	3.3%
INTERIORES DE AVIÓN Y EQUIPOS DE EMERGENCIA	7.3%
ARNESES	8.4%
PARTES PARA TURBINA	11.3%
MAQUINADOS Y METALES	13.5%
ENSAMBLE, MANUFACTURA Y REPARACIÓN	14.5%
OTROS PRODUCTOS DE AVIÓN	14.5%
COMPONENTES ELECTRÓNICOS	24.4%

### 1.5.2 Industria Aeroespacial en Baja California

Como se muestra en la figura 3, Baja California es el estado con más participación empresarial en el sector aeroespacial, con 80 compañías nacionales y extranjeras, las cuales generan más del 50% del total del empleo en este sector, es decir, más de 28,000 empleos directos. Asimismo, dichas empresas bajacalifornianas exportan alrededor de 1.148 millones de dólares anuales, lo que representa casi el 27% de las exportaciones de la IA a nivel Nacional. Estados Unidos atrae dos

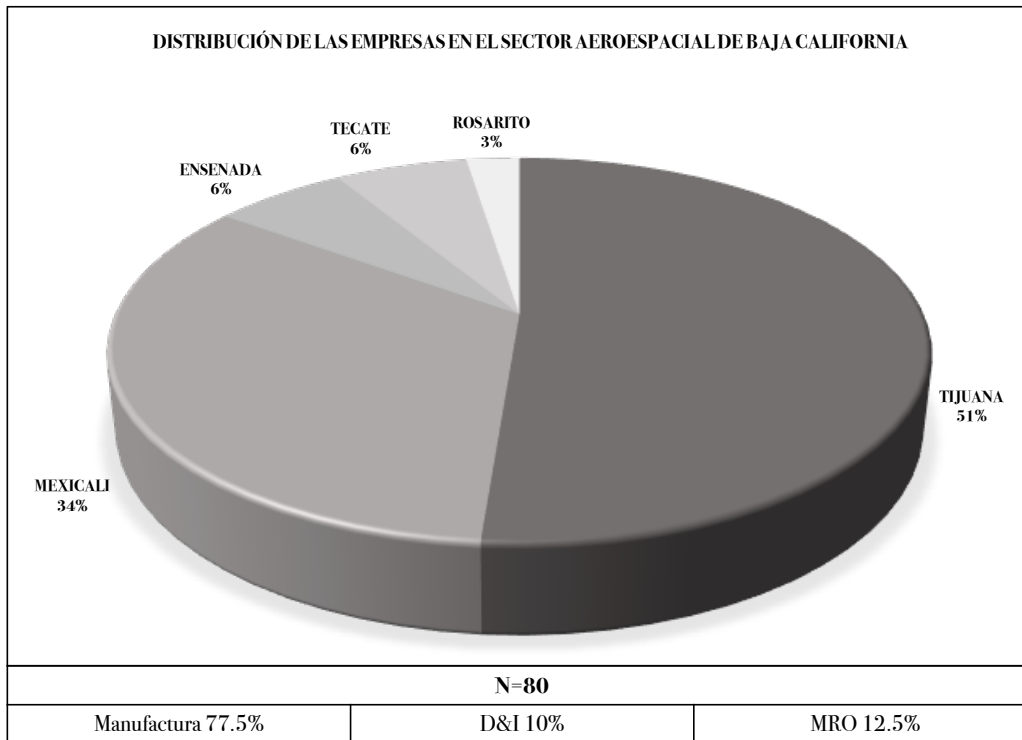
terceras partes de estas exportaciones y el resto se dirige a Canadá, Inglaterra, Francia, Alemania, entre otros países. Además, es importante resaltar que la mayor parte de las empresas aeroespaciales en la entidad están certificadas en National Aerospace and Defense Contractors Accreditation Program (NADCAP) y Aerospace Standard (AS9100) [ver referencias 3-4 y 26-32].



*Figura 3: Distribución de la inversión en el sector aeroespacial de Baja California por país de origen.*

*Fuente: Elaboración propia con base en información estadística de revista Business Connection.*

Para las compañías extranjeras, Baja California resalta como una excelente opción de inversión debido a la cercanía con los polos aeroespaciales de Quebec y Seattle, dos de los principales productores y desarrolladores de tecnología aeroespacial a nivel mundial. Igualmente, es importante la facilidad con la que los productos aeroespaciales pueden ser transportados a cualquier destino de los EE. UU.: 1) vía terrestre: con una estimación de uno a cinco días; 2) vía aérea: en aproximadamente cinco horas. Asimismo, Baja California ofrece capital humano calificado y las instituciones académicas proveen recursos humanos especializados en el sector [ver referencias 3-4 y 26-32]. La gráfica 2 muestra la distribución de las empresas en los diferentes municipios del estado, así como el giro de ellas.



*Gráfica 2: Distribución de la LA en Baja California: 62 empresas de manufactura (MF), 8 de diseño e investigación (D&I) y 10 dedicadas al mantenimiento, reparación y revisión de unidades (MRO).*

*Fuente: Elaboración propia con base en información de fuentes bibliográficas 17-25.*

Toda la información anterior resalta la importancia de Baja California en el sector aeroespacial a nivel Nacional. Enfocando esta investigación en dicho estado, pues más allá de presentar actividad preponderante en la industria, sigue en crecimiento y atrae nuevas inversiones extranjeras, así como, proyectos nacionales. Por estas razones, esta investigación es oportuna y sensible a las necesidades del sector. Además, en cierta medida contribuye al desarrollo del plan Pro-Aéreo 2012-2020 [26] en las estrategias de “*Enfoque integral del ciclo completo de vida del producto: diseño, ingeniería, manufactura y reparación*”; en el “*Impulso a la formación, capacitación, especialización y asistencia técnica y administrativa para el desarrollo de especialistas en sus diferentes niveles, en el sector aeroespacial*”; así como al mapa de ruta establecido por el clúster aeroespacial de Baja California para el 2025 [27] en el “*Diagnóstico de necesidades de capacitación*” y “*Benchmarking regional e internacional sobre las capacidades del sector*”.

## **1.6 Preguntas de Investigación**

El Proyecto busca responder las siguientes preguntas:

1. ¿Cuáles son los factores críticos de éxito involucrados en la implementación de *Lean Six Sigma* en la industria aeroespacial?
2. ¿Cuáles son las herramientas pertenecientes a la metodología *Lean Six Sigma* que más se utilizan en la Industria Aeroespacial de Baja California?
3. ¿Qué beneficios han obtenido las empresas aeroespaciales de Baja California tras implementar *Lean Six Sigma* en la gestión de sus procesos de manufactura?
4. ¿Es posible determinar factores, herramientas y beneficios al implementar *Lean Six Sigma* en un caso de estudio?

## **1.7 Objetivos**

### **1.7.1 General**

El objetivo general es estudiar los factores críticos de éxito (FCE), las herramientas y los beneficios al implementar *Lean Six Sigma* en la Industria Aeroespacial de Baja California.

### **1.7.2 Específicos**

Los objetivos específicos de la investigación son los siguientes:

1. Determinar los factores críticos de éxito, las herramientas y los beneficios que se han registrado durante implementación de *Lean Six Sigma* en la Industria Aeroespacial.
2. Diseñar y validar un instrumento de recolección de datos que permita caracterizar la implementación de LSS en la IA de BC.
3. Realizar un Caso de Estudio que aplique herramientas de la metodología LSS en un proceso industrial de una empresa aeroespacial de BC.

## 1.8 Hipótesis

H<sub>1</sub>: Los factores Entorno Cultural, Resistencia al Cambio, Sentido de Pertenencia, Compromiso de la Gerencia, Comunicación, Clima de Aprendizaje Organizacional y formación de Equipos de Alto Rendimiento están involucrados durante la implementación de *Lean Six Sigma*.

H<sub>2</sub>: Es posible caracterizar la implementación de *Lean Six Sigma* en la Industria Aeroespacial de Baja California a través de un Instrumento de recolección de datos confiable.

H<sub>3</sub>: Los factores (FCE), herramientas y beneficios registrados durante la implementación del Caso de Estudio son concordantes con lo encontrado a nivel mundial.

## 1.9 Limitaciones

El proyecto se vio limitado por el tiempo disponible para aplicar la encuesta a partir de que se finalizó el diseño y la validación de contenido. Otra limitación fue el método de acercamiento a las empresas aeroespaciales del estado. El contacto se realizó por medio de correos electrónico y a través de diferentes plataformas como LinkedIn, Skype, Facebook o desde las páginas web de las empresas. Esto ocasionó que fuera más tardado lograr contactar a los departamentos o directivos de las empresas con la capacidad de decidir la participación en el proyecto.

Es importante mencionar que, aunque en un principio fue difícil establecer contacto con cada una de las empresas participantes debido a las políticas de seguridad y confidencialidad de éstas, una vez que presentamos el proyecto, todas las empresas contactadas accedieron a participar en él; se consideró que la relevancia y pertinencia del proyecto sumaba a sus objetivos futuros.

## 2. Metodología

El presente estudio se enmarca en los siguientes tipos de investigación: Bibliográfica, Descriptiva y de Campo (ver figura 4).

- **Bibliográfica:** constituye la primera etapa de esta investigación; la revisión de literatura se secciona en transferencia intersectorial, casos de estudio en las áreas de manufactura, MRO, I&D, cadena de suministro y servicios; así como investigaciones en el sector educativo. El compendio de artículos, tesis y libros consultados proporcionan los cimientos de esta investigación y permiten conocer lo que la IA sabe y ha experimentado respecto a LSS y las áreas de oportunidad que deben ser cubiertas; este análisis bibliográfico permite establecer las hipótesis y diseñar del instrumento de medición propuesto.
- **Descriptiva:** el instrumento de recolección de datos permite describir la implementación de LSS de una empresa aeroespacial y su relación con características demográficas, normatividad, certificaciones, entre otros.
- **Campo:** a través del caso de estudio se analiza la implementación de LSS en un proyecto de mejora continua, en un contexto real y actual. Durante el desarrollo del experimento se observarán los FCE que surjan, y se entrevistará al personal (en todos sus niveles) respecto a: 1) la adopción de LSS; 2) todas las herramientas utilizadas y cómo las adecúan; 3) cómo capacitan al personal, entre otros.

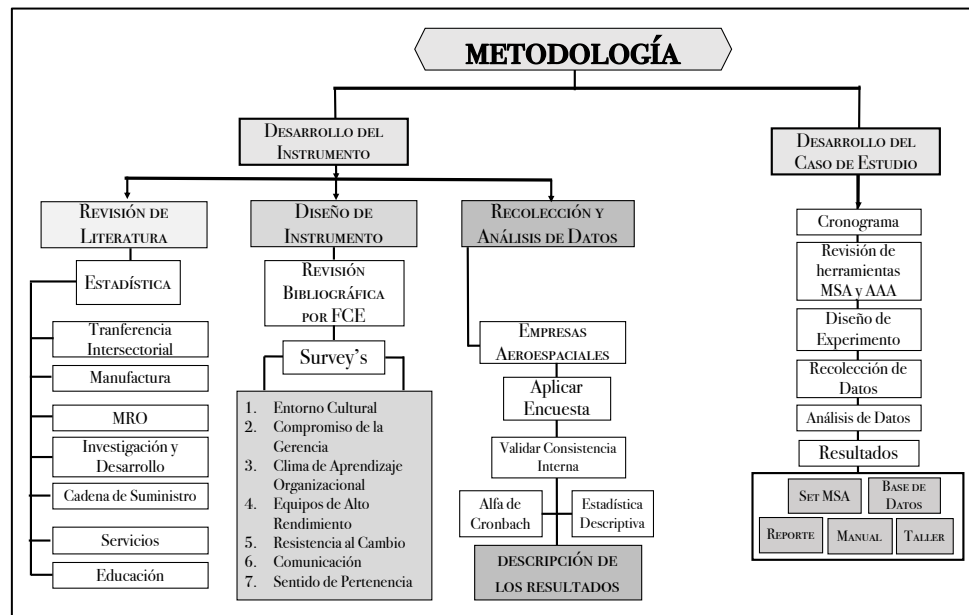


Figura 4: Metodología para cada apartado de el proyecto LSS en la Industria Aeroespacial de Baja California.

## **2.1 Revisión de Literatura**

Respecto a la implementación de LSS en el sector aeroespacial se revisarán artículos, tesis y libros p desde el año 2000 hasta la fecha, se tomarán en cuenta sólo aquellas fuentes que abordan el SA y LSS como tema central (análisis, casos de estudios, encuestas, etc.) debido a que hay literatura que menciona este tema superficialmente, esto ocasiona que se descarten varias fuentes y limita la bibliografía disponible.

La bibliografía referente al instrumento se consulta con otras consideraciones. Debido a que los FCE no son propios del SA y ha que hay expertos estudiando estos temas desde hace décadas, se tomarán en cuenta todas las fuentes citadas recurrentemente en sus respectivas áreas.

## **2.2 Instrumento**

Diseño de instrumento con base en la revisión bibliográfica; el contenido se aprueba por un grupo de expertos en el tema utilizando el Método de Delphi y la confiabilidad se valida estadísticamente mediante el método Alfa de Cronbach haciendo uso del programa estadístico SPSS. El instrumento tendrá la siguiente estructura:

- I. Los Factores Críticos de Éxito que experimentan las empresas.
- II. Certificación y Capacitación en LSS.
- III. Uso y Dominio de Herramientas de LSS.
- IV. Certificación y Normatividad del SA.
- V. Resultados positivos de la implementación de LSS.

Las etapas de este apartado se describen a más detalle en el capítulo tres, el cual describe todo el desarrollo del instrumento.

## **2.3 Recolección de datos**

Se acude a empresas aeroespaciales de BC para la aplicación del instrumento y para la observación de casos reales; el acercamiento se realiza directamente con cada empresa por medio de contactos previos o a través de diferentes plataformas cibernéticas. Las etapas de este apartado se describen a más detalle en el capítulo tres, el cual describe todo el desarrollo del instrumento.

## **2.4 Análisis de datos**

Los datos recolectados por el instrumento se analizan por medio de herramientas y programas estadísticos como Excel y Minitab para llevar a cabo la descripción de la implementación de LSS en la IA de BC. Se examina (de alcanzar la muestra) la correlación de los FCE medidos en el instrumento, por medio del método Factor-Análisis y del programa SPSS.

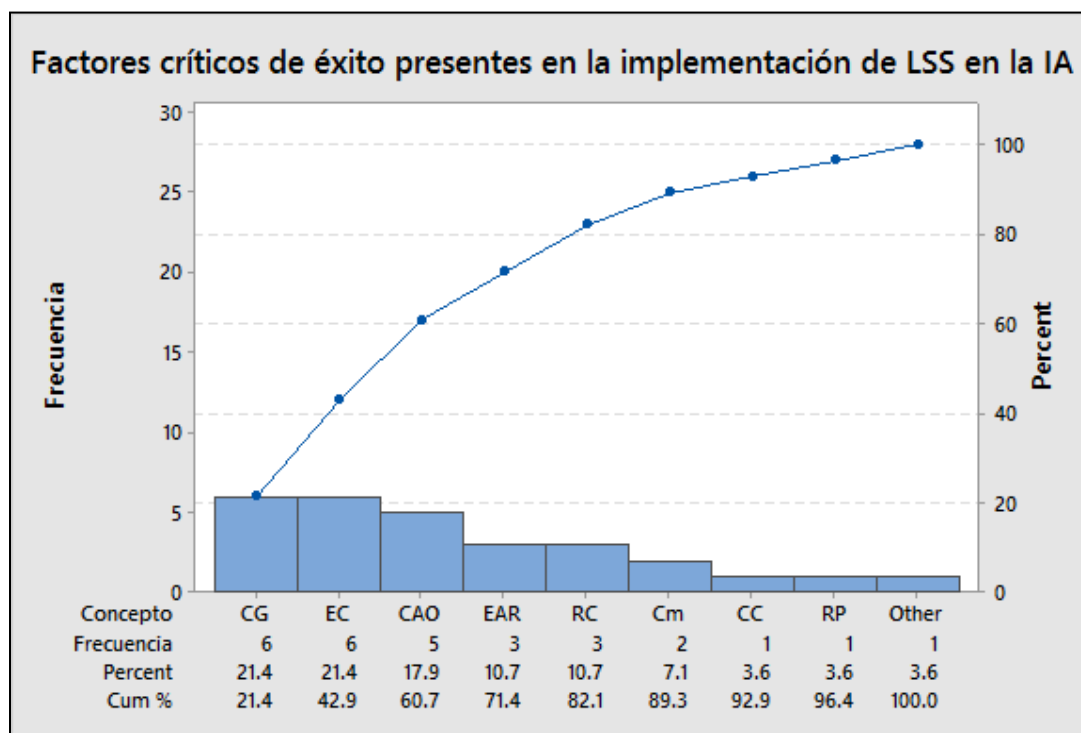
## **2.5 Caso de Estudio**

Se realiza un Análisis de Acuerdo por Atributos (AAA) al proceso de Pruebas No Destructivas (NDT) de una empresa que se dedica al maquinado de metales para aviones comerciales. Se diseña el experimento de acuerdo con los criterios de confiabilidad para el Análisis del Sistema de Medición (MSA). Se recolectan los datos en relación con el diseño del experimento y al cronograma de actividades. Los resultados se analizan con Minitab y Excel. Se entrega a la gerencia un reporte detallado del estado del proceso, las causas que ocasionan áreas de oportunidad, recomendaciones de mejora, manual de MSA por AAA, taller de capacitación sobre la aplicación del AAA y el análisis de resultados en Minitab, base de datos de Excel para manipular futuros experimentos en el departamento de NDT y set de piezas para realizar AAA los próximos dos años. Las etapas de este apartado se describen a más detalle en el capítulo cuatro, el cual describe todo el desarrollo del caso de estudio.

### 3. Instrumento de Recolección de Datos

#### 3.1 Análisis bibliográfico para diseño del instrumento propuesto

Para diseñar este instrumento y determinar su contenido, se realizó una revisión bibliográfica sobre la implementación de LSS en la IA la cual se clasificó como se muestra en las tablas 1 a la 4. Varios autores mencionan que hay factores externos a las metodologías que influyen de manera directa en el éxito de la adopción y/o implementación de LSS, mejor conocidos como Factores Críticos de Éxito (FCE). La gráfica 1 es un Pareto que muestra los factores detectados en el estado del arte de esta investigación, de los cuales se seleccionaron los 7 principales para incluirlos al instrumento de medición propuesto.



Gráfica 3: Factores encontrados en la revisión bibliográfica (últimos 15 años): EC-entorno cultural, CG-compromiso de la gerencia, CAO-clima de aprendizaje organizacional, EAR-equipos de alto rendimiento, RC-resistencia al cambio, Cm-comunicación y SP-sentido de pertenencia, RP-rotación de personal y CC-cultura de calidad. Fuente: Elaboración propia.

Además, se obtuvo el compendio de herramientas de LSS citado en la bibliografía, las cuales se muestra en la tabla 6. Es importante mencionar que estas herramientas son las que se mencionan específicamente en algunos artículos; sin embargo, la mayoría de los artículos mencionan de forma general que se utilizaron herramientas de LM y SS, sin especificar cuáles de ellas.

*Tabla 6: Herramientas de LSS utilizadas en la IA.*

Herramientas de LSS
Flujo continuo por pieza
5s
Kaizen
DMAIC
Flexibilidad en estación de trabajo
3C
Jidoka
Kanban
TPM

Por último, se identificaron los beneficios que han obtenido las empresas aeroespaciales de otros países al implementar LSS, los cuales se muestran a continuación por orden de relevancia:

1. Incrementar Competitividad (del producto o de la empresa).
2. Optimización de procesos.
3. Incrementar la calidad.
4. Reducir tiempos de entrega.
5. Reducir lotes y colas.
6. Reducir cuellos de botella.
7. Satisfacción del cliente.

### **3.2 Factores Críticos de Éxito**

Los factores críticos de éxito (FCE) son aquellos elementos o circunstancias que contribuyen a producir un resultado, en este caso, aquellos que incrementan o impiden el desempeño exitoso de LSS. Estos factores son cualitativos y no es posible medirlos directamente, sin embargo, es posible hacerlo por medio de indicadores a través de preguntas (llamados también ítems); estas preguntas miden de forma indirecta los FCE, las cuales se seleccionaron de un compendio de artículos especializados sobre cada factor, psicología y el estudio y exploración de LSS en diferentes sectores. Los factores que se miden son los siguientes:

- Entorno cultural.
- Resistencia al cambio.
- Comunicación.
- Sentido de pertenencia.
- Clima de aprendizaje organizacional.
- Compromiso de la gerencia.
- Equipos de alto rendimiento (Opcional: sólo si la empresa crea equipos de mejora continua para resolver problemas relacionados a los procesos de manufactura).

Las tablas 7 a la 13 muestran detalladamente como se conforma cada FCE en el instrumento. Estas tablas describen los que se conoce como constructo de un factor y muestra la definición de este, la importancia de medirlo en una organización, los indicadores que lo miden y los ítems (preguntas) relacionados a cada indicador. Los siguientes ítems se midieron por medio de una escala de Likert de 5 puntos:

1. Totalmente en desacuerdo.
2. Parcialmente en desacuerdo.
3. Indeciso (No puede indicar ni acuerdo ni desacuerdo de forma precisa).
4. Parcialmente de acuerdo.
5. Totalmente de acuerdo.

Tabla 7: Factor Entorno Cultural.

ENTORNO CULTURAL (EC)	Descripción	Indicador	Ítem	Traducción y Adaptación	Autor
	<p><b>Definición</b> La programación mental colectiva que distingue a los miembros de un grupo humano de otro. En términos más precisos: la manera tradicional de hacer las cosas en una sociedad determinada [29].</p>	Distancia al poder	People in higher positions should make most decisions without consulting people in lower positions.	La gente en los puestos más altos debería tomar la mayoría de las decisiones sin consultar a las personas que tienen puestos más bajos.	[28]
		People in lower positions should not disagree with decisions by people in higher positions.	Los empleados en puestos inferiores no deben estar en desacuerdo con las decisiones que toman las personas en puesto más altos.		
	Evasión de incertidumbre	It is important to have instructions spelled out in detail so that I always know what I'm expected to do.	Es importante tener instrucciones de mis tareas explicadas en detalle de manera que yo siempre sé lo que esperan que haga.	Fuente: Elaboración Propia	
<p><b>Importancia</b> El análisis de entorno es importante porque dos empresas difícilmente tendrán una organización y gestión de la producción igual o muy parecida si sus países respectivos presentan diferentes características sociales o culturales. La manera de ser tanto de directivos como de operarios viene condicionada por su país de origen [30].</p>	Individualismo	Individuals should sacrifice self-interest for the group.	Yo debería sacrificar mis propios intereses y anteponer los intereses de la empresa.	[28]	
	Vs. Colectivismo	Group welfare is more important than individual rewards.	El bienestar de la empresa es más importante que las recompensas individuales que yo pueda obtener.		
	Masculinidad-Feminidad	There are some jobs that a man can always do better than a woman.	Hay algunos trabajos que un hombre siempre puede hacer mejor que una mujer.		
	Orientación a largo plazo	Working hard for success in the future.	Yo trabajo arduamente cada día esperando tener éxito en el futuro dentro de esta organización.		

Tabla 8: Factor Resistencia al Cambio.

RESISTENCIA AL CAMBIO (RC)	Descripción	Indicador	Ítem	Traducción y Adaptación	Autor
	<p><b>Definición</b>                      Aquellas fuerzas restrictivas que obstaculizan un cambio. La resistencia al cambio proviene del miedo a lo desconocido o por la expectativa de pérdida de los beneficios actuales [31].</p>	Affective how one feels about the change	I was quite excited about the change.	Yo estaba muy entusiasmado con el cambio.	[33]
			I was stressed by the change	Estaba estresado por el cambio.	
		Behavioral what one thinks about the change	I believed that the change would make my job harder.	Yo creía que el cambio haría mi trabajo más difícil.	
			I believed that I could personally benefit from the change.	Yo creía que podía beneficiarme personalmente del cambio.	
		Cognitive actions or intention to act in response to the change	I looked for ways to prevent the change from taking place.	Busqué formas para evitar que el cambio se llevara a cabo.	
	<p><b>Importancia</b>                      Puede ser abierta: se manifiesta en huelgas, menor productividad, trabajo defectuoso o incluso sabotaje                      Puede ser encubierta: demoras, ausentismos mayores, solicitudes de traslado, renuncias, pérdida de la motivación, moral más baja y tasas más altas de accidentes o errores [32].</p>	Dispositional resistance to change	I'd rather do the things I'm used to than try out new and different things.	Yo prefiero hacer las cosas que estoy acostumbrado a hacer, que probar cosas nuevas y diferentes.	[34]
		Trust in management	I believed that if management is suggesting this change, they are well informed and have good reasons for it.	Yo creía que si la administración está sugiriendo este cambio, ellos están bien informados y tienen buenas razones para implementarlo.	[35]
		Information about the change	The information I have received about the changes has been timely.	La información que he recibido acerca de los cambios ha sido a tiempo (antes de implementar el cambio).	[36]
		Job-satisfaction	All in all, I am satisfied with my job.	En general, estoy satisfecho con mi trabajo.	[37]
Intention to quit		I will probably look for a new job within the next year.	Probablemente voy a buscar un nuevo trabajo en el próximo año.		
Continuance commitment	Too much of my life would be disrupted if I decided I wanted to leave my organization now.	Gran parte de mi vida se vería afectada si decidiera que quiero dejar a mi organización ahora.	[38]		

Tabla 9: Factor Comunicación.

COMUNICACIÓN (Cm)	Descripción	Indicador	Ítem	Traducción y Adaptación	Autor
	<b>Definición</b> Transmisión de información mediante un código común al emisor y al receptor [Real Academia de la Lengua Española].	Percepción de la comunicación jefe/trabajadores, en términos de la empatía y apertura que percibe el subordinado de parte del superior.	Su jefe le da confianza para que usted le informe sobre los asuntos que no funcionan en su trabajo.	[40]	
			Se siente en libertad de decirle a su jefe que no está de acuerdo con él.		
	<b>Importancia</b> La comunicación es un factor de poder en las organizaciones por que hace posible la cohesión e identidad de sus miembros, constituye a su vez, la identificación, selección y combinación de los medios eficaces para el logro de los objetivos que se propone, genera la coordinación de las acciones que se requieren para la realización de estos objetivos [39].	Percepción de la confiabilidad de la información recibida desde los compañeros de trabajo.	Está satisfecho con las explicaciones recibidas de la gerencia acerca de por qué las cosas se están haciendo de la manera que se están haciendo.		
En el interior de su grupo de trabajo existe confianza y apoyo mutuo.					
	Percepción de la calidad y exactitud de la comunicación descendente (del jefe a los trabajadores).	Las labores que usted debe desempeñar en su trabajo están especificadas en un lenguaje claro.			

Tabla 10: Factor Sentido de Pertenencia.

SENTIDO DE PERTENENCIA (SP)	Descripción	Indicador	Ítem	Traducción y Adaptación	Autor
	<b>Definición</b> La aptitud de considerarse y de sentirse integrante de un grupo; en las organizaciones, también se puede identificar el sentido de pertenencia como la relación empresa-empleado. Esta relación se orienta hacia la realización de los objetivos individuales y organizacionales. Cuando estos dos objetivos convergen (empresa-empleado), se satisfacen mutuamente y existe responsabilidad social por parte de la organización, la cual produce bienestar en los trabajadores, generando así sentido de pertenencia a la empresa [41].	Compromiso	Considero que debo dar lo mejor de mí a la empresa por la oportunidad de trabajar en ella.	[43]	
		Motivación	Disfruto de la jornada de trabajo y no siento pesado el paso del tiempo.		
	<b>Importancia</b> El SP en la organización es el motor que impulsa al trabajador a hacer algo, aplicar lo que sabe y mejorarlo, comprometerse poco a poco y superarse. El compromiso es confianza en si mismo, con los demás y con la organización [42].	Identificación	Cuando escucho a desconocidos hablar bien de la empresa me siento orgulloso.		
Si pudiera traería a mis familiares o amigos a trabajar para esta empresa.					
	Autoestima	Puedo ser un factor diferenciador dentro de la empresa.	[44]		

Tabla 11: Factor Formación de Equipos de Alto Rendimiento.

	Descripción	Indicador	Ítem	Traducción y Adaptación	Autor
EQUIPOS DE ALTO RENDIMIENTO (EAR)	<p><b>Definición</b></p> <p>Los EAR son equipos del siguiente nivel en donde los miembros deben responsabilizarse de las decisiones y resultados, éstos deben aprender a liberar y centrar su conocimiento, experiencia y motivación utilizando tres habilidades: compartir información, definir límites claros y poseer conocimientos auto gestionados para tomar decisiones [56].</p>	Real Team: Bounded	Anyone who knows this team could accurately name all its members.	Cualquiera que conozca el equipo de mejora continua podría nombrar con precisión a todos sus miembros.	[58]
	Real Team: Stable	Different people are constantly joining and leaving this team.	Diferentes personas están constantemente uniéndose y dejando el equipo de mejora continua		
	Real Team: Interdependent	Members of this team have to depend heavily on one another to get the team's work done.	Los miembros del equipo dependen mucho unos de otros para conseguir que el trabajo del equipo se haga.		
	Compelling Directions: Ends & Means	The purposes of our team are specified by others, but the means and procedures we use to accomplish them are left to us.	Los propósitos del equipo de mejora continua son especificados por otros, pero los medios y procedimientos para lograrlos los decide el equipo.		
	<p><b>Importancia</b></p> <p>Los EAR Six Sigma definen el alcance del problema, analizan todas las partes del proceso, se imponen objetivos y proponen mejoras concretas y de corto alcance con el correspondiente análisis coste-beneficio [57].</p>	Both the purposes of our team and the means or procedures we are supposed to use in our work are specified in detail by others.	Tanto los objetivos de nuestro equipo y los medios o procedimientos que se supone que debemos utilizar en nuestro trabajo se especifican en detalle por otros.		
		Team Composition: Size	This team is just the right size to accomplish its purposes.	El equipo tiene el tamaño adecuado para lograr sus propósitos.	
		Team Composition: Diversity	This team has a nearly ideal "mix" of members—a diverse set of people who bring different perspectives and experiences to the work.	El equipo tiene una "mezcla" casi ideal de miembros, un grupo diverso de personas que aportan diferentes perspectivas y experiencias al equipo.	
		Team Composition: Skills	Everyone in this team has the special skills that are needed for team work.	Todos en este equipo tienen las habilidades especiales que se necesitan para el trabajo del equipo.	

Tabla 12: Factor Clima de Aprendizaje Organizacional.

	Descripción	Indicador	Ítem	Traducción y Adaptación	Autor
CLIMA DE APRENDIZAJE ORGANIZACIONAL (CAO)	<p><b>Definición</b></p> <p>El aprendizaje organizacional es un proceso complejo que se refiere al desarrollo de nuevos conocimientos y tiene el potencial de cambiar el comportamiento de los miembros de una organización [45].</p>	Adquisición de la información	Our competitors are an extremely important source for learning new methods and services.	Nuestros competidores son una fuente muy importante para el aprendizaje de nuevos métodos y servicios	[47]
			Expertise on the industry, products, and services is an extremely important criterion for hiring a new employee.	Experiencia en la industria, productos y servicios es un criterio muy importante para la contratación de un nuevo empleado	
			Our organization has employees whose job is related to searching for external information.	Nuestra organización tiene empleados cuyo trabajo se relaciona con la búsqueda de información externa	
	<p><b>Importancia</b></p> <p>Las empresas que han desarrollado una fuerte cultura de aprendizaje son buenas en la creación, adquisición y transferencia de conocimientos, así como en modificar el comportamiento de los empleados para reflejar nuevos conocimientos y visión en los mismos [46].</p>	Interpretación de la información	The more information the subordinate has the better he/she will perform.	Cuanta más información tenga el subordinado, él / ella realizará mejor su trabajo	
		Apertura y Experimentación	This firm promotes experimentation and innovation as a way of improving the work processes.	Esta firma promueve la experimentación y la innovación como una forma de la mejora de los procesos de trabajo.	
		Transferencia de conocimiento y la integración	Errors and failures are always discussed and analyzed in this firm, on all levels.	Los errores y los fracasos siempre son discutidos y analizados en esta empresa, en todos los departamentos y niveles.	[48]
In this firm, teamwork is not the usual way to work.			En esta empresa, el trabajo en equipo no es la forma habitual de trabajar.		

Tabla 13: Factor Compromiso de la Gerencia.

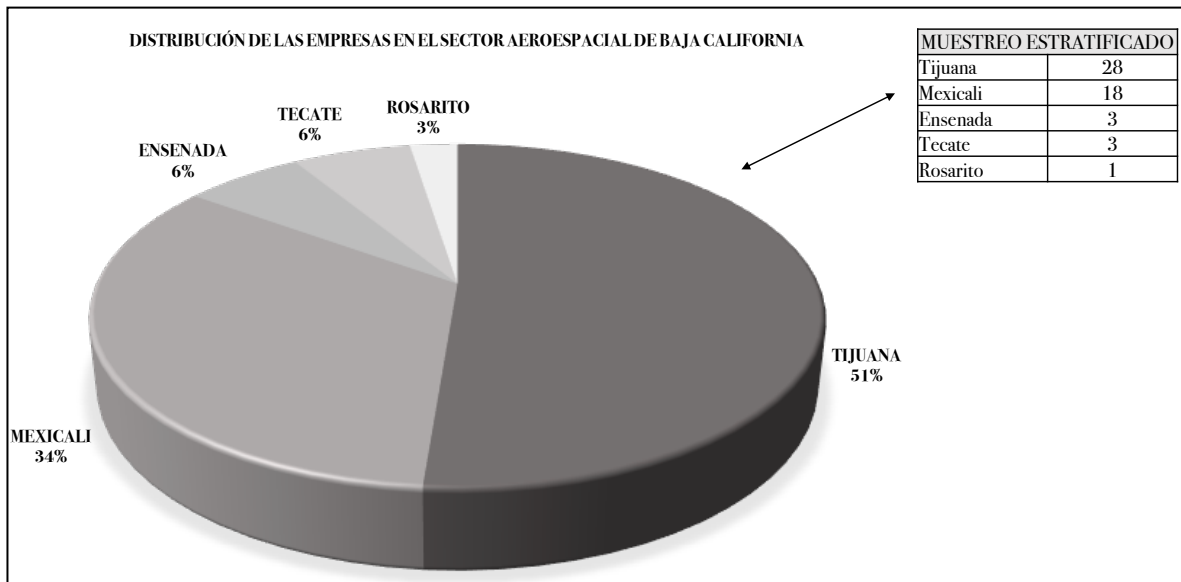
COMPROMISO DE LA GERENCIA (CG)	Descripción	Indicador	Ítem	Traducción y Adaptación	Autor
	<b>Definición</b> La alta gerencia está compuesta por una cantidad de personas comparativamente pequeña y es la responsable de administrar toda la organización. Estas personas reciben el nombre de ejecutivos. Establecen las políticas de las operaciones y dirigen la interacción de la organización con su entorno. Algunos cargos típicos de la alta gerencia son gerente general, “director general ejecutivo”, director y subdirector [59]	Entrenamiento	Employee learning is considered more of an expense than an investment.	El aprendizaje de los empleados se considera más un gasto que una inversión.	[61]
		Compromiso	Top-level managers view quality as being more important than meeting production schedules.	La alta gerencia ve la calidad como algo más importante que cumplir con la producción programada.	[62]
		Participación	Most employee suggestions are evaluated.	La mayoría de las sugerencias de los empleados son evaluadas.	
	<b>Importancia</b> La gerencia asume un carácter vital, de máxima responsabilidad, para iniciar, apoyar y mantener hasta su conclusión, cualquier programa de mejoramiento y desarrollo en su organización [60].	Empoderamiento de los empleados	Our line workers inspect the quality of their own work; inspection is not the responsibility of an inspector.	Nuestros trabajadores de línea inspeccionan la calidad de su propio trabajo, la calidad no es responsabilidad de un inspector.	[63]
		Liderazgo	My manager provides a good model to follow.	Los altos directivos son un modelo que seguir.	
My manager paints an interesting picture of the future for us.	Los altos directivos muestran una vista interesante del futuro que nos espera.				

### 3.3 Encuesta Aplicada en la Industria Aeroespacial de Baja California

El diseño final del instrumento que se aplicó a la industria aeroespacial de Baja California se muestra en el apéndice sección 1, y es el resultado de la validación de contenido a través del Método Delphi y la validación de la confiabilidad interna por medio del coeficiente Alfa de Cronbach. Esta última se realizó con una muestra de n=49 respuestas, de acuerdo con los requerimientos establecidos en el diseño del muestreo respecto al “Elemento” de estudio.

### **3.4 Diseño del Muestreo para el Estudio de Lean Six Sigma en la Industria Aeroespacial de Baja California**

1. Universo: 80 empresas aeroespaciales del estado de Baja California dedicadas a la manufactura, diseño y mantenimiento de productos.
2. Población: 62 empresas aeroespaciales dedicadas a la manufactura de productos (ver gráfica 2).
3. Unidad de muestreo: Empresa Industrial del Sector Aeroespacial de Baja California.
4. Muestra: 53 Empresas de manufactura; para una distribución normalizada con  $z= 1.96$ ; porcentaje de error del 5%; porcentaje de confiabilidad del 95%; porcentaje de aceptación del 50%; porcentaje de rechazo del 50% y  $N= 62$ .
5. Tipo de muestreo: Probabilístico; muestreo estratificado del estado por porcentaje de participación en cantidad de empresas por municipio y muestreo aleatorio simple (o aquellas empresas disponibles hasta que se complete la muestra estratificada) en cada municipio como se muestra en la gráfica 4.
6. Elemento: Empresa aeroespacial (el instrumento se aplicará a los altos y medios mandos que están familiarizados con la metodología LSS).
7. Marco Muestral: Directorio del clúster aeroespacial de Baja California; acercamiento directo con cada empresa del estado; también se buscará el acercamiento a través del clúster por medio de los presidentes y delegados en los diferentes municipios. Estas dos vías pretenden incrementar la tasa de respuesta.



*Gráfica 4: Muestreo estratificado del estado de Baja California. Se estudiarán 27 empresas en Tijuana equivalentes al 51% del total de la muestra, y a su vez, equivalentes al porcentaje de empresas aeroespaciales que hay en Tijuana tomando en cuenta la población total de la LA del estado; se usó el mismo criterio para los demás municipios. Posteriormente, las empresas en cada municipio se seleccionarán de manera aleatoria.*

*Diseño realizado a partir de las fuentes bibliográficas 26 y 27.*

### **3.5 Validación de Contenido del Instrumento**

La validez de contenido es el grado en el que se incluyen todos los elementos representativos de lo que se pretende medir [64]. Existen diversos métodos para determinar si un estudio o un cuestionario tienen alta validez de contenido; aunque hay varios procedimientos para valorar la validez de contenido de un cuestionario, como la aplicación de técnicas de escalamiento multidimensional, análisis clúster [65 - 66], análisis factorial [67], modelos de ecuaciones estructurales [68], etc.; el procedimiento más habitual se basa en el trabajo con jueces expertos en el tema que se pretende estudiar [69].

#### **3.5.1 Marco Teórico del Método de Delphi**

La metodología Delphi es una técnica enmarcada dentro de los métodos de expertos que se utiliza para obtener la opinión más consensuada posible de un grupo de personas, consideradas expertos, en relación con un determinado objetivo de investigación [70]. Se trata de uno de los métodos de expertos más conocidos y contrastados [71] que ha demostrado una gran eficacia siempre que se ha

utilizado [72 – 73]. Su origen surge en 1950 cuando la Rand Corporation realizó un estudio para la fuerza aérea de EE.UU. que llamó "Proyecto Delphi". De ahí derivó la metodología su nombre. El objetivo del estudio fue obtener el mayor consenso posible de un grupo de expertos sobre una serie de cuestiones presentadas a través de cuestionarios intensivos, a los cuales se les intercalaba una retroalimentación controlada [64]. La siguiente tabla muestra las características de la Metodología Delphi.

*Tabla 14: Características Principales del Método Delphi según Landeta en 1999 [71].*

---

### **Anonimato**

---

*Durante un Delphi, cada experto desconoce la identidad de los demás integrantes del panel. Esto tiene una serie de aspectos positivos:*

- *Impide la posibilidad de que un miembro del grupo sea influenciado por la reputación de otro de los miembros o por el peso que supone oponerse a la mayoría. La única influencia posible es la de la congruencia de los argumentos.*
- *Permite que un miembro pueda cambiar sus opiniones sin que eso suponga una pérdida de imagen.*
- *El experto puede defender sus argumentos con la tranquilidad que da saber que en caso de que sean erróneos, su equivocación no va a ser conocida por los otros expertos.*

---

### **Iteración y Retroalimentación Controlada**

---

*La iteración se consigue al presentar varias veces el mismo cuestionario. Tanto las posturas minoritarias como las mayoritarias tienen presencia en los resultados finales.*

---

### **Heterogeneidad**

---

*Pueden participar expertos de diferentes ramas de actividad sobre las mismas bases o "reglas del juego".*

---

### **3.5.2 Expertos Participantes en la Validación de Contenido**

La selección de los expertos fue principalmente de acuerdo con sus disponibilidad y afinidad por participar en el proyecto. Posteriormente se tomaron en cuenta factores como formación

académica (mínimo maestría), experiencia (ligada al proyecto), años de experiencia (mínimo 5) y participación previa en validación de instrumentos en temas afines. El medio de contacto para todo el proceso de validación fue a distancia, vía correo electrónico. La siguiente tabla describe las características de los expertos que conforman el grupo de validación.

*Tabla 15: Características del grupo de expertos que validó el instrumento a través del Método Delphi.*

Expertos que participaron en la Validación del Instrumento "Lean Six Sigma en la Industria Aeroespacial de Baja California"					
Formación Académica	Trabajo Actual Lugar	Puesto	Líneas de Investigación	Años Experiencia Líneas de Investigación	Participación Validando Instrumentos Seis Sigma / Lean Manufacturing
PhD	Brazil (UFSC)	Professor	Lean Manufacturing	5	6
			Quality Management	4	
			New Product Development	10	
Doctorado	UABC	Profesor Investigador	Gestión de Procesos, Productos y Cadena de Suministros	12	10
			Sistemas Integrales de Gestión	12	
			Diseño de Sistemas y Optimización	6	
Doctorado	UABC	Profesor Investigador	Modelación de Ecuaciones Estructurales	4	10
			Diseño de Experimentos	11	
			Calidad y Estadística Aplicada	11	
Doctorado	UABC	Profesor Investigador	Manufactura Esbelta	12	14
			Confiabilidad	4	
			Modelación de Ecuaciones Estructurales	3	
Maestría	Baja California Aerospace Cluster	Director in Aeronautical Regulatory & Certification Commission	Normatividad Aeroespacial	11	3
			Certificación Aeroespacial	11	
			Asuntos Gubernamentales del Sector Aeroespacial	16	
Master	Lean Six Sigma Institute	Principal	Six Sigma	11	6
			Lean Manufacturing	9	
			Project Management Professionals	9	

### 3.5.3 Procedimiento de la Validación de Contenido a través del Método Delphi

A los expertos se les facilitó una lista de 54 ítems, la cual fue diseñada de acuerdo con una compilación de estudios anteriores [28 – 63], así como las secciones complementarias del instrumento. El cuestionario quedó constituido por 4 secciones:

1. Características de la empresa.
2. Normatividad aeroespacial (opcional: el individuo decide si desea responder esta sección).
3. Lean Six Sigma (herramientas, beneficios y preguntas relevantes).
4. Constructos de los FCE (49 ítems de los cuales 8 son opcionales).

La siguiente tabla muestra el procedimiento de la validación del instrumento en sus diferentes pasos.

*Tabla 16: Procedimiento de Trabajo Implementado para gestionar la Metodología Delphi.*

---

#### **Paso I**

---

*Se envía a cada colaborador una lista inicial de ítems tomados de algunos estudios previos realizados en otros países y algunos ítems que se han considerado no estaban reflejados en dichos estudios que podrían tener influencia en la decisión del encuestado. Asimismo, se envía las secciones 1, 2 y 3 del instrumento para que el experto considere el contenido total del instrumento y el tiempo de duración del instrumento.*

---

#### **Paso II**

---

*Cada experto de manera independiente añade, elimina o modifica los ítems que considere oportuno. En caso de que crea que alguno de los ítems iniciales sea repetitivo o simplemente no influya en la decisión del encuestado, debe justificar brevemente el porqué de la exclusión.*

---

#### **Paso III**

---

*Cuando cada uno de los colaboradores envía sus opiniones, se recopila la información, componiéndose una nueva lista con todos aquellos ítems nuevos, modificados y aceptados.*

---

#### **Paso IV**

---

*El proceso se repite (paso I, II y III) durante el tiempo que requiera llegar a un consenso en el grupo de trabajo (cada repetición se considera una fase)*

---

Se realizaron dos vueltas adicionales a la revisión del instrumento en su forma original; en dichas revisiones se concluyó en reducir el conjunto de ítems de 45 a 41, ya que se consideró que los ítems excluidos no eran relevantes para la investigación o estaban repetidos. Posteriormente se recomendó agregar preguntas al instrumento en la sección 1 sobre certificaciones International Organization for Standardization (ISO) y sus variantes del SA y en la sección 3 sobre la implementación de LSS en los procesos principales de la empresa. Por último, se indicó agregar la sección 2 de Normatividad aeroespacial.

### **3.6 Validación Estadística del Instrumento Diseñado**

Una forma de medir factores cualitativos es a través de ítems (preguntas), los cuales miden de forma indirecta la presencia de dicho factor. Es decir, para saber si un empleado de transporte sufre de estrés laboral, éste se puede medir a través varios indicadores, uno de ellos es el “*agotamiento emocional*”. El experimentador determina que el tráfico vial que se origina en la zona geográfica designada al empleado puede ser un causante de agotamiento emocional. Por ejemplo, se considera que el tráfico debido a la espera para cruzar la frontera entre México y EE.UU puede incrementar este indicador, de manera que se utiliza el ítem “*me molesta manejar en rutas cercanas a línea fronteriza de México y EE.UU*”; es obvio que la aplicación de un instrumento con este tipo de preguntas tendrá resultados muy diferentes en las ciudades de Tijuana y Mexicali a si se aplica en ciudades como Guadalajara o Veracruz, es decir, existirá mucha variabilidad en las respuestas de las diferentes ciudades debido a que no todas las ciudades colindan con EE.UU.

Evidentemente, cuanto mayor sea la variabilidad, menor será la precisión de las conclusiones y generalizaciones derivadas de los resultados del mencionado instrumento. Surge entonces la necesidad de controlar la variabilidad de los puntajes en el proceso de construcción de instrumentos escritos [74]. Al respecto se requiere hablar del término confiabilidad, y se define como el grado en que un instrumento de varios ítems mide consistentemente una muestra de la población [75]. La consistencia se refiere al grado en que una medida está libre de errores. Los instrumentos que buscan medir un constructo pueden ser validados en forma indirecta basándose en la relación que muestren los ítems que componen la escala; es decir, presentan una excelente

consistencia interna o interrelación entre las preguntas o incisos que hacen parte de la escala. Esto es realizar una validación de un constructo sin un patrón de referencia [76].

El coeficiente alfa de Cronbach es una de las fórmulas propuestas para cuantificar la confiabilidad de un constructo, siendo además el recurso numérico más utilizado para evaluar la consistencia interna de un instrumento de recolección de datos [77].

### 3.6.1 Marco Teórico del Coeficiente Alfa de Cronbach

El coeficiente alfa fue descrito en 1951 por Lee J. Cronbach [78]. Este coeficiente es el promedio de las correlaciones entre los ítems que hacen parte de un instrumento [79]. También se puede concebir este coeficiente como la medida en la cual algún constructo, concepto o factor medido está presente en cada ítem; generalmente un grupo de ítems que explora un factor común muestra un elevado valor de alfa de Cronbach [80 – 81].

La elección del coeficiente alfa de Cronbach se debe a la practicidad de su uso, ya que requiere una sola administración de la prueba. Además, tiene la ventaja de corresponder a la media de todos los posibles resultados de la comparación que se hace en el proceso de dividir en mitades una escala [78 y 82].

La consistencia interna de una escala (alfa de Cronbach) se calcula partir de la varianza de cada ítem y la varianza total de la escala [83], como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\alpha = \frac{K}{K - 1} \left[ 1 - \frac{\sum V_i}{V_t} \right] \quad (1)$$

Dónde:

$\alpha$  es el coeficiente Alfa de Cronbach

$V_i$  es la varianza de cada ítem

$K$  es el número de ítems

$V_t$  Varianza del total

### 3.7 Diseño de Muestreo para la Validación Estadística del Instrumento

Para realizar este análisis se utilizó el muestreo discrecional, aplicando el concepto de bola de nieve, ya que para este caso sólo se buscaba validar la consistencia interna del instrumento y el único requisito era que los individuos pertenecientes al SA fueran medios y altos mandos con certificación o capacitación en LSS o con cargos relacionados a calidad y procesos de manufactura. Además, este método permite incluir a personas con las que ya se tenía un contacto a priori y admite que las mismas empresas agreguen individuos al estudio.

### 3.8 Resultados de la Validación Estadística del Instrumento Diseñado

#### 3.8.1 Coeficiente Alfa de cronbach considerando los seis constructos obligatorios

Por medios del Software SPSS de la compañía IBM se realizó el análisis general de los seis FCE obligatorios del instrumento (EC, RC, SP, CG, CAO, Cm) con una muestra de  $n=49$  y con los 41 ítems propuestos originalmente (2009 datos), el cual arroja un coeficiente Alfa de Cronbach de 0.812 como se muestra en la siguiente tabla:

*Tabla 17: Análisis general del coeficiente Alfa de Cronbach para los constructos de los seis FCE obligatorios en el instrumento “Lean Six Sigma en la Industria Aeroespacial de Baja California”, compuesto de 41 ítems;  $n=49$ .*

Estadísticas de fiabilidad (6 FCE/41 Ítems/ $n=49$ )		
Alfa de Cronbach	Alfa de Cronbach basada en elementos estandarizados	N de elementos ítems
<b>0.812</b>	<b>0.840</b>	<b>41</b>

Posteriormente se realizaron varios ciclos del cálculo del coeficiente, en los cuales se fue eliminando en cada nuevo ciclo el ítem que arrojaba el coeficiente más bajo procurando que el mínimo de ítems por constructo fuera cinco para garantizar la integridad del FCE y poder medir sus indicadores a través de la encuesta. Se hicieron 6 ciclos del cálculo de Alfa de Cronbach posteriores al análisis general original de 41 ítems. En estos 6 ciclos se eliminaron seis preguntas que tenían coeficientes negativos, y se observó que el coeficiente general del instrumento creció considerablemente después de descartar estos ítems.

Los elementos eliminados pertenecen a los diferentes constructos, así que, aunque la mayoría de los constructos sufrieron pérdidas, ninguno se vio afectado significativamente debido a que se propusieron más de 6 ítems por FCE desde la etapa del diseño, a manera de prevención. La tabla 18 muestra la información relevante de cada ciclo.

*Tabla 18: Proceso de eliminación de ítems de los seis FCE obligatorios con la finalidad de incrementar la confiabilidad del instrumento de recolección de datos.*

Estadísticas de fiabilidad (6 FCE/41 Ítems/n=49)			
No. de Ciclo	Alfa de Cronbach	Alfa de Cronbach basada en elementos estandarizados	N de elementos ítems
1	0.812	0.840	41
2	0.827	0.851	40
3	0.845	0.864	39
4	0.858	0.874	38
5	0.868	0.881	37
6	0.878	0.889	36
7	0.884	0.893	35

En este punto del análisis (ciclo 7), aún podían eliminarse 2 ítems más que arrojaban un coeficiente “bajo”. Sin embargo, eliminarlos no incrementaba significativamente el valor de Alfa de Cronbach y, afectaría la composición mínima de ítems en dos de los constructos. El Alfa de Cronbach de 0.884 se considera dentro del rango apropiado [76], la tabla 19 muestra este coeficiente con una configuración de 35 ítems.

*Tabla 19: Confiabilidad final del instrumento “Lean Six Sigma en la Industria Aeroespacial de Baja California”, de acuerdo con el coeficiente Alfa de Cronbach calculado, compuesto de 6 constructos, 35 ítems y n=49.*

Estadísticas de fiabilidad (6 FCE/35 Ítems/n=49)		
Alfa de Cronbach	Alfa de Cronbach basada en elementos estandarizados	N de elementos ítems
<b>0.884</b>	<b>0.893</b>	<b>35</b>

Los seis ítems eliminados corresponden a los constructos de EC, RC, CG y CAO como se muestra a continuación:

*Tabla 20: Ítems eliminados del instrumento debido a su correlación negativa en el análisis del coeficiente Alfa de Cronbach. Los ítems eliminados corresponden a los constructos de entorno cultural, resistencia al cambio, compromiso de la gerencia y clima de aprendizaje organizacional.*

Elementos eliminados del instrumento de recolección de datos	
Constructo (FCE)	Ítem
EC	A los empleados no les gusta realizar tareas que no son parte de su puesto de trabajo o que no está claramente incluidas en sus responsabilidades.
	Los empleados sacrifican su tiempo personal y anteponen el trabajo urgente de la empresa.
RC	Los empleados de esta organización prefieren hacer las cosas que están acostumbrados a hacer, que probar cosas nuevas y diferentes.
	Varios empleados atentaron con renunciar o renunciaron a raíz del cambio implementado en la empresa.
CG	Capacitar a los empleados se considera más un gasto que una inversión.
CAO	Nuestros competidores son una fuente muy importante para aprender nuevos métodos y servicios que ayuden a incrementar la competitividad de esta empresa.

Es importante resaltar que estas valoraciones del coeficiente se realizaron con 49 respuestas; el valor del Alfa de Cronbach se puede sobreestimar si no se considera el tamaño de la muestra: a mayor número de individuos que completen una escala, mayor es la varianza esperada [84]. Si se realiza este análisis con una muestra mayor a  $n=49$  estos valores cambiarán y quizá los ítems que requieran eliminarse también.

### **3.8.2 Coeficiente Alfa de Cronbach considerando seis constructos obligatorios y el constructo opcional de equipos de alto rendimiento (EAR)**

Se puede observar que hasta este momento no se han incluido los 8 ítems relacionados con EAR, como estos ítems eran opcionales, de las 49 respuestas capturadas, solamente 34 incluyen este constructo. Se realizó un segundo análisis que incluye estas respuestas (2281 datos). Para este caso, en el primer ciclo se analizaron los 49 ítems originales, posteriormente se utilizaron los 35 ítems seleccionados en la tabla 19 (seis FCE obligatorios) más los 8 originales del factor EAR (segundo ciclo). Finalmente, en un tercer ciclo se eliminaron 2 ítems del constructo EAR. La tabla 21 muestra los resultados de estos tres ciclos.

Tabla 21: Proceso de eliminación de ítems de los 7 FCE con la finalidad de incrementar la confiabilidad del instrumento de recolección de datos.

Estadísticas de fiabilidad (7 FCE/49 Ítems/n=49)			
No. de Ciclo	Alfa de Cronbach	Alfa de Cronbach basada en elementos estandarizados	N de elementos
1	0.791	0.826	49
2	0.837	0.862	43
3	0.852	0.873	41

En este último ciclo, el constructo RC arrojó un ítem con una correlación negativa el cual se eliminó para incrementar el coeficiente Alfa de Cronbach, así como cerrar el número total de ítems en 40 (cuarenta). La tabla 22 muestra el coeficiente final del instrumento considerando los seis constructos obligatorios y el opcional; esta configuración arrojó un coeficiente de 0.831, el cual se considera dentro del rango apropiado [76].

Tabla 22: Confiabilidad final del instrumento “Lean Six Sigma en la Industria Aeroespacial de Baja California”, de acuerdo con el coeficiente Alfa de Cronbach calculado, compuesto de 7 constructos, 40 ítems y n=49.

Estadísticas de fiabilidad (7 FCE/39 Ítems/n=49)		
Alfa de Cronbach	Alfa de Cronbach basada en elementos estandarizados	N de elementos
<b>0.864</b>	<b>0.881</b>	<b>40</b>

Para esta versión del instrumento que incluye el factor EAR, además de los ítems eliminados en los FCE obligatorios (ver tabla 20) también se eliminaron dos ítems del constructo de Equipos de Alto Rendimiento y uno del constructo Resistencia al Cambio, los cuales se muestran a continuación:

Tabla 23: Ítems eliminados del instrumento debido a su aportación al valor del coeficiente Alfa de Cronbach.

Elementos eliminados del instrumento de recolección de datos	
Constructo (FCE)	Ítem
EAR	Hay una gran incertidumbre y ambigüedad acerca de lo que se supone que el equipo debe lograr.
	Diferentes personas están constantemente uniéndose y dejando el equipo de mejora continua.
RC	Los empleados creyeron que el cambio implementado haría más difícil su trabajo.

### 3.8.3 Coeficiente Alfa de Cronbach por Constructos

Se realizó el análisis de confiabilidad de cada constructo de forma independiente; primero se utilizaron todos los ítems de cada constructo, sin embargo, el mejor coeficiente para cada FCE fue cuando se utilizaban los mismos ítems que en la tabla 19 y 22, eliminando así los mismos ítems que en otros ciclos arrojaron un coeficiente bajo. La siguiente tabla muestra los resultados del análisis de cada constructo sin considerar el resto de los FCE.

*Tabla 24: Análisis particular de la consistencia interna de cada FCE por medio del Alfa de Cronbach.*

Estadísticas de fiabilidad					
Constructo	Alfa de Cronbach	Alfa de Cronbach basada en elementos estandarizados	N de elementos	Encuestas consideradas	Datos Analizados
SP	0.875	0.879	5	49	245
Cm	0.795	0.801	5	49	245
CAO	0.740	0.734	6	49	294
EAR	0.677	0.703	6	34	204
CG	0.624	0.653	5	49	245
RC	0.610	0.612	8	49	392
EC	0.428	0.337	5	49	245

Se confirmó que estos ítems eliminados tanto en el análisis general como particular no son adecuados para este estudio y no aportan a la consistencia interna del constructo respectivo y del instrumento.

Se puede observar que solamente los constructos SP, Cm y CAO arrojan un coeficiente dentro del rango ideal para la consistencia interna; sin embargo, tomando en cuenta el número de encuestas analizadas, estos resultados no son alarmantes, pues como se explicó anteriormente, el valor del coeficiente dependerá del tamaño de la muestra por ello es posible que al incrementar el número de encuestas también aumente el coeficiente. Como primer análisis de validación, estos resultados pueden indicarnos que el factor EC no tiene la consistencia interna adecuada para poder ser medido en el instrumento, esto significaría rediseñar el constructo modificando los ítems o ampliar la muestra de validación de manera que se pueda verificar si efectivamente el coeficiente crece.

### **3.9 Análisis Descriptivo del Sector Aeroespacial de Baja California de acuerdo con el Instrumento Diseñado**

Es importante resaltar que, aunque el análisis de confiabilidad del instrumento se realizó con 49 respuestas, estas sólo representan a 12 empresas aeroespaciales del estado, es decir, se alcanzó a cubrir el 23% de la muestra estimada en el punto 3.4 de este capítulo. Algunas empresas podían responder una o dos encuestas solamente mientras que en otras hasta diez.

#### **3.9.1 Descripción de la implementación Lean Six Sigma en 12 empresas aeroespaciales de Baja California**

Una empresa aeroespacial puede producir diferentes productos o desarrollar varios servicios simultáneamente, aunque algunos son más importantes que otros; los procesos principales de una empresa de manufactura son aquellos que aportan mayor ingreso económico o aquellos que son críticos debido a su aplicación final. En promedio, las 12 empresas participantes muestran una relación del 65% de acuerdo con el cociente de los procesos principales que se gestionan por medio de LSS y al número total de procesos principales de la empresa. Asimismo, se registró que 10 de estas empresas implementan herramientas de LSS en la gestión de sus procesos industriales desde hace seis años o menos y sólo 2 empresas desde hace 10 años o más.

De acuerdo con la tabla 25, la herramienta en la primera posición (gráficos de Pareto) es utilizada “siempre” o “casi siempre” entre las empresas participantes con 44 individuos dando respuestas afirmativas, mientras que el análisis de regresión es la herramienta menos utilizada, en la posición número 27, ya que sólo 3 sujetos indican su uso.

Las empresas aeroespaciales han obtenido varios beneficios al utilizar herramientas de LSS en la gestión de procesos de manufactura. La tabla 26 muestra los diez beneficios más importantes y frecuentes en las respuestas obtenidas.

*Tabla 25: Herramientas más utilizadas en la gestión de procesos industriales en las empresas aeroespaciales del estado de Baja California.*

Lean Six Sigma		
Herramientas más utilizadas en la gestión de procesos de manufactura		
<u>Empresas Aeroespaciales de Baja California</u>		
Orden de Uso	Herramienta	Coincidencias
1	Gráficos de Pareto	44
2	Diagrama de Flujo	40
3	5 Why's	37
4	Diagrama Causa-Efecto	36
5	Gráficos de Control	35
6	TPM (Mantenimiento Productivo Total)	32
7	5S's (Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke)	31
8	Planillas de Inspección	30
9	Histogramas	27
10	Kaizen (Mejora Continua: Deming)	26
11	AMEF (Análisis de Modo y Efecto de la Falla)	26
12	VSM (Value Stream Map)	22
13	Kanban (Tarjetas Visuales de Resurtimiento)	22
14	Just in Time (Justo a tiempo)	22
15	8D (Ocho Disciplinas)	20
16	Poka Yoke (Diseño a prueba de errores)	17
17	Diagramas de Dispersión	16
18	Benchmarking (Seguimiento a competidores)	15
19	QFD (Quality Function Deployment)	14
20	DPU, DPO, DPMO, PPM	14
21	Jidoka (Verificación del Proceso)	13
22	SIPOC (Diagrama de flujo a alto nivel)	13
23	R&R (Gage Repeatability and Reproducibility)	10
24	SMED (Single-Minute Exchange of Die)	9
25	ANOVA (Análisis de Varianza)	8
26	DOE (Diseño de Experimentos)	8
27	Análisis de Regresión	3

Tabla 26: Beneficios obtenidos de la implementación de LSS en la gestión de procesos de manufactura del SA.

Beneficios obtenidos al gestionar los procesos de manufactura a través de Lean Six Sigma		
<u>Empresas Aeroespaciales de Baja California</u>		
Orden de Uso	Herramienta	Coincidencias
1	Incremento de Productividad	47
2	Incrementar Calidad	43
3	Reducción de la Variación en Procesos de Manufactura	38
4	Incrementar la Satisfacción del Cliente	38
5	Incrementar Competitividad	35
6	Reducción de Desperdicios	35
7	Reducción de Costos	34
8	Reducción en Tiempos de Entrega	33
9	Flexibilidad en las Estaciones de Trabajo para Realizar Varios Procesos o Productos	28
10	Cambio de Proceso de Producción a Flujo Continuo	24

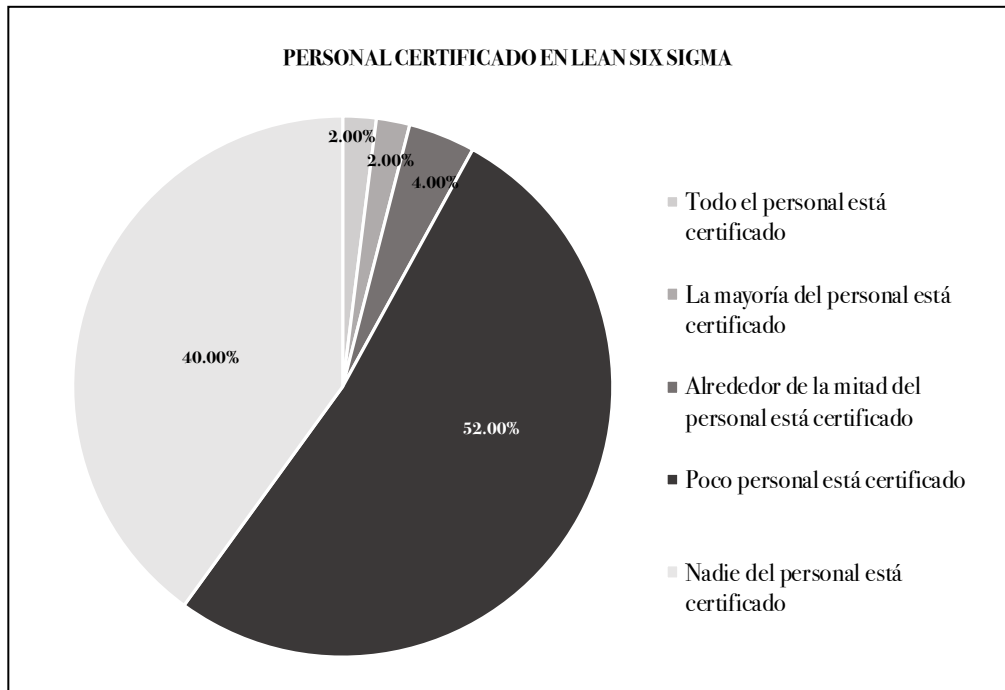
Según los datos recabados, el 96% de los participantes coincide en que el incremento de productividad es el beneficio principal que han obtenido al implementar *Lean Six Sigma* en proyectos de mejora continua; mientras que el flujo continuo en la producción y la flexibilidad en las estaciones de trabajo son los beneficios que tuvieron menor coincidencia. Esto puede ser en gran medida a que el SA es principalmente manufactura asegurada en producción por lotes o a que cada producto tiene características muy específicas. Sin embargo, en muchas ocasiones es posible encontrar un punto de convergencia entre varios productos o procesos de una misma empresa, de manera que podamos modificar la estación de trabajo y brindar la flexibilidad, un ejemplo de esto fue un caso de estudio realizado en Brasil en el 2015 [17].

Durante la aplicación del instrumento fue posible entrevistar a varios gerentes, realizar recorridos por las diferentes plantas y obtener información de estudios previos sobre proyectos de mejora continua de las diferentes empresas. Esto permitió por una parte, confirmar con información de primera mano que los FCE de Comunicación, Entorno Cultural, Resistencia al Cambio, Clima de Aprendizaje Organizacional, Compromiso de la Gerencia, Sentido de Pertenencia y Formación de Equipos de Alto Rendimiento son factores que se manifiestan actualmente en las empresas

aeroespaciales bajacalifornianas; quizá unos en mayor medida que otros, pero al final representan una ventaja o desventaja frente a la correcta implementación de Lean Six Sigma y sus potenciales resultados.

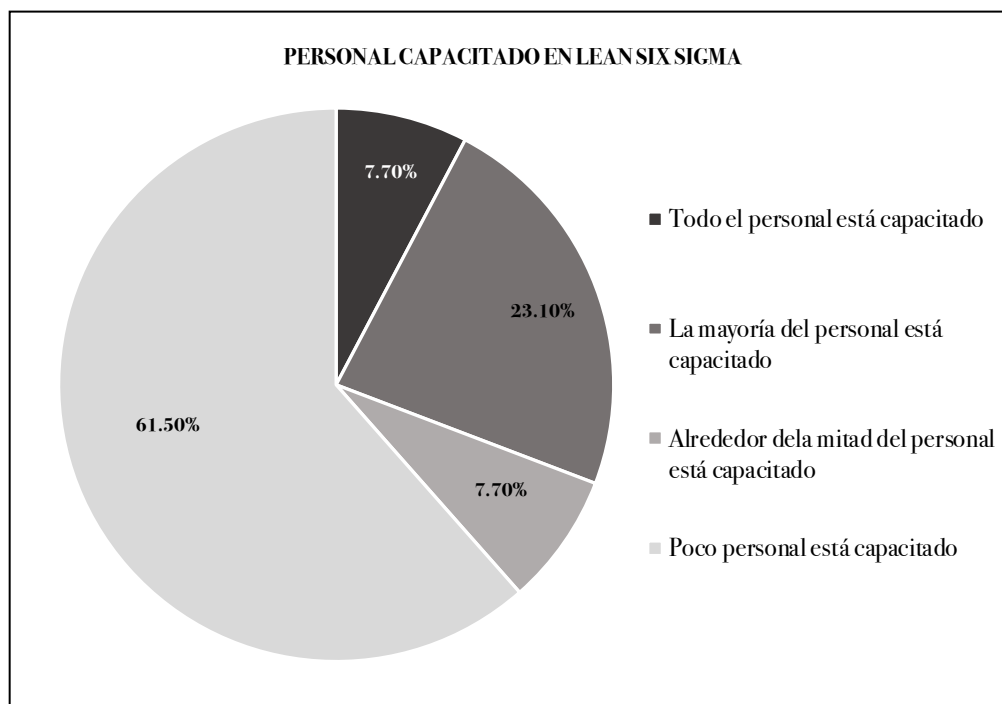
### 3.9.2 Certificación y Capacitación en Lean Six Sigma

La información recolectada apunta a que, en el sector aeroespacial de BC, es poco el personal certificado en Lean Six Sigma en puestos de gestión del proceso de manufactura, de acuerdo con la gráfica 5. Sin embargo, el porcentaje de capacitación sobre la metodología LSS entre el personal es mayor que el porcentaje de personal certificado, como lo muestra la gráfica 6. Se deduce que, aunque las empresas no contraten personal certificado o no inviertan en adquirir certificaciones, si contratan o capacitan a personal con conocimiento de LSS. Además, el porcentaje de “*todo el personal está certificado*” y “*la mayoría del personal está certificado*” de 7% subió a 30.8% en sus equivalentes de capacitación “*todo el personal está capacitado*” y “*la mayoría del personal está capacitado*”.



Gráfica 5: Personal del SA certificado en LSS.

Análisis de 12 empresas, tres municipios diferentes, n=49.



*Gráfica 6: Personal capacitado en LSS.*

*Análisis de 12 empresas, tres municipios diferentes, n=49.*

Esto sugiere que las empresas enfocan sus esfuerzos en capacitación para implementar LSS en su gestión de procesos, y no en la certificación del personal. Las encuestas nos indican que las siguientes son algunas razones por las que la empresa no certifica o capacita a los empleados:

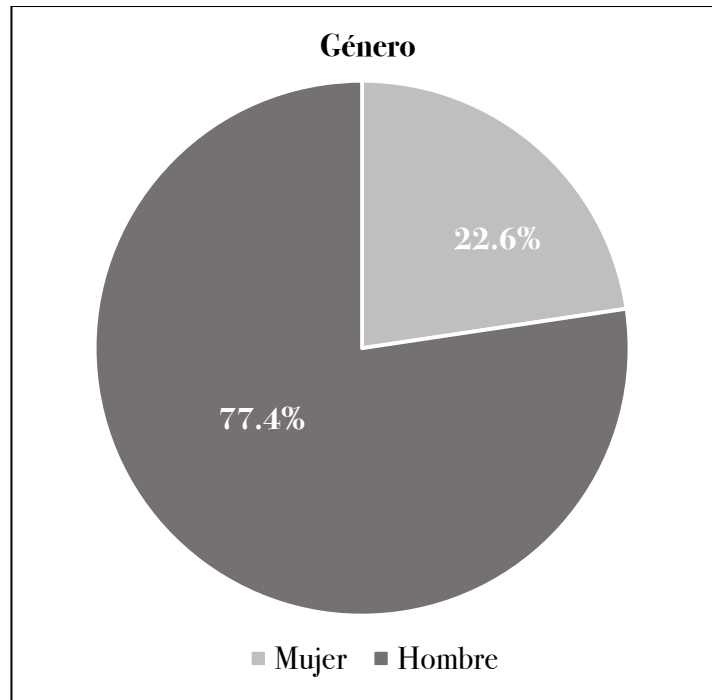
*Tabla 27: Razones por las cuales las empresas aeroespaciales no certifican y capacitan al personal en el manejo de la metodología LSS. Análisis de 12 empresas, tres municipios diferentes, n=49.*

Metodología Lean Six Sigma	
Principales razones por las que las empresas no certifican y/o capacitan al personal	
1	Otro: Rotación de Personal
2	No se ha requerido por la Alta Gerencia
3	No se ha requerido por parte de los Clientes
4	La empresa considera que es muy costoso capacitar al personal (Dinero)

### 3.9.3 Aspectos demográficos

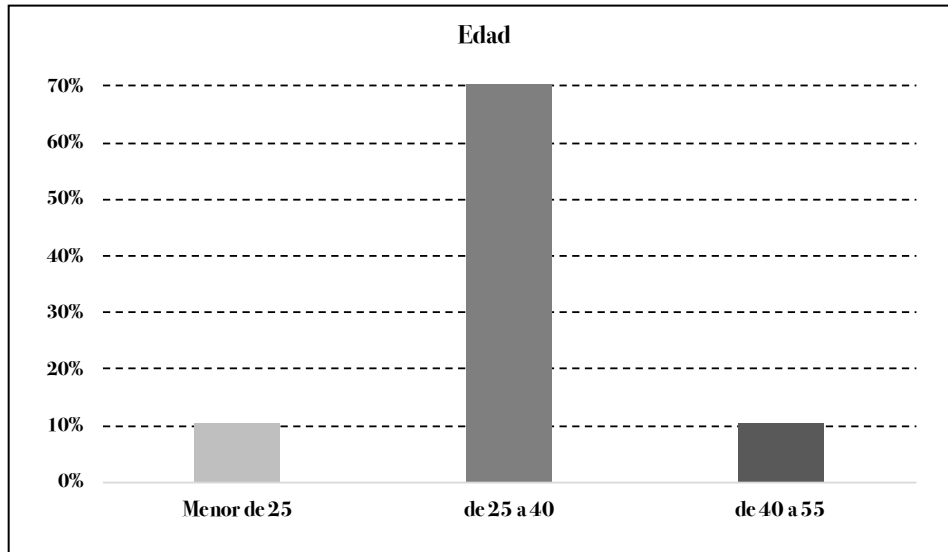
De forma general, destacan aspectos demográficos interesantes como el género, la edad y nivel académico de los participantes. Respecto al género, el estudio refleja la reciente incursión de la

mujer en el SA, se observa que la participación de mujeres en cargos operativos es de una por tres hombres (ver gráfica 7).



*Gráfica 7: Relación de mujeres y hombres que participaron en el estudio.  
Análisis de 12 empresas, tres municipios diferentes, n=49.*

Otro dato relevante es la edad de los trabajadores (gráfica 8), ya que más del 50% tiene entre 25 y 35 años. La relevancia radica en las características de esta generación; por una parte, la Industria Aeroespacial (IA) de Baja California (BC) emplea en sus puestos “medios” y “altos” a la controversial generación identificada como “*Millennials*”. Éstos, con las ventajas y desventajas características de su generación, tendrán un papel destacado en el desarrollo del Sector Aeroespacial (SA) en los siguientes 20 años de la IA, periodo que será crucial para la IA según los pronósticos de la Secretaría de Economía, la FEMIA y el Clúster Aeroespacial de BC.

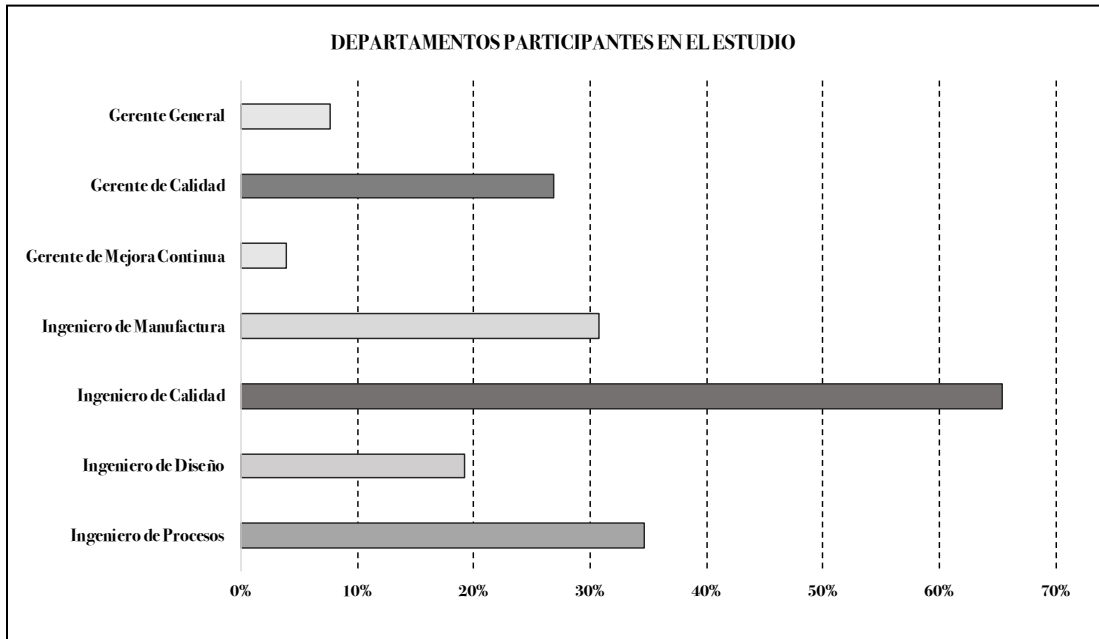


*Gráfica 8: Edades de los individuos que participaron en el estudio.*

*Análisis de 12 empresas, tres municipios diferentes, n=49.*

La edad preponderante de los trabajadores de la industria, presta a interpretación aspectos psicológicos y económicos que pueden afectar la industria: 1) Psicológico: los profesionales de la industria identifican el padecimiento del “*Burnout*” (“sentirse agotado” por el trabajo), el cual es más propenso a presentarse en trabajadores menores de 40 años [85] y puede ser perjudicial para una empresa debido a que es una de las principales causas de absentismo laboral y pérdida de productividad [86], afectando directamente el costo y tiempo de elaboración del producto. 2) Económico: hay tendencias de una pronunciada brecha entre los ingresos de los jóvenes y de los adultos, porque estos últimos reciben un “premio a la experiencia”. Lógicamente, la brecha se reduce con el aumento de la edad (y la experiencia) de los jóvenes [87]. La información recolectada invita a buscar líneas de interpretación e investigación adicionales sobre las características demográficas de los trabajadores en la IA y su impacto en la misma.

La siguiente gráfica muestra los cargos de los individuos que participaron en el estudio. Tal como se estableció en la muestra inicial del proyecto, participaron mandos “medios” y “altos” de cada empresa.



*Gráfica 9: Departamentos que participaron en el estudio. Análisis de doce empresas; las empresas se ubicaban en Ensenada, Mexicali y Tijuana; n=49.*

#### **4. Caso de Estudio: análisis al sistema de medición del departamento de pruebas no destructivas de una empresa aeroespacial de Baja California.**

El siguiente caso de estudio se realizó en una empresa aeroespacial de Baja California cuya actividad principal es el maquinado de metales y la emisión de certificados que avalan al producto para ser aeronavegable.

La empresa externó la necesidad de medir y demostrar al cliente y al corporativo que el proceso de pruebas no destructivas al que se somete cada pieza es confiable. La empresa indicó que anteriormente resolvían estos requerimientos por otras vías menos confiables. Tomando en cuenta el tipo de proceso, las características de las mediciones y al consenso de la Gerencia y los departamentos involucrados, se decidió implementar la herramienta *Análisis al Sistema de Medición que* para determinar si el sistema de medición era aceptable. Esta herramienta permite analizar datos discretos a través del Análisis de Acuerdo por Atributo, ya que analiza la calidad de las mediciones y, por lo tanto, el grado de control de las actividades relacionadas.

Este caso de estudio fue parte de un proyecto DMAIC en la etapa “*Medir*”. La selección de la empresa fue de acuerdo con la disponibilidad y apertura de las empresas participantes.

##### **4.1 Pertinencia de los Casos de Estudio**

Realizar investigación y generar conocimiento a través de casos de estudio es comprender la interacción entre las distintas partes de un sistema en un contexto real y sus características importantes. De forma tal que el análisis realizado pueda ser aplicado de manera genérica [88], incluso a partir de un caso único, pues se logra una comprensión de los procesos, de la estructura y las fuerzas impulsoras del sistema, más allá del establecimiento de correlaciones o relaciones de causa y efecto [89].

El método de caso de estudio es una valiosa herramienta de investigación, y su mayor fortaleza radica en que a través de este se mide y registra la conducta de las personas involucradas en el

fenómeno estudiado, mientras que los métodos cuantitativos sólo se centran en información verbal obtenida a través de encuestas por cuestionarios [90]. De esta manera, la cuestión de generalizar a partir del caso de estudio no consiste en una “generalización estadística” (desde una muestra o grupo de sujetos hasta un universo), como en las encuestas y en los experimentos, sino que se trata de una “generalización analítica” (utilizar el caso de estudio único o múltiple para ilustrar, representar o generalizar a una teoría). Así, incluso los resultados del estudio pueden generalizarse a otros que representen condiciones teóricas similares [91]. Por tanto, la cuestión de la generalización no radica en una muestra probabilística extraída de una población a la que se pueda extender los resultados, sino en el desarrollo de una teoría que puede ser transferida a otros casos [92].

En este mismo sentido se puede agregar que los casos de investigación adoptan, en general, una perspectiva integradora, razón por la que los casos de estudio son una metodología de investigación muy utilizada en el análisis de las organizaciones por las distintas disciplinas científicas. Como ejemplo, en 1995 Grunow realizó un análisis sobre las estrategias de investigación en organización de empresas, analizó 204 estudios empíricos y la metodología del caso fue adoptada en más del 50 por ciento [93].

## **4.2 Descripción del caso de estudio**

El propósito de este estudio es evaluar el nivel de acuerdo y eficiencia en un departamento de pruebas no destructivas de una empresa aeroespacial del sector aeroespacial de Baja California. Este estudio de caso aplica el Análisis al Sistemas de Medición (MSA) centrado en dos áreas, Pruebas de Inspección Visual (VIT) y Pruebas Radiográficas (RT). Siguiendo un procedimiento riguroso, se seleccionaron y probaron un conjunto de piezas y películas radiográficas incluyendo el acuerdo del evaluador consigo, el acuerdo entre evaluadores y el acuerdo con un valor un estándar. Los defectos en las partes metálicas se analizaron en seis pruebas cuantitativas y cualitativas diferentes, generando aproximadamente 4,854 datos. Por lo tanto, se realizó un Análisis de Acuerdo de Atributos (AAA) así como técnicas de estadística descriptiva e inferencial.

### 4.3 Justificación del caso de estudio

La Industria Aeroespacial (IA) se caracteriza por exigir altos niveles de seguridad y calidad en cada una de las piezas y/o procesos que deriven en un producto cuya aplicación final estará relacionada con vidas humanas, como naves aeronáuticas de uso comercial. En este sentido, la IA prioriza el cumplimiento de normas y regulaciones de aviación por encima de los costos. Las regulaciones establecidas por autoridades como las FAA (Federal Aviation Administration) o la EASA (European Aviation Safety Agency), por mencionar algunas, certifican si una pieza, proceso, servicio, avión, etc., cumple con los requisitos de seguridad y calidad para ser navegable. En algunos casos estas certificaciones se pueden llevar a cabo mediante procesos conocidos como NDT (nondestructive testing), método de prueba que usa equipos y enfoques especiales para examinar un objeto sin dañarlo o afectar su utilidad futura.

*NDT es el desarrollo y la aplicación de métodos técnicos para examinar materiales o componentes de forma que no perjudiquen la utilidad futura y la capacidad de servicio para detectar, ubicar, medir y evaluar discontinuidades, defectos y otras imperfecciones; evaluar integridad, propiedades y composición; y medir las características geométricas [94].*

En el contexto de la IA, NDT no solo sirve para rechazar un material que no cumple con las especificaciones, sino también para demostrar y garantizar que lo que suponemos bueno sea bueno, razón por la cual este tipo de pruebas son muy comunes en el sector. Dependiendo del tipo de producto que se quiere inspeccionar y de los recursos con los que cuenta la empresa, se seleccionarán las pruebas adecuadas que brinden la información requerida por el cliente y por las autoridades correspondientes.

Existen varios tipos de NDT [95 y 96], sin embargo, este caso de estudio se enfoca sólo en dos de ellos: 1) Visual Inspection Testing (VIT): es la prueba más común y generalmente se realiza antes que otras NDT más complejas. Dicha prueba la realiza un inspector entrenado, por medio de la observación y el tacto de la pieza, utilizando herramientas simples como linternas, lupas, espejos y comparadores de rugosidad. El inspector debe tener conocimiento de los tipos de Defectos y Discontinuidades (DyD) que pueden presentarse en el material de la estructura de la pieza (acero,

aluminio, etc.), así como la manera de indicar y registrar los resultados de la inspección. 2) Radiographics Test (RT): se aplica principalmente para inspeccionar piezas que fueron hechas a partir de soldadura y fundición (welding/soldering, casting), así como para verificar el contenido y la integridad de los componentes [97]. Para llevar a cabo esta prueba, se aplican Rayos X a la pieza para obtener las películas radiográficas las cuales muestran diferentes vistas de la pieza (la cantidad de películas varía de acuerdo con el tamaño y diseño de la pieza); una vez que el inspector tiene las radiografías, realiza la inspección observando las películas indicando en donde se encuentran las anomalías en la pieza y llenado un reporte que describa dichas anomalías. Para realizar este trabajo se utiliza un negoscopio, lupas y tablas de referencia de defectos y discontinuidades (estándar). El inspector debe tener conocimiento de los tipos de defectos y discontinuidades que pueden presentarse en el material de la estructura de la pieza, así como de la manera de indicar y registrar los resultados de la inspección.

Se puede observar que el resultado de estas pruebas depende del criterio del inspector para determinar si existe o no un DyD en una pieza; el inspector toma la decisión con base en sus conocimientos, experiencia y en las tablas de referencia. Sin embargo, es el juicio del inspector el que determinará la calidad de la pieza. Es importante hacer énfasis en este detalle debido a que en los procesos NDT los inspectores son el sistema de medición.

Todo proceso de manufactura debe garantizar que sus sistemas de medición son confiables y que las variaciones o defectos que pueda mostrar el producto son debido al producto y no a la medición. Se espera que al someter una pieza a VIT y RT (en su respectivo orden) se deberán identificar siempre los mismos DyD, de acuerdo con el estándar, sin importar cuantas veces se inspeccione esa pieza, el horario o día en que se realiza la inspección y si la misma inspección la hacen diferentes inspectores. Para poder garantizar que esto sucederá y que la decisión sobre la calidad de la pieza es confiable, la Automotive Industry Action Group (AIAG) recomienda en su *Measurement Systems Analysis Reference Manual* [98] que el porcentaje de variación o discrepancia del proceso debe ser inferior al 10% para que sea aceptable, tomando en cuenta la aplicación del producto.

## 4.4 Marco Teórico para el Análisis al Sistema de Medición

Una forma de medir la confiabilidad del proceso NDT es utilizando una herramienta de la metodología LSS llamada Análisis al Sistema de Medición (MSA), la cual tiene varias técnicas dependiendo si los datos a procesar son continuos o discretos. Este caso de estudio maneja datos discretos, por esta razón el Análisis de Acuerdo de Atributo (AAA) es el más adecuado, porque evalúa la concordancia entre las calificaciones hechas por los evaluadores y los valores estándar conocidos. Se puede usar el análisis de concordancia de atributos para determinar la exactitud de las evaluaciones realizadas por los evaluadores e identificar los elementos que tienen las tasas más altas de clasificación incorrecta.

### 4.4.1 Análisis de Acuerdo de Atributo

El AAA nos permite tener un análisis muy robusto del NDT porque se estudia la concordancia desde diferentes escenarios. El primero se conoce como “*Individual por evaluador*” y consiste en determinar si el evaluador coincide consigo mismo a través de las pruebas; el segundo, “*Cada evaluador vs. El estándar*” determina si la estimación del evaluador en los diferentes ensayos coincide con el estándar conocido. Posteriormente se mide el acuerdo “*Entre evaluadores*” y mide si todas las estimaciones de los evaluadores coinciden entre sí; por último, la prueba “*Todos los evaluadores vs. el estándar*” compara sólo aquellas estimaciones en las que todos estuvieron de acuerdo contra el estándar conocido. Estas pruebas se pueden expresar matemáticamente de la siguiente forma [99]:

$$100 * \frac{X(\text{the number of evaluations that match the standard value})}{N(\text{the number of measured attributes})} \quad (2)$$

Se puede decidir correr un primer análisis de forma general que nos dé un indicio de cómo se encuentra el sistema de medición, sin embargo, esta comparación rápida sólo relaciona todas aquellas respuestas que coinciden con el estándar conocido, por lo tanto, si el MS es bueno y existe mucha concordancia entre los evaluadores este primer resultado sería de mucha información (resultados mayores al 98% de concordancia según el porcentaje de los componentes de la varianza de la AIAG). Pero si el MS no es tan bueno y obtenemos porcentajes de concordancia regulares

(por ejemplo, del 70% al 91%) entonces este primer resultado no nos da mucha información, ya que no podrá decirnos en dónde se encuentra el problema de la discordancia. Es decir, dentro del proceso exactamente ¿cuál evaluador es el que evalúa mal? ¿qué atributo es el que causa tanto desacuerdo entre los evaluadores? ¿cuál es el porcentaje de confiabilidad de cada evaluador respecto a su grado de concordancia con el valor estándar conocido?, entre otros. La concordancia general se puede obtener haciendo las siguientes relaciones [99]:

- Individual por Evaluador:

$$100 * \left( 1 - \left( \frac{\text{the number of items that are inconsistently qualified between trials}}{N_i \text{ (the total number of elements qualified by the evaluator } i)} \right) \right) \quad (3)$$

- Cada Evaluador contra el Estándar:

$$100 * \frac{\text{the number of evaluations that match the standard value for the } i^{\text{th}} \text{ evaluator}}{N_i \text{ (the number of evaluations for the } i^{\text{th}} \text{ evaluator)}} \quad (4)$$

- Entre Evaluadores:

$$100 * \frac{\text{the number of the } i^{\text{th}} \text{ evaluation that coincides with the } i^{\text{th}} \text{ evaluation of the } n \text{ evaluators}}{N_i \text{ (the number of evaluations of the } n \text{ evaluators)}} \quad (5)$$

- Todos los evaluadores contra el Estándar:

$$100 * \frac{\text{the number of evaluations that match the } i^{\text{th}} \text{ standard value}}{N_i \text{ (the number of evaluations for the standard value } i^{\text{th}})} \quad (6)$$

También es posible determinar la cantidad de elementos a los que un evaluador asignó una calificación diferente al estándar conocido, por medio de la siguiente ecuación [99]:

$$100 * \frac{\text{the number of "acceptable" elements qualified by the evaluator } i}{\text{the total number of "acceptable" elements qualified by the evaluator } i} \quad (7)$$

Esto es importante porque el proceso mide atributos como “pasa / no pasa”, “bueno / malo” o “aceptar / rechazar” y puede incurrir en un falso-negativo, que es cuando el evaluador califica un elemento “bueno” como “malo”, o bien, un falso-positivo, que ocurre cuando se califica un elemento “malo” como “bueno”. En el primer caso las consecuencias pueden ser un retrabajo o un desecho de la pieza que, aunque implica pérdidas para la empresa, se puede tener la certeza que las piezas cumplirán con los requisitos de calidad establecidos. El problema ocurre en el segundo escenario, ya que un falso-positivo implica que un producto defectuoso a pasado las pruebas de calidad y esto puede ser muy grave en esta industria, pues si una pieza de acero que tiene una fractura que no fue detectada en NDT se instala en un avión podría ocasionar un accidente que ponga en riesgo vidas humanas.

## **4.5 Descripción de los procesos considerados para el caso de estudio**

### **4.5.1 Prueba de Inspección Visual (VIT)**

Según la norma Safran Hispano-Suiza, el Visual Inspection Testing (VIT) es el proceso mediante el cual un grupo de inspectores certificados inspeccionan visualmente una pieza con el fin de encontrar defectos de retrabajo (DR) y defectos de soldadura (DS). Al encontrar defectos, el inspector marcará físicamente el defecto en la pieza (rojo=DS y verde=DR), ésta será enviada nuevamente a la mesa de trabajo para corregir cada tipo de defecto. La pieza pasara por una nueva inspección visual el número de veces necesarias, hasta que la inspección visual no encuentre defectos y/o la pieza cumpla con los requerimientos del cliente.

### **4.5.2 Prueba de Rayos X (RT)**

El Radiographics Test (RT) es el proceso mediante el cual un grupo de inspectores (Niveles I, II y III) examina la estructura interna de una pieza por medio de películas radiográficas de diferentes vistas de la pieza, con el fin de encontrar defectos y/o discontinuidades. Al encontrar dichos defectos, la radiografía será marcada y la pieza será trabajada en cada tipo de defecto, pasando por inspección RT la cantidad de veces necesarias hasta que el departamento de RT no encuentre defectos y/o la pieza cumpla con los requerimientos del cliente.

## **4.6 Diseño de Experimento Análisis de Acuerdo por Atributo**

### **4.6.1 Requerimientos para garantizar la confiabilidad del experimento durante la etapa del diseño**

Las piezas para el Análisis de Acuerdo de Atributo (AAA) de VIT y RT fueron seleccionadas siguiendo los criterios mostrados a continuación:

- Cada atributo o pieza por medir debe tener un valor nominal u ordinal que se midan en el proceso en el cual se está realizando el estudio, como: “pasa”, “no pasa”, “porosidad”, “muy crujiente”, “poco crujiente”, entre otros.
- Se deben seleccionar piezas que comprendan todos los atributos que pueden surgir en el proceso, es decir, si una pieza puede tener de 0 a 10 defectos, tener piezas con 0, 3, 5, 9, y 10 defectos, por ejemplo, o si se tienen atributos como porosidad, gas, fractura, rasgadura, etc., seleccionar piezas o elementos que permitan medir cada atributo al menos una vez en cada ensayo.
- Todos los evaluadores deben calificar los mismos atributos o piezas el mismo número de veces.
- Se debe establecer el valor estándar conocido para cada atributo o pieza, esto con el fin de poder medir la exactitud en las mediciones de cada evaluador.
- Al menos tres evaluadores deben realizar el estudio, debido a que entre más datos y repeticiones se registren, la confiabilidad del estudio será mayor. El valor estándar no se considera un evaluador.
- Los evaluadores no deben tener conocimiento del orden de las piezas, de los defectos o atributos de las piezas, ni del valor estándar conocido para cada elemento. Aunque el encargado del estudio debe tener un control estricto de cada pieza, se recomienda que el evaluador no pueda identificar las piezas para que no relacione ciertos atributos pre-existentes a la pieza. De preferencia hay que utilizar piezas sin aspectos de identidad como número de serie, ID, etc.

Es importante mencionar que se modificaron los nombres de los evaluadores para respetar la confidencialidad de la empresa y de los trabajadores, sin embargo, la información restante es real ya que influirá en los resultados obtenidos.

#### 4.6.2 Requerimientos para garantizar la confiabilidad del experimento durante la etapa de recolección de datos

Con el fin de establecer aleatorización en las mediciones y no aportar variación al experimento, tanto VIT como RT se realizaron bajo los siguientes criterios:

- Todos los evaluadores deben calificar los elementos bajo condiciones típicas de trabajo, es decir, el estudio debe realizarse a la par que el evaluador realiza todas sus actividades normales. Asimismo, el estudio debe realizarse en el entorno de trabajo del evaluador, ya sea una línea de producción, un departamento donde están todos los evaluadores, o su oficina de trabajo diario, pero no se debe apartar al evaluador a un espacio diferente para hacer el estudio.
- Las repeticiones de las evaluaciones deben llevarse a cabo con suficiente tiempo de separación entre sí para minimizar las calificaciones por retentiva. Se recomienda que todos los evaluadores realicen un ensayo por día, por ejemplo, si se tienen que evaluar 10 piezas, todos los evaluadores medirán las 10 piezas en un día, registrándolo como el primer ensayo; el día siguiente todos los evaluadores medirán de nuevo las 10 piezas constituyendo el segundo ensayo; el tercer ensayo se realizará en un mismo día en que todos los inspectores evalúen las mismas 10 piezas, y así sucesivamente.
- Los evaluadores deben calificar los elementos en orden aleatorio para minimizar el sesgo. . La aleatoriedad puede ser propuesta de forma diferente por la persona encargada de realizar el estudio, siempre que se conserve este requisito. Se deben aleatorizar los turnos, piezas y el orden para cada evaluador:
  - Turnos: si en el primer ensayo el orden de los evaluadores fue evaluador 1, evaluador 2 y evaluador 3; en el siguiente ensayo puede ser evaluador 2, evaluador 3 y evaluador 1; mientras que en el tercer ensayo puede ser evaluador 3, evaluador 1 y evaluador 2.
  - Piezas: se deben aleatorizar las piezas por evaluador, por lo tanto, si en el primer ensayo el evaluador 1 revisó las piezas 1,2,3,4,5,6,7,8,9 y 10 en orden; en el segundo ensayo 2 (otro día) el orden pudiera ser 8,3,10,6,9,2,7,4,1 y 5; y, en el tercer ensayo otro orden diferente. el orden que proponga el encargado puede ser diferente siempre y cuando se cumpla con el criterio.

- **Horario:** Por último, también hay que aleatorizar el horario en que los evaluadores llevan a cabo la medición, es decir, si en el primer ensayo el evaluador 2 realizó sus 10 mediciones en la mañana (8:00 horas), en el segundo ensayo dicho evaluador deberá realizar sus mediciones por la tarde (16:00 horas) y en el tercer ensayo el mismo evaluador puede hacer su inspección a medio día (12:00 horas).

#### 4.6.2.1 Desarrollo del Experimento VIT

Se realizaron mediciones de manera aleatoria por cinco días, en diferentes horarios, en las que los inspectores midieron cada pieza seis veces. Además, las mediciones se supervisaron todo el tiempo para prevenir acciones que agregarán variación a los resultados del experimento. La tabla 28 muestra cuáles fueron los defectos o discontinuidades que pueden presentarse en las piezas seleccionadas para el experimento y la tabla 29 indica las características de los evaluadores, las cuales se consideran importantes debido a que pueden influir en los resultados individuales de cada participante. Por último, la tabla 30 describe las piezas que se seleccionaron para el AAA.

*Tabla 28: Defectos inspeccionados por el departamento de VIT.*

*Fuente: elaboración propia con datos otorgados por la empresa participante.*

Tipos de Defectos de VIT					
Código	Descripción	Código	Descripción	Código	Descripción
DC01	Porosidad	DC09	Corte con sierra	DC17	Falta de relleno
DC02	Exceso de material	DC10	Cerámica	DC18	Rebaba
DC03	Falta de material	DC11	Inclusiones	DC19	Doblada/Deformada por fundición
DC04	Grietas/Quebrada	DC12	Corte con antorcha	DC20	Desgarre en caliente
DC05	Positivos	DC13	Discrepancia dimensional	DC21	Desplazamiento
DC06	Golpes	DC14	Contracción	DC22	No aplica
DC07	Mancha negra	DC15	Huecos/Agujeros de arena	DC23	Otro
DC08	Sobrelijado	DC16	Traslape en frío		

Tabla 29: Configuración del experimento AAA de VIT; una pieza maestra (PM) y tres inspectores visuales.

VIT Información de Inspectores				
Clave del Evaluador	Turno	Área de Trabajo	Antigüedad (en el puesto)	Edad
PM	Primero	Nave 2	2 años	39
Le1	Primero	Nave 1	3 meses	26
Li2	Primero	Nave 1	9 meses	22
Lu3	Segundo	Nave 2	3 años	26

Tabla 30: Diseño del experimento VIT; cantidad de piezas y cantidad de defecto por piezas.

Información de las piezas seleccionadas para el experimento VIT			
Código de la pieza	Total, de Defectos de Soldadura (DS) Identificados por PM	Total, de Defectos de Retrabajo (DR) Identificados por PM	Tiempo de Inspección (Minutos) PM
P1	6	16	15
P2	8	16	15
P3	11	68	23
P4	3	7	9

#### 4.6.2.2 Desarrollo del Experimento RT

Se realizaron mediciones de manera aleatoria por 10 días en diferentes horarios; cada inspector midió cada pieza tres veces. El experimento fue supervisado todo el tiempo para prevenir acciones que agreguen variación a los resultados del experimento. La tabla 31 describe las características de las piezas seleccionadas para el MSA y La tabla 32 muestra cuáles son los defectos o discontinuidades que pueden aparecer en las diferentes piezas seleccionadas.

Tabla 31: Configuración de experimento AAA de RT; un valor estándar (VS) y 4 inspectores.

Información de las piezas seleccionadas para el experimento RT					
Código de la pieza	Total de Vistas Seleccionadas	Total Def / Dis Encontrados	Cantidad Def / Dis Diferentes	Vistas Rechazadas	Tiempo de Inspección VS (Minutos)
P3	8	13	6	6	16
P5	7	10	3	5	10
P11	11	23	6	0	15
P12	4	11	3	0	8

Posteriormente, la tabla 32 describe las características de los inspectores que participaron en el MSA.

*Tabla 32: Defectos inspeccionados por el departamento RT.*

Tipos de Defectos RT			
Acero		Aluminio	
Gas holes (Gas atrapado)	Shrink filamentary (Rechupe filamentario)	Gas holes (Gas Atrapado)	Incl. more dense (Inclusion más densa)
Shrink cavity (Rechupe cavidad)	Hot tear (Desgarre en caliente)	Gas porosity round (Porosidad de gases redondeados)	Linear porosity (Pososidad alineada)
Shrink sponge (Rechupe esponja)	Lack of fusion (Falta de fusión)	Gas porosity elongated (Porosidad de gases elongadas)	Lack of fusion (Falta de fusión)
Shrink dendritic (Rechupe dendrita)	Cracks (Fracturas)	Shrink Cavity (Rechupe cavidad)	Cracks (Fracturas)
Incl. Less dense (Inclusión menos densa)	Surface (Superficie)	Shrink Sponge (Rechupe esponja)	Surface (Superficie)

Por último, la tabla 33 indica la información relevante de los inspectores que participaron en el AAA de RT.

*Tabla 33: Diseño del experimento RT; características de las piezas.*

RT: Información de Inspectores					
Clave del Inspector	Turno	Área de Trabajo	Nivel	Antigüedad (en el puesto)	Edad
VS	Primero	Nave 2	3	2.5 años	36
E1	Primero	Nave 2	2	3 años	39
R2	Primero	Nave 2	2	5 años	38
H3	Primero	Nave 2	2	1 año	26
A4	Segundo	Nave 2	2	6 años	38

#### 4.7 Resultados del Análisis al Sistema de Medición

Los resultados del MSA en el Radiographics Test (RT) indican porcentajes de concordancia regulares y muy buenos. Éstos le brindaron a la compañía la información solicitada por el cliente para garantizar que se está cumpliendo con los requerimientos.

Por otra parte, el MSA en Visual Inspection Testing (VIT) arrojaron un porcentaje bajo en el acuerdo del evaluador consigo mismo y contra el valor estándar, causando varios ciclos de sobreprocesamiento e inspección. Esto permitió identificar pérdidas de aproximadamente \$246,440 dólares al año por sobre-pruebas, re-trabajo y otros tipos de desperdicios.

Este estudio llevó a la compañía a desarrollar un plan de mejora que incluye capacitación personalizada. Además, pensando a futuro, se diseñaron diferentes conjuntos de películas radiográficas y una base de datos para que el departamento de NDT pueda seguir controlando los procesos VIT y RT a través de esta herramienta de Lean Six Sigma.

En las siguientes secciones se encuentran las tablas de los resultados obtenidos en el caso de estudio mediante VIT y RT, respectivamente. Así como descripciones y observaciones detalladas de las mismas.

#### 4.7.1 Resultados del análisis de acuerdo de atributo de la prueba de inspección visual (VIT)

En la tabla 34 se observa que el evaluador Lu3 obtuvo una mejor concordancia consigo mismo, aunque no aceptable; según la tabla 29, Lu3 tiene más antigüedad en el puesto, por lo que se podría inferir que más experiencia significaría mejores resultados.

*Tabla 34: MSA de VIT: individual por evaluador.*

*Fuente: Tabla obtenida por medio de Minitab con datos del experimento propuesto.*

Individual por evaluador					
Acuerdo de evaluación					
Evaluador	No. de inspeccionados	No. de coincidencias	Porcentaje	IC de 95%	
Le1	135	73	54.07	(45.29, 62.68)	
Li2	135	56	41.48	(33.07, 50.27)	
Lu3	135	85	62.96	(54.23, 71.11)	

*No. de coincidencias: El evaluador coincide consigo a través de las pruebas.*

Sin embargo, en la tabla 35 se puede observar que al comparar a cada evaluador contra el valor estándar los porcentajes de concordancia caen brutalmente, lo que implica que estos evaluadores

podrán identificar el mismo DyD al menos el 50% de las veces, pero sólo el 23% de ellas coincidirán con el valor real esperado. Destaca que, a pesar de la baja concordancia del proceso, es Le1 quien realiza mejores mediciones; Lu3, quien tiene más antigüedad y experiencia en la empresa, coincide menos con el valor estándar.

*Tabla 35: MSA de VIT: cada evaluador contra el estándar.*

*Fuente: Tabla obtenida por medio de Minitab con datos del experimento propuesto.*

<b>Cada evaluador vs. el estándar</b>				
<b>Acuerdo de evaluación</b>				
Evaluador	No. de inspeccionados	No. de coincidencias	Porcentaje	IC de 95%
Le1	135	53	39.26	(30.97, 48.03)
Li2	135	25	18.52	(12.36, 26.11)
Lu3	135	16	11.85	(6.93, 18.53)

*No. de coincidencias: La estimación del evaluador en los diferentes ensayos coincide con el estándar conocido.*

Como es de esperar, las concordancias entre evaluadores disminuyeron al 7.41%, coincidiendo sólo en 10 mediciones, como lo indica la tabla 36. Asimismo, al comparar estas 10 mediciones contra el valor estándar (todos los evaluadores contra el estándar) sólo dos de éstas coinciden con el valor real esperado según la tabla 37.

*Tabla 36: MSA de VIT: entre evaluadores.*

*Fuente: Tabla obtenida por medio de Minitab con datos del experimento propuesto.*

<b>Entre evaluadores</b>			
<b>Acuerdo de evaluación</b>			
No. de inspeccionados	No. de coincidencias	Porcentaje	IC de 95%
135	10	7.41	(3.61, 13.20)

*No. de coincidencias: Todas las estimaciones de los evaluadores coinciden entre sí.*

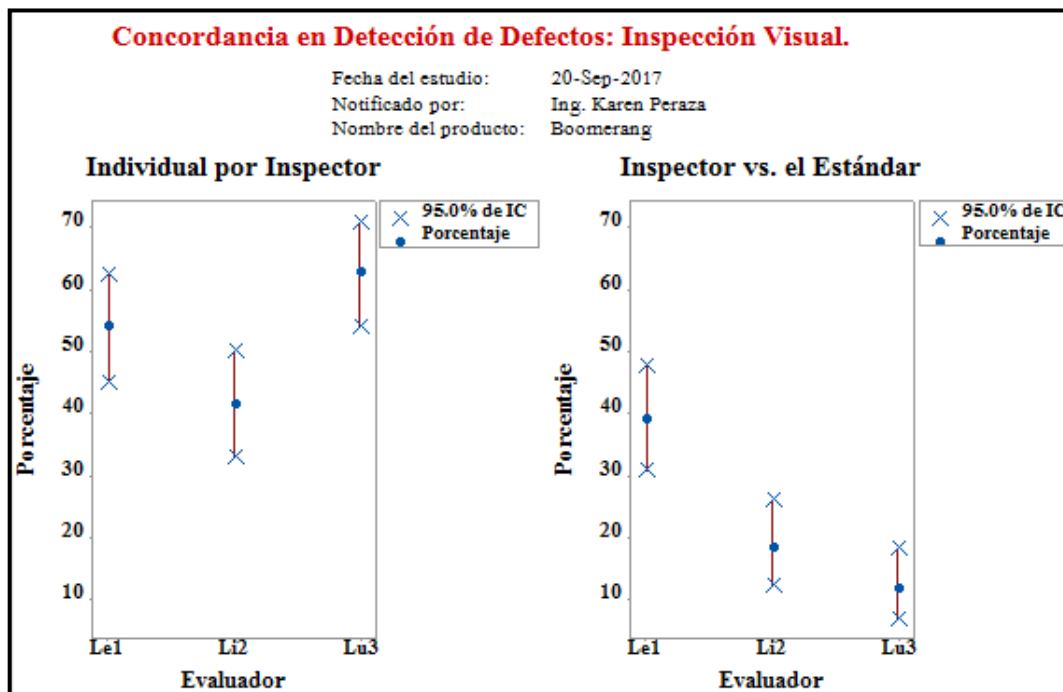
Tabla 37: MSA de VIT: todos los evaluadores contra el estándar.

Fuente: Tabla obtenida por medio de Minitab con datos del experimento propuesto.

Todos los evaluadores vs. el estándar			
Acuerdo de evaluación			
No. de inspeccionados	No. de coincidencias	Porcentaje	IC de 95%
135	2	1.48	(0.18, 5.25)

No. de coincidencias: Todas las estimaciones de los evaluadores coinciden con el estándar conocido.

La gráfica 10 ilustra los resultados de concordancia entre inspecciones de VIT por evaluador, así como de éstos contra el estándar, según las tablas 34 y 35. Dicha gráfica debería mostrarnos resultados por arriba del 70%, sin embargo, se observa que los resultados de este proceso están fuera de control e incumple con el criterio mínimo de concordancia según el Automotive Industry Action Group (AIAG) y el sector en el que se aplica. Ya que, aunque los inspectores obtienen más lecturas de defectos, éstos no logran coincidir entre ellos al momento de evaluar una pieza, ni siquiera por probabilidad.



Gráfica 10: Concordancia entre inspecciones de VIT; resultados del análisis individual por inspector y cada inspector contra el estándar. Fuente: gráfica obtenida por medio de Minitab con datos del experimento propuesto.

También se realizó un análisis por pieza (pasa/no pasa), obteniendo resultados similares que no cumplen con el criterio mínimo de concordancia. Se registraron desperdicios de tiempo de ciclo por pieza, horas de inspección y maquinado por pieza, debido a que los inspectores visuales detectan hasta 200% más de los defectos existentes. Por consecuencia, el proceso de certificación de la pieza se ralentiza, traducándose en dinero que la empresa está dejando generar o perdiendo. Lo que permite que este proceso pueda satisfacer los requerimientos del cliente, es que ante la repetitiva inspección y trabajo que recibe cada pieza después de las evaluaciones, al final se identifican todos los defectos reales. No obstante, el ideal es que esto pueda lograrse en la primera inspección y que el segundo ciclo de la pieza sirva para verificar que los defectos han sido eliminados para que la pieza pueda pasar a la siguiente etapa de certificación.

#### **4.7.1.2 Estimación de la pérdida**

La pérdida de \$246,155.20 dólares se estimó considerando el sobre inspeccionamiento de la pieza. Se comparó el número real de defectos totales del experimento en VIT de todas las piezas, multiplicados por todos los ensayos y todos los evaluadores contra el número de defectos medidos por todos los evaluadores en todas las piezas y en todos los ensayos. La diferencia fue de 2067 datos, esto quiere decir que se midieron 2067 defectos inexistentes en las piezas del estudio. Esta cantidad de datos leídos equivale a la inspección de 72 piezas con características similares a la P2 de este experimento, la cual se considera una pieza promedio en cantidad de defectos.

Con el apoyo del departamento de Finanzas se determinó que todos los desperdicios relacionados al sobreprocesamiento como tiempo de inspección, tiempo de maquinado, materiales y mano de obra correspondían a \$22,179.60 dólares mensuales que la empresa estaba dejando de ganar a causa de esta inspección ineficiente y al efecto sobre toda la cadena productiva. Por último, el departamento proyectó estas cifras (de acuerdo con la producción anual) y determinó que toda esta cadena de desperdicios representaba \$246,155.20 dólares que la empresa estaba dejando de ganar por año. La información relacionada al análisis financiero (costos de operación, de maquinado, de inspección, etc.) y los cálculos realizados no es posible presentarlos a detalle debido a que no se autorizó por la empresa la publicación de esta información (Convenio de Confidencialidad).

## 4.7.2 Resultados del análisis de acuerdo de atributo de la prueba de rayos x (RT)

### 4.7.2.1 Acuerdo por Atributo (Identificar Defecto Específico)

A diferencia del VIT, Radiographics Testing (RT) es un proceso más controlado, en un “buen día” cada inspector podría estar coincidiendo hasta un 80% consigo mismo. En la tabla 38 se puede observar que las concordancias de cada evaluador contra si mismo oscilan entre el 60% y 80%, respectivamente. Asimismo, el Índice de Confiabilidad (IC) de E1 llega hasta el 75%, mientras que para los otros tres inspectores el IC puede llegar por arriba del 80%. Por otro lado, en un “mal día” E1 podría bajar la confiabilidad de sus mediciones hasta un 50%; en este caso, la inspección se convierte en un albur ya que, como puede que un inspector encuentre el mismo defecto en la misma pieza y en el mismo lugar en una segunda y tercera inspección, también hay probabilidades de que no lo haga.

*Tabla 38: MSA de RT por Atributo: individual por evaluador.*

*Fuente: Tabla obtenida por medio de Minitab con datos del experimento propuesto.*

Individual por evaluador				
Acuerdo de evaluación				
Evaluador	No. de inspeccionados	No. de coincidencias	Porcentaje	IC de 95%
E1	40	24	60.00	(43.33, 75.14)
R2	40	27	67.50	(50.87, 81.43)
H3	40	31	77.50	(61.55, 89.16)
A4	40	32	80.00	(64.35, 90.95)

*No. de coincidencias: El evaluador coincide consigo a través de las pruebas.*

En la tabla 39 se aprecia que, al comparar a cada inspector contra el valor estándar, sus porcentajes de concordancia bajan significativamente respecto a la tabla 38. En el análisis de cada evaluador contra el estándar sólo un inspector alcanzó el 60% de concordancia con el valor real esperado. Sobresalen los resultados del inspector A4, quien tiene más antigüedad o experiencia en el puesto (ver tabla 32) y pertenece al turno de la noche, en el que, se comprobó, existen menos distracciones de otros empleados y menor carga de tareas. El segundo inspector con mejores resultados es H3, ya que, por ser el más nuevo en el área, su carga laboral es menor que el resto de los evaluadores.

*Tabla 39: MSA de RT por Atributo: cada evaluador contra el estándar.*

*Fuente: Tabla obtenida por medio de Minitab con datos del experimento propuesto.*

Cada evaluador vs. el estándar				
Acuerdo de evaluación				
Evaluador	No. de inspeccionados	No. de coincidencias	Porcentaje	IC de 95%
E1	40	16	40.00	(24.86, 56.67)
R2	40	15	37.50	(22.73, 54.20)
H3	40	20	50.00	(33.80, 66.20)
A4	40	25	62.50	(45.80, 77.27)

*No. de coincidencias: La estimación del evaluador en los diferentes ensayos coincide con el estándar conocido.*

El porcentaje de concordancia del proceso RT baja si se mide primero el acuerdo entre los inspectores y posteriormente dicho acuerdo se compara contra el estándar, como lo muestran las tablas 40 y 41. Lo que sugiere que, de incrementarse la capacitación y calidad de la comunicación en el departamento, el criterio de los evaluadores encontraría un nivel más homogéneo, de manera que éstos podrán identificar el mismo defecto cuando éste ocurra.

*Tabla 40: MSA de RT por Atributo: acuerdo entre evaluadores.*

*Fuente: Tabla obtenida por medio de Minitab con datos del experimento propuesto.*

Entre evaluadores				
Acuerdo de evaluación				
No. de inspeccionados	No. de coincidencias	Porcentaje	IC de 95%	
40	10	25.00	(12.69, 41.20)	

*No. de coincidencias: Todas las estimaciones de los evaluadores coinciden entre sí.*

*Tabla 41: MSA de RT por Atributo: todos los evaluadores contra el estándar.*

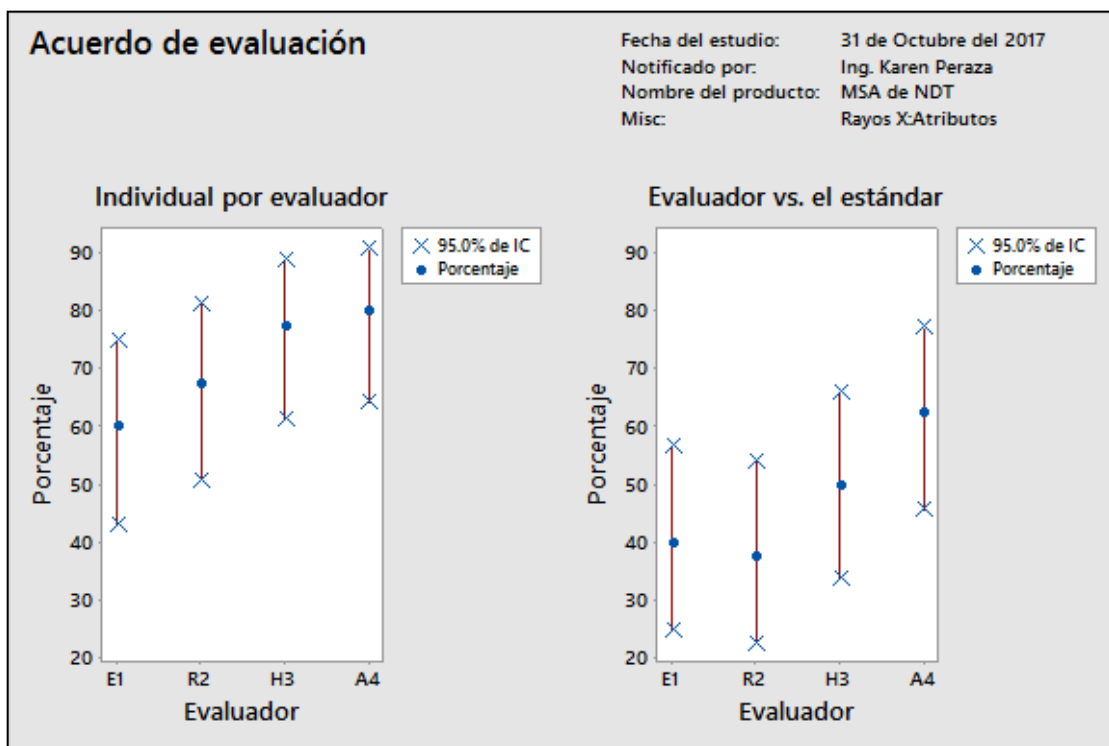
*Fuente: Tabla obtenida por medio de Minitab con datos del experimento propuesto.*

Todos los evaluadores vs. el estándar				
Acuerdo de evaluación				
No. de inspeccionados	No. de coincidencias	Porcentaje	IC de 95%	
40	7	17.50	(7.34, 32.78)	

*No. de coincidencias: Todas las estimaciones de los evaluadores coinciden con el estándar conocido.*

Es importante destacar que se busca un Índice de Confiabilidad (IC) con variaciones mínimas entre si para incrementar la confianza en las mediciones de los inspectores. En este sentido, un IC cerrado indica que el porcentaje de concordancia que arroja cada inspector no variará mucho, pudiendo pronosticar sus mediciones. Es decir, la confianza en las mediciones del inspector en cuestión se sostiene, independientemente si éste tiene un día “bueno” o “malo”, ya que él siempre mantiene un porcentaje de concordancia del 80% (+/-5%). Sin embargo, si el IC es muy amplio entonces la incertidumbre aumenta y no se puede pronosticar o confiar en las mediciones del evaluador, debido a la pronunciada variación continua.

La gráfica 11 es una representación de la concordancia entre inspecciones de RT, según los resultados de las tablas 38 y 39. Esta muestra que el IC para cada caso y cada inspector es muy amplio, lo cual no es recomendable.



Gráfica 11: Concordancia entre inspecciones de RT; resultados del análisis de acuerdo por atributo, se muestra la concordancia individual por inspector y cada inspector contra el estándar. Fuente: gráfica obtenida por medio de Minitab con datos del experimento propuesto.

#### 4.7.2.2 Acuerdo por Pieza (Pasa/No Pasa)

A diferencia de RT por atributo, RT por pieza sitúa un mayor nivel de responsabilidad/confianza en el evaluador pues en este caso el inspector acepta o rechaza una pieza después del análisis de ésta, sin importar la cantidad, tipo y variedad de defectos o discontinuidades que ésta tenía. Por ejemplo, el inspector acepta la vista o película de una pieza, lo que se traduce en que dicha pieza no tiene ningún defecto y no requerirá una segunda o tercera vuelta en RT, sino que pasará directo a certificación. Los porcentajes aceptables de concordancia de las evaluaciones de los inspectores contra el valor estándar se vuelven más importantes, ya que podría suceder que la pieza aceptada tenga defectos, resultando en un falso-negativo en que la pieza pasará como buena cuando en realidad es mala, o viceversa.

En este sentido, en la tabla 42 podemos observar que los inspectores de RT tienen una mejor concordancia al aceptar o rechazar una pieza por vista, en comparación a la concordancia que tienen al identificar y detectar un atributo. En esta tabla se puede ver como sólo un inspector está por debajo del 80% de concordancia en el análisis individual. Además, hay un inspector que coincidió el 100% de las veces sobre la decisión de aceptar o rechazar la misma pieza todas las veces que la inspeccionó con un IC muy cerrado. Como se mencionó anteriormente, un IC cerrado genera certidumbre, ya que el inspector H3 tendrá un 90% de concordancia contra si mismo, aunque haga una “mala” inspección.

Tabla 42: MSA de RT por Vista: individual por evaluador.

Fuente: Tabla obtenida por medio de Minitab con datos del experimento propuesto.

Individual por evaluador				
Acuerdo de evaluación				
Evaluador	No. de inspeccionados	No. de coincidencias	Porcentaje	IC de 95%
E1	30	19	63.33	(43.86, 80.07)
R2	30	26	86.67	(69.28, 96.24)
H3	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
A4	30	26	86.67	(69.28, 96.24)

No. de coincidencias: El evaluador coincide consigo a través de las pruebas.

Al comparar a cada inspector contra el valor estándar, como muestra la tabla 43, los porcentajes de concordancia disminuyen en comparación a los resultados de la tabla 42. Sin embargo, continúan situados en una posición muy favorable para alcanzar el mínimo de concordancia aceptable.

*Tabla 43: MSA de RT por Vista: cada evaluador contra el estándar.*

*Fuente: Tabla obtenida por medio de Minitab con datos del experimento propuesto.*

<b>Cada evaluador vs. el estándar</b>				
<b>Acuerdo de evaluación</b>				
<u>Evaluador</u>	<u>No. de inspeccionados</u>	<u>No. de coincidencias</u>	<u>Porcentaje</u>	<u>IC de 95%</u>
E1	30	18	60.00	(40.60, 77.34)
R2	30	23	76.67	(57.72, 90.07)
H3	30	29	96.67	(82.78, 99.92)
A4	30	21	70.00	(50.60, 85.27)

*No. de coincidencias: La estimación del evaluador en los diferentes ensayos coincide con el estándar conocido.*

Las observaciones que destacan de la tabla 43 son las siguientes: 1) El evaluador E1, quien es el jefe y líder de los otros tres inspectores, es el que menos coincide con el valor estándar y cuyo IC no rebasa el 80% representando un foco rojo en el departamento RT por su bajo nivel de concordancia con él mismo y con el estándar. Esto podría indicar que E1 no inspecciona correctamente las piezas debido a la sobre carga de responsabilidades e interrupciones por empleados de otros departamentos o que sufre de ceguera de taller. 2) Siendo el empleado con menor antigüedad y menos experiencia, H3 sigue manteniendo una concordancia por arriba del 90% contra el valor estándar. Se puede deducir que posiblemente realice mejor su trabajo debido a que es más cuidadoso con su desempeño y tiene menos “vicios” al momento de inspeccionar una pieza.

En las tablas 44 y 45 la concordancia entre los inspectores bajó significativamente respecto a las tablas 43 y 42. Se observa que hay un acuerdo del 30% en todas las coincidencias; en todas estas evaluaciones los 4 inspectores estuvieron de acuerdo en tomar la misma decisión de aceptar o rechazar una pieza, decisión que coincidió con el valor estándar el 30% de las veces. De manera que si aumentamos el porcentaje de acuerdo entre evaluadores es posible que el porcentaje de la

tabla 45 también incremente. Lo anterior se puede lograr por medio de capacitación, supervisión aleatoria, exámenes rutinarios y mejorar la calidad de la comunicación del departamento.

*Tabla 44: MSA de RT por Vista: acuerdo entre evaluadores.*

*Fuente: Tabla obtenida por medio de Minitab con datos del experimento propuesto.*

<b>Entre evaluadores</b>			
<b>Acuerdo de evaluación</b>			
No. de inspeccionados	No. de coincidencias	Porcentaje	IC de 95%
30	9	30.00	(14.73, 49.40)
<i>No. de coincidencias: Todas las estimaciones de los evaluadores coinciden entre sí.</i>			

*Tabla 45: MSA de RT por Vista: todos los evaluadores contra el estándar.*

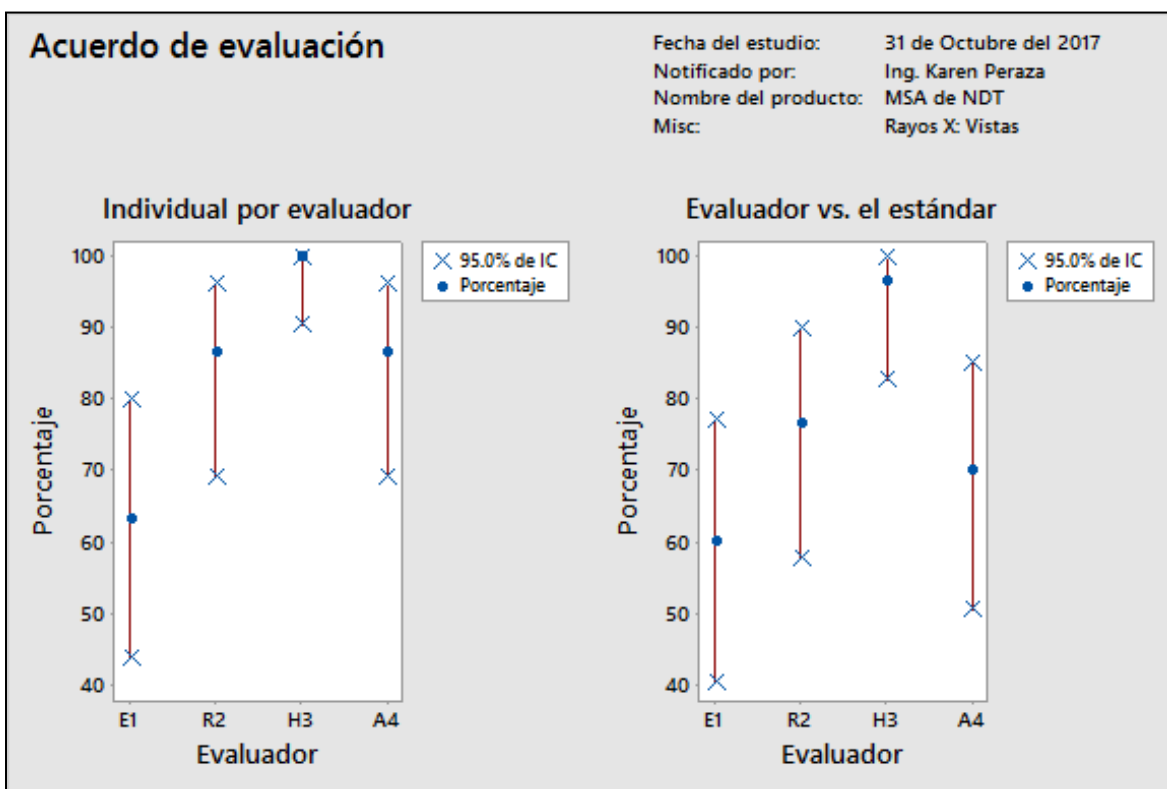
*Fuente: Tabla obtenida por medio de Minitab con datos del experimento propuesto.*

<b>Todos los evaluadores vs. el estándar</b>			
<b>Acuerdo de evaluación</b>			
No. de inspeccionados	No. de coincidencias	Porcentaje	IC de 95%
30	9	30.00	(14.73, 49.40)
<i>No. de coincidencias: Todas las estimaciones de los evaluadores coinciden con el estándar conocido.</i>			

En general, el equipo de inspectores de RT mantienen una concordancia que oscila entre “regular” y “buena”. Sin embargo, debido al tipo de producto y su aplicación final, así como a las normas de seguridad del Sector Aeroespacial, dichos resultados no son aceptables en un sistema de medición. Igual que en el caso de VIT, lo que permite a la empresa garantizar que cumple con los requerimientos del cliente es que, debido a la falta de concordancia, cada pieza se inspecciona hasta cinco veces (5 ciclos), alcanzando a identificar todos los defectos reales. Por un lado, gracias al sobre-procesamiento, la empresa no certifica piezas defectuosas lo que podría interpretarse positivamente. No obstante, esto ocasiona Costos de Mala Calidad (Cost of Poor Quality - COPQ) debido a que el sobre-procesamiento de la pieza ocasiona costos adicionales de inspección, prevención y fallos internos. En el caso de esta empresa, existe un precio establecido por cada

pieza, por lo que los COPQ no afectarán directamente el precio final del producto. Sin embargo, la empresa recibe la misma cantidad de dinero por una pieza certificada en un ciclo que por una pieza que necesita 6 ciclos para certificarse. De manera que la empresa absorbe dichas pérdidas. Lo ideal es que cada pieza logre certificarse en el primer o segundo ciclo de inspecciones.

La gráfica 12 muestra que el proceso RT por vista tiene resultados regulares que tienden a ser “buenos” o “muy buenos”. Con estrategias adecuadas, este proceso puede alcanzar el 90% de confiabilidad y concordancia en poco tiempo. Los resultados de las tablas 42 y 43 son ilustrados en la siguiente gráfica:



Gráfica 12: Concordancia entre inspecciones de RT; resultados del análisis de acuerdo por decisión sobre aceptar o rechazar una vista (película radiográfica), se muestra la concordancia individual por inspector y cada inspector contra el estándar. Fuente: gráfica obtenida por medio de Minitab con datos del experimento propuesto.

Durante el Caso de Estudio del Análisis al Sistema de Medición (MSA) de VIT y RT, con duración de 3 meses cada uno, se experimentaron varios de los FCE propuestos inicialmente, como:

1. En algunos casos, los evaluadores participantes, los empleados externos al experimento y los altos mandos presentaron Resistencia al Cambio manifestando actitudes dirigidas a sabotear el experimento y todo el proyecto DMAIC.
2. Se registró que la calidad de la comunicación tuvo considerable influencia en la falta de concordancia entre evaluadores.
3. El Clima de Aprendizaje Organizacional afectaba la Comunicación y el desempeño del EAR desde el punto de vista de la transferencia de conocimiento y la integración.
4. Se experimentó que el Compromiso de la Gerencia puede perjudicar o favorecer el trabajo en equipo, influir en la confianza de los empleados para pedir orientación, e impactar las decisiones sobre la capacitación constante cómo estrategia de mejora continua.

## **5. CONCLUSIONES GENERALES**

### **5.1 Objetivo 1: análisis bibliográfico**

Se encontró que otros países líderes en el sector aeroespacial han realizado investigaciones similares. Éstas registran que la implementación de LSS en las gestiones de procesos de Manufactura, MRO, I&D, Cadena de suministro y Servicios frecuentemente exhiben FCE como RC, Cm, EC, SP, CAO, EAR y CG. Además, el cúmulo de investigaciones sugiere que la transferencia intersectorial de LSS es posible adecuando las herramientas al contexto de cada empresa; tomando en cuenta el tipo de producto, manufactura, ubicación de la empresa, contexto cultural de los empleados, entre otros factores. En estas aportaciones se registraron resultados positivos tras implementar LSS en las empresas aeroespaciales estudiadas; en general, todos los beneficios apuntados en la literatura conllevaban al incremento de la competitividad del producto y de la empresa. Por lo tanto, fue posible responder a la pregunta ¿Cuáles son los factores críticos de éxito involucrados en la implementación de *Lean Six Sigma* en la industria aeroespacial? Al determinar el listado de FCE más comunes presentes en la implementación de LSS en la IA. Se acepta  $H_1$ .

### **5.2 Objetivo 2: instrumento de recolección de datos**

Se diseñó y validó un instrumento de medición para caracterizar la Industria Aeroespacial de Baja California. La validación de contenido se llevó a cabo utilizando el Método Delphi, mientras que la validación de consistencia interna se realizó por medio del análisis del coeficiente Alfa de Cronbach. El coeficiente general del instrumento es 0.864, el cual se encuentra dentro del rango aceptable según los expertos en el tema. Se determinó el Alfa de Cronbach para cada constructo arrojando coeficientes aceptables de acuerdo con la muestra utilizada para la validación. Dichos coeficientes indican que el instrumento tiene consistencia interna y que los ítems propuestos miden los FCE que se desean; la única excepción cae en el factor Entorno Cultural, cuya composición del constructo se debe modificar o realizar una prueba en una muestra más grande.

#### **5.2.1 Respuesta a las preguntas de investigación del proyecto**

La validación del instrumento utilizando el Método Delphi y la estimación del coeficiente Alfa de Cronbach prueban que el instrumento propuesto es un instrumento de recolección de datos

confiable, con fundamentos científicos y estadísticos que avalan la capacidad del instrumento para caracterizar la implementación de *Lean Six Sigma* en la industria aeroespacial de Baja California. El instrumento permite dar respuesta a la necesidad planteada al inicio de esta investigación sobre caracterizar la implementación de Lean Six Sigma en la Industria Aeroespacial de Baja California. En este sentido, la robustez del instrumento permite: 1) caracterizar cómo, las empresas aeroespaciales bajacalifornianas, implementan LSS respecto a los FCE que intervienen en éste proceso; 2) contribuir en la determinación de las herramientas más utilizadas en los procesos de manufactura; 3) brindar información sobre los resultados positivos que han experimentados las empresas que han adoptado LSS en la gestión de sus procesos industriales.

Asimismo, el instrumento permite conocer la postura de las empresas respecto a la certificación del personal, la capacitación en el uso de la metodología y la implementación enfocada a las características de la manufactura aeroespacial.

### **5.2.2 Determinación acerca de la hipótesis planteada**

H<sub>2</sub>: *Es posible caracterizar la implementación de Lean Six Sigma en la Industria Aeroespacial de Baja California a través de un Instrumento de recolección de datos confiable.* Un instrumento de recolección de datos confiable debe estar respaldado por la validación de expertos en el tema y por la validación estadística. Además, debe de estar respaldado por el uso de fuentes bibliográficas confiables y por una metodología clara y coherente que les permita a otros investigadores reproducir las etapas de la validación, tanto de contenido como de confiabilidad. De tal modo, este proyecto propone un instrumento de medición confiable que permite caracterizar la implementación de LSS en la IA de BC, por lo tanto, se acepta la hipótesis H<sub>2</sub>.

### **5.3 Objetivo 3: caso de estudio en una empresa aeroespacial de BC**

La parte experimental del proyecto (Caso de Estudio) permitió obtener información real y actual sobre cómo una empresa aeroespacial de Baja California implementa las herramientas de LSS y lleva a cabo su proyecto de mejora continua. La importancia de este Caso de Estudio radica en el desarrollo de una teoría que podría ser transferida y aplicada a otros casos [92].

La empresa nos informó que validaba sus procesos por otras vías, no estadísticas, y que consideraban que herramientas como el gage R&R o el AAA no eran aplicables al SA. En este sentido, y para responder a una necesidad real, se diseñó el experimento y se adecuó la herramienta AAA al tipo de proceso y de piezas, por medio de un MSA de los procesos NDT.

El MSA en el Radiographics Test (RT) resultó en porcentajes positivos, estableciendo concordancia regular. Brindando a la compañía información solicitada por su cliente para garantizar el cumplimiento de los requerimientos. Por otra parte, el MSA en Visual Inspection Testing (VIT) arrojó porcentajes bajos, en el acuerdo del evaluador consigo mismo y contra el valor estándar, revelando que esto causa varios ciclos de sobre-procesamiento e inspección. La empresa resulto satisfecha por la aplicación de este estudio, ya que se logró identificar pérdidas de aproximadamente \$246,440 dólares al año por sobre-pruebas, re-trabajo y otros tipos de desperdicios.

Todos los requerimientos de la empresa fueron cubiertos satisfactoriamente, tales como:

1. Ser capacitada en el uso, aplicación y análisis de esta herramienta.
2. Confeccionar y crear un manual detallado para la capacitación del departamento de control de calidad.
3. Realizar y entregar el diseño de películas radiográficas que cumplieran con los criterios de un AAA confiable para que el departamento de NDT realice nuevos MSA cada seis meses de forma autónoma.

### **5.3.1 Respuesta a las preguntas de investigación de este proyecto**

Este proyecto atiende la necesidad real de una empresa aeroespacial para validar la confiabilidad de su sistema de medición a través de métodos respaldados. Aportando la oportunidad para contribuir una respuesta inicial a la pregunta: ¿Es posible determinar factores, herramientas y beneficios al implementar Lean Six Sigma en un caso de estudio?

La empresa participante recientemente empezó a capacitar y certificar el personal sobre el uso de LSS, por requerimiento del corporativo. La empresa externó su inquietud sobre realizar esta

validación por medio del MSA y del AAA, pues anteriormente habían intentado implementar dichas herramientas sin éxito. Los directivos de esta planta también indicaron que ven en LSS técnicas y herramientas que pueden ayudarles a mejorar su producto, pero que han enfrentado barreras como la disponibilidad del recurso económico para la capacitación, la alta demanda de producción, el desconocer como adecuar las herramientas a las características de sus procesos y la actitud de los empleados. En esta última, los directivos indicaron que desde las primeras etapas de la implementación de LSS, han experimentado que el entorno cultural del empleado y el sentido de pertenencia de éste han influido en los resultados de la implementación debido a la resistencia al cambio. Además, señalaron que la calidad de la comunicación afectaba el desempeño del equipo de alto rendimiento. Respecto al compromiso de la gerencia y al clima de aprendizaje organizacional mencionaron que ante la demanda de producción, es difícil destinar los recursos y el tiempo para capacitar y certificar al personal.

Hay una posibilidad de que haya otras empresas enfrentando los mismos retos que la estudiada. Empresas que requieran información para saber cómo manejar la actitud de los empleados ante la adopción de mejores prácticas, cómo adecuar las herramientas de LSS a la medida de sus necesidades y cómo compaginar la capacitación y certificación con las actividades diarias de la empresa. Esto representa una oportunidad de estudio y aplicación que puede beneficiar considerablemente la industria aeroespacial de Baja California.

### **5.3.2 Determinación acerca de la hipótesis planteada**

H<sub>3</sub>: *Los factores (FCE), herramientas y beneficios registrados durante la implementación del Caso de Estudio son concordantes con lo encontrado a nivel mundial.* Durante el caso de estudio fue necesario adecuar las herramientas a las características del proceso de manera que el MSA fueran funcional para esta empresa. En el desarrollo del MSA los factores EC, RC, Cm, CAO, CG, SP y EAR se manifestaron en diferentes etapas e influyeron, cada uno en diferente medida, sobre los resultados del caso de estudio.

El Análisis al Sistema de Medición a través del método Análisis de Acuerdo por Atributo permitió medir y validar la confiabilidad de dos de los procesos de *Pruebas No Destructivas* de una empresa

aeroespacial de Baja California. La empresa quedó satisfecha con el desarrollo del experimento y con los resultados obtenidos; un cambio considerable, ya que la empresa tenía previos intentos fallidos que la llevaron a determinar que este tipo de herramientas no funcionaban para el SA. Además, la empresa decidió que el MSA, por medio de AAA, será parte de sus estudios obligatorios y buscarán implementarlo en el resto de los procesos que realizan, estandarizando el estudio.

Todos estos resultados permiten aceptar las hipótesis H<sub>3</sub>.

## **5.4 Recomendaciones**

Esta investigación ha sentado las bases para expandir la investigación y aplicación de *Lean Six Sigma* en la gestión de procesos de manufactura de la industria aeroespacial de Baja California. Este primer acercamiento ha permitido conocer el estado actual de las empresas frente a esta metodología y presenta la clara necesidad de realizar más casos de estudio como futuras investigaciones; obtener más información confiable permitirá desarrollar una teoría de implementación a la medida de la cultura de Baja California. Se sugiere que estos nuevos casos de estudio se realicen en empresas ubicadas en los diferentes municipios del Estado. Asimismo, se podría maximizar recursos al identificar empresas que sean representativas de la IA de BC, con el fin de generar resultados que puedan ser adoptados por empresas con características similares; este tipo de práctica permitiría orientar la investigación hacia el encuentro de soluciones a las necesidades actuales y podría minimizar especulaciones.

También, se recomienda incrementar la aplicación del instrumento sobre la muestra representativa para caracterizar el sector aeroespacial mediante el uso de la metodología Lean Six Sigma y los factores críticos de éxito necesario para su correcta implementación.

Estudios de variables con fundamentos científicos tendrán efectos directos en la competitividad del proceso de manufactura y el éxito de la metodología LSS en Baja California. En este sentido, será favorable que nuevas investigaciones generen modelos estructurales sobre la correlación que puede existir entre los factores críticos de éxito. Esto permitirá establecer una ruta clara para utilizar LSS en proyectos de mejora continua, así como control y gestión de calidad.

El avance de estas recomendaciones podría recaer en estrechar la colaboración entre el sector aeroespacial de Baja California e instituciones educativas y de investigación. Las últimas pueden, además de generar personal altamente calificado para operar, contribuir con investigación, evaluación y mapas de implementación para mejorar, establecer y certificar los estándares de calidad de dichas industrias.

## 5.5 Comentarios de las empresas participantes

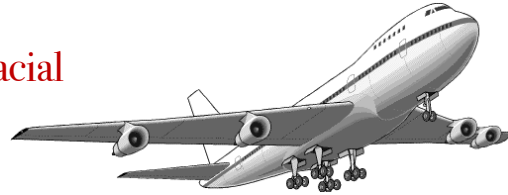
La siguiente tabla muestra algunos de los comentarios de las empresas que recibieron una invitación para colaborar. Se puede observar el amplio interés en trabajar de manera conjunta con el sector académico para ampliar el tema:

<b>Comentarios de las empresas participantes</b>	
<b>Fuente: Entrevistas</b>	
<b>Empresa A</b>	<i>Nos parece una investigación muy apropiada para el sector debido a lo que estamos haciendo en la empresa, actualmente estamos capacitando a nuestros ingenieros en esta metodología.</i>
<b>Empresa B</b>	<i>Estamos interesados en los resultados que arroje este proyecto debido a que el corporativo nos ha pedido que certifiquemos al personal clave.</i>
<b>Empresa C</b>	<i>Nosotros ya implementamos LSS en algunos procesos, sin embargo, queremos implementarlo en toda la empresa pues somos testigos de sus beneficios.</i>
<b>Empresa D</b>	<i>Es un proyecto interesante, estaremos al pendiente de los resultados.</i>
<b>Empresa E</b>	<i>Es un proyecto muy interesante y apropiado para el sector, nosotros constantemente estamos buscando proyectos con universidades para realizar casos de estudios y mejorar nuestros procesos con este tipo de herramientas.</i>
<b>Empresa F</b>	<i>Con gusto aportaremos nuestro granito de arena, cualquier información que nos ayude a ser mejores es bienvenida.</i>
<b>Empresa G</b>	<i>Es una propuesta muy interesante el enfocarse en el estudio de LSS y como adecuarla a este sector; esperamos ser parte de un caso de estudio pues será muy beneficioso para nosotros si contamos con su asesoramiento para hacer las herramientas de LSS a la medida de nuestras necesidades.</i>
<b>Empresa H</b>	<i>Proyectos como éste, en el que la academia se involucra con la industria son ideales para resolver los verdaderos problemas del día a día. En temas de industria y SA la ciencia debe hacerse desde las líneas de producción y no sólo en el aula.</i>

# Apéndice

Instrumento

## Lean Six Sigma en la Industria Aeroespacial de Baja California



La metodología Lean Six Sigma (LSS) es una eficaz opción para reducir y controlar la variación y los desperdicios en los procesos de manufactura, por lo tanto, es pertinente obtener información sobre la implementación de LSS en las empresas aeroespaciales de Baja California y determinar los factores críticos de éxito en la implementación así como las herramientas adecuadas con el contexto individual de la industria aeroespacial bajacaliforniana; esto permitirá determinar las actividades principales en las que las empresas deben centrar su atención para adoptar e implementar LSS con éxito. La información proporcionada es confidencial y con fines académicos; de manera que todo el proyecto está regulado por la Universidad Autónoma de Baja California.

**\*Por favor responda cada sección con la información que se le pide.**

### Datos personales del encuestado

- 1) Edad: \_\_\_\_\_ 2) Sexo: \_\_\_\_\_ Femenino \_\_\_\_\_ Masculino
- 3) Grado Académico: \_\_\_\_\_
- 4) Puesto: \_\_\_\_\_
- 5) Antigüedad en el puesto (Cantidad en años: 0.5, 1, 5, etc.): \_\_\_\_\_

### Datos generales de la empresa

6) Actividades principales de la empresa:

- |                                      |   |   |
|--------------------------------------|---|---|
| <input type="checkbox"/> Diseño      | <input type="checkbox"/> Mantenimiento, | <input type="checkbox"/> Entrenamiento,   |
| <input type="checkbox"/> Manufactura | Modificación y                          | Capacitación y Calificación               |
|                                      | Reacondicionamiento                     | <input type="checkbox"/> Almacenamiento y |
|                                      |   | Disposición de Aeronave                   |

7) municipio en donde se encuentra la empresa:

Ensenada       Mexicali       Rosarito       Tecate       Tijuana

8) Categoría aeroespacial de la empresa:

(De acuerdo con la Secretaría de Economía: Dirección General de Industrias Pesadas y de Alta Tecnología)

OEM

(Original Equipment Manufacturer: Integración de aeronaves y motores, desarrollo de nuevos modelos de aeronaves y venta al cliente final.)

(Proveedores de Segundo Nivel: Actividades de montajes de sub-ensambles y secciones para integrarse a aeroestructuras, sistemas de aviónica, motores, interiores de avión y tren de aterrizaje.)

Tier 1

(Proveedor de Primer Nivel: Actividades de ensamble, fabricación de productos de alto valor e integración de grandes subsistemas como aeroestructuras, sistemas de aviónica, interiores de avión, tren de aterrizaje y actuadores, entre otros.)

Tier3

(Proveedores de Tercer Nivel: Actividades de diseño y/o fabricación de partes y componentes elementales como tornillos, cristales, cubreasientos, etc.)

Tier 2

9) Tipos de productos que manufactura la empresa:

(Clasificación de acuerdo con la Secretaría de Economía: Dirección General de Industrias Pesadas y de Alta Tecnología.)

Partes de turbina

Interiores de aviones y

Ensamble de Aeronaves

Productos aislantes

equipos de emergencia

Otros Productos de Avión

Componentes

Arneses

electrónicos

Maquinados y Metales

10) País de origen de la empresa:

Estados Unidos de América

Alemania

Otro(¿Cuál?):

Francia

Suecia

\_\_\_\_\_

Reino Unido

Taiwán

\_\_\_\_\_

México

11) Cantidad de empleados que tiene la empresa:

De 1 a 10 empleados  De 11 a 50 empleados  De 51 a 250 empleados  Más de 250 empleados

12) Acreditaciones y Certificaciones de la empresa: (Puede seleccionar varias opciones)

NADCAP

(National Aerospace and Defense Contractors Accreditation Program)

AS 9100

(Gestión de calidad y riesgo en la industria aeroespacial)

AS9110

(Norma que establece los criterios para las empresas que proporcionan revisiones, reparaciones y mantenimiento a aeronaves militares, privadas y comerciales)

La empresa No cuenta con acreditaciones o certificaciones

AS9120

(Norma que establece los requisitos para las empresas distribuidoras de aviación, espacio y defensa)

ISO 9001

(International Organization for Standardization)

Otro (¿Cuál?): \_\_\_\_\_

13) Considera usted que algunas de las certificaciones mencionadas anteriormente no se han adquirido por las siguientes razones: (Puede seleccionar varias opciones)

No son adecuadas para el producto/servicio que ofrece esta empresa

No son indispensables para vender nuestro producto/servicio

No se han requerido por parte de Organismos Reguladores del Sector Aeroespacial (Organización de Aviación Civil Internacional, Federal Aviation Administration, European Aviation Safety Agency, Dirección General de Aviación Civil, Clúster, etc.)

No se han requerido por parte del Cliente

No se han requerido por parte del Corporativo

Son muy costosas (Dinero)

Son muy demandantes (Tiempo, Esfuerzo, Trabajo, etc.)

Se desconocían

Otro: \_\_\_\_\_

## Normatividad y Certificación Aeroespacial

Dentro de la industria aeroespacial existen protocolos establecidos por las Autoridades Aeroespaciales que determinan si una parte se puede certificar para el uso Aeronáutico/Espacial.

(Certifican que el diseño, manufactura, mantenimiento, reparación, etc., de una parte, cumplen con los procedimientos de seguridad y calidad certificados para que dicho producto/servicio pueda ser utilizado en una aeronave)

14) La empresa opera con base en las normas establecidas por las autoridades aeroespaciales como:

\_\_ OACI (Organización de la Aviación Civil Internacional)

\_\_ EASA (European Aviation Safety Agency)

\_\_ FAA (Federal Aviation Administration)

\_\_ DGAC (Dirección General de Aeronáutica Civil de México)

15) Seleccione las opciones que describen mejor a su empresa:

PROTOCOLO	DESCRIPCIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA RESPECTO AL PROTOCOLO INDICADO		
	La empresa implementa estas normas en los procesos o productos correspondientes.	La empresa tiene conocimiento de estas normas pero no las implementa.	La empresa desconoce estas normas.
<p><b>Anexo 19</b> Normas y Métodos recomendados internacionalmente para la gestión de la seguridad operacional emitido por la OACI</p>			
<p><b>FARs</b> Federal Aviation Regulations /Regulaciones Federales de Aviación, son reglas emitidas por la FAA que rige todas las actividades referentes a la aviación en E.U.A. Algunas son: <b>Part 21</b> - Certification Procedures for Products and Parts. <b>Part 23</b> - Airworthiness Standards: Normal, Utility, Acrobatic and Commuter Airplanes. <b>Part 25</b> - Airworthiness Standards: Transport Category Airplanes. <b>Part 43</b> - Maintenance, Preventive Maintenance, Rebuilding, and Alteration. Entre otras.</p>			
<p><b>SMS</b> Safety Management System Enfoque sistemático y explícito que define las actividades mediante las cuales una organización lleva a cabo la gestión de la seguridad operacional para lograr una seguridad aceptable o tolerable</p>			
<p><b>EASA Regulations</b> Establece normas de aplicación para la aeronavegabilidad y la certificación medioambiental de aeronaves y productos, piezas y aparatos relacionados, así como para la certificación de organizaciones de diseño y producción en Europa. Algunas son: <b>Part-21</b> - Especificaciones iniciales de aeronavegabilidad. <b>Part-26</b> - Especificaciones adicionales de aeronavegabilidad. Entre otras.</p>			
<b>Otro:</b>			

16) Respecto a las normas anteriores (Anexo 19, FARs, SMS, EASA Regulations, Etc.) ¿Qué motivos describen mejor la posición de la empresa respecto a estos protocolos?

PORQUÉ SÍ		PORQUÉ NO	
	Estas normas son esenciales para desarrollar el producto/servicio que ofrece esta empresa		Estas normas no se pueden aplicar al tipo de producto/servicio que ofrece esta empresa
	Son indispensables para vender nuestro producto/servicio		No son indispensables para vender nuestro producto/servicio
	Se han requerido por parte de Organismos Reguladores del Sector Aeroespacial en México		No se han requerido por parte de Organismos Reguladores del Sector Aeroespacial en México
	Se ha requerido por parte de los Clientes		No se ha requerido por parte de los Clientes
	Se ha requerido por parte del Corporativo		No se ha requerido por parte del Corporativo
Otro:			

17) La empresa cuenta con personal certificado ante una Autoridad Aeroespacial como la FAA o la EASA, con la capacidad de absorber responsabilidad legal sobre el producto/servicio que se está diseñando /manufacturando /reparando /brindando mantenimiento /acondicionando/ Etc.

	<b>Mecánico/Técnico designado</b>		<b>Inspector de mantenimiento de aeronave designado</b>
	Designated mechanic examiners (DME) Una persona autorizada para actuar como DME puede emitir certificados mecánicos prescritos por las Regulaciones Aéreas Civiles.		Designated aircraft maintenance inspectors (DAMI) Una persona autorizada para actuar como un DAMI puede aprobar el mantenimiento de aeronaves civiles.
	<b>Designated manufacturing inspection representative (DMIR)</b>		<b>Representantes de ingeniería designados</b>
	Designated manufacturing inspection representative (DMIR) Una persona designada como DMIR puede emitir certificados de aeronavegabilidad originales y de exportación para productos de aviones, motores, hélices, etc., que cumplen con datos de diseño aprobados y seguros para la operación. Tal autorización se limita a la planta de fabricación en que la persona designada está empleada.		Designated engineering representatives (DER) Una persona autorizada para actuar como un DER puede aprobar y certificar datos relacionados con su área de especialización, cuando tales datos han sido determinados por él para cumplir con las Regulaciones Aéreas Civiles.
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Structural Engineering</li> <li>• Powerplant Engineering</li> <li>• Systems and Equipment Engineering</li> <li>• Radio Engineering</li> <li>• Engine Engineering</li> <li>• Propeller Engineering,</li> <li>• Flight Analyst</li> <li>• Flight Test Pilot</li> </ul>
			Especialidad
Otro:			

## Sobre el uso de Lean Six Sigma

18) La empresa cuenta con personal certificado en Six Sigma (Yellow Belt, Green Belt, Black Belt o Master Black Belt):

- |  |  |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Todo el personal está certificado                   | <input type="checkbox"/> Poco personal está certificado      |
| <input type="checkbox"/> La mayoría del personal está certificado            | <input type="checkbox"/> Nadie del personal está certificado |
| <input type="checkbox"/> Alrededor de la mitad del personal está certificado |  |

19) Considera usted que algunas de las razones por las que el personal no está certificado en Six Sigma es porque:

- Las herramientas de esta metodología no se pueden aplicar al tipo de producto/servicio que ofrece esta empresa
- No se ha requerido por parte de los Clientes
- No se ha requerido por la Alta Gerencia
- La empresa considera que es muy costoso certificar al personal (Dinero)
- Esta certificación tiene herramientas muy complejas y difíciles de implementar
- A los empleados no les interesa certificarse
- Se desconocían estas certificaciones
- Otro: \_\_\_\_\_

20) La empresa cuenta con personal capacitado en la implementación de Lean Manufacturing:

- |   |   |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Todo el personal está capacitado                   | <input type="checkbox"/> Poco personal está capacitado      |
| <input type="checkbox"/> La mayoría del personal está capacitado            | <input type="checkbox"/> Nadie del personal está capacitado |
| <input type="checkbox"/> Alrededor de la mitad del personal está capacitado |   |

21) Considera usted que algunas de las razones por las que el personal no está capacitado en Lean Manufacturing es porque:

Las herramientas de esta metodología no se pueden aplicar al tipo de producto/servicio que ofrece esta empresa

No se ha requerido por parte de los Clientes

No se ha requerido por la Alta Gerencia

La empresa considera que es muy costoso certificar al personal (Dinero)

Esta metodología tiene herramientas muy complejas y difíciles de implementar

A los empleados no les interesa capacitarse

Se desconocía esta metodología

Otro: \_\_\_\_\_

22) En esta empresa se han impartido cursos de capacitación sobre herramientas de Lean Manufacturing y/o Six Sigma:

( ) Muy frecuentemente ( ) Frecuentemente ( ) Ocasionalmente ( ) Raramente ( ) Nunca

23) Un requisito importante al contratar personal para las áreas relacionadas a la manufactura de productos es que el candidato tenga conocimientos o certificaciones de la metodología Lean Manufacturing y/o Six Sigma:

( ) Muy importante ( ) Importante ( ) Moderadamente importante ( ) De poca importancia ( ) Sin importancia

24) ¿Desde hace cuánto tiempo se implementan herramientas de Lean Manufacturing y/o Six Sigma en esta empresa aproximadamente? (Respuesta en años: 0.5, 1, 6, etc.)

25) Número de procesos de manufactura principales con los que cuenta la empresa:

(Aquellos procesos que aportan mayor ingreso económico/ Aquellos procesos críticos por su aplicación final; Ejemplo: 9, 4, 15, etc.)

26) ¿En cuántos de los procesos de manufactura principales que tiene la empresa se utilizan herramientas de la metodología Lean Manufacturing y/o Six Sigma? (Ejemplo: 2, 4, etc.)

Resultados de la implementación de Lean Six Sigma

27) Beneficios obtenidos al implementar Lean Six Sigma:

<b>Beneficio</b>	<b>Siempre</b>	<b>Casi Siempre</b>	<b>Algunas Veces</b>	<b>Muy Pocas Veces</b>	<b>Nunca</b>
Incrementar Competitividad					
Incremento de Productividad					
Incrementar Calidad					
Incrementar la Satisfacción del Cliente					
Reducción de la Variación en Procesos de Manufactura					
Reducción en Tiempos de Entrega					
Reducción de Costos					
Reducción de Desperdicios					
Cambio de Proceso de Producción a Flujo Continuo					
Flexibilidad en las Estaciones de Trabajo para Realizar Varios Procesos o Productos					

Herramientas de Lean Six Sigma

28) Frecuencia de uso de las herramientas de Lean Manufacturing y/o Six Sigma:

Herramienta	Siempre	Casi Siempre	Algunas Veces	Muy Pocas Veces	Nunca
5S's (Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke)					
Kaizen (Mejora Continua: Deming)					
Jidoka (Verificación del Proceso)					
TPM (Mantenimiento Productivo Total)					
SMED (Single-Minute Exchange of Die)					
Poka Yoke (Diseño a prueba de errores)					
VSM (ValueStream Map)					
Kanban (Tarjetas Visuales de Resurtimiento)					
SIPOC (Diagrama de flujo a alto nivel)					
Diagrama de Flujo					
Diagrama Causa-Efecto					
Planillas de Inspección					
5 Why's					
8D (Ocho Disciplinas)					
QFD (Quality Function Deployment)					
Benchmarking (Seguimiento a competidores)					
AMEF (Análisis de Modo y Efecto de la Falla)					
Just in Time (Justo a tiempo)					
DPU, DPO, DPMO, PPM					
Gráficos de Control					
Histogramas					
Gráficos de Pareto					
Diagramas de Dispersión					
R&R (Gage Repeatability and Reproducibility)					
ANOVA (Análisis de Varianza)					
DOE (Diseño de Experimentos)					
Análisis de Regresión					
Otro:					

## Factores Críticos de Éxito

Por favor conteste seleccionando el escenario o circunstancia que más se asemeje a cómo se trabaja actualmente en su empresa.

### 29) Entorno Cultural

El análisis de entorno es importante porque dos empresas difícilmente tendrán una organización y gestión de la producción igual o muy parecida si sus países respectivos presentan diferentes características sociales o culturales. La manera de ser tanto de los empleados viene condicionada por su país de origen.

Descripción de la situación	Totalmente De Acuerdo	De Acuerdo	Indeciso	En Desacuerdo	Totalmente En Desacuerdo
Los empleados en los puestos más altos toma la mayoría de las decisiones sin consultar a los empleados que tienen puestos más bajos.					
Los empleados en puestos inferiores están de acuerdo con las decisiones que toman los empleados en puestos más altos y las aceptan con fiadamente.					
Es importante tener instrucciones de las tareas que debe realizar cada empleado, explicadas en detalle de manera que los empleados siempre saben lo que se espera que ellos hagan.					
A los empleados no les gusta realizar tareas que no son parte de su puesto de trabajo o que no están claramente incluidas en sus responsabilidades.					
Los empleados sacrifican su tiempo personal y anteponen el trabajo urgente de la empresa.					
Los empleados de esta empresa prefieren el bienestar de la empresa que las recompensas que puedan obtener ellos de forma individual.					
Los empleados trabajan arduamente cada día esperando tener éxito en el futuro dentro de esta organización.					

### 30) Resistencia al Cambio

En una empresa la RC es perjudicial porque si es Abierta, se manifiesta en huelgas, menor productividad, trabajo defectuoso o incluso sabotaje, y, si es Encubierta se refleja en demoras, ausentismos mayores, solicitudes de traslado, renuncias, pérdida de la motivación, moral más baja y tasas más altas de accidentes o errores.

Descripción de la situación	Totalmente De Acuerdo	De Acuerdo	Indeciso	En Desacuerdo	Totalmente En Desacuerdo
Los empleados estuvieron muy entusiasmados con el cambio cuando se implementaron nuevas formas de trabajar.					
Los empleados estuvieron estresados por el cambio cuando se implementaron nuevas formas de trabajar.					
Los empleados creyeron que el cambio implementado haría más difícil su trabajo.					
Los empleados de esta organización creyeron que podían beneficiarse personalmente del cambio implementado.					
Los empleados buscaron formas para evitar que el cambio se llevara a cabo.					
Los empleados de esta organización prefieren hacer las cosas que están acostumbrados a hacer, que probar cosas nuevas y diferentes.					
Los empleados de esta empresa están convencidos de que si la administración sugiere un cambio es porque está bien informada y tiene buenas razones para implementarlo.					
A los empleados de esta organización se le informa a tiempo acerca de los cambios que se implementarán (antes de implementar el cambio).					
En general, los empleados están satisfechos con su trabajo.					
Varios empleados atentaron con renunciar o renunciaron a raíz del cambio implementado en la empresa.					
Los empleados creen que su forma de vida se vería afectada si decidieran dejar de trabajar en esta empresa.					

### 31) Compromiso de la Alta Dirección

La gerencia asume un carácter vital, de máxima responsabilidad, para iniciar, apoyar y mantener hasta su conclusión, cualquier programa de mejoramiento y desarrollo en su organización.

Descripción de la situación	Totalmente De Acuerdo	De Acuerdo	Indeciso	En Desacuerdo	Totalmente En Desacuerdo
Capacitar a los empleados se considera más un gasto que una inversión.					
La alta gerencia ve la calidad como algo más importante que cumplir con la producción programada.					
Las sugerencias de los empleados son sistemáticamente evaluadas por la organización.					
Los empleados de esta empresa inspeccionan la calidad de su propio trabajo, la calidad no es responsabilidad de un supervisor o un departamento de calidad.					
Los empleados de esta compañía se expresan bien de los altos directivos (por su trabajo, responsabilidad, educación, etc.).					
Los altos directivos exponen a los empleados información sobre el buen futuro que le espera a esta empresa y a sus trabajadores.					

### 32) Comunicación

La comunicación es un factor de poder en las organizaciones por que hace posible la cohesión e identidad de sus miembros, constituye a su vez, la identificación, selección y combinación de los medios eficaces para el logro de los objetivos que se propone, genera la coordinación de las acciones que se requieren para la realización de estos objetivos.

Descripción de la situación	Totalmente De Acuerdo	De Acuerdo	Indeciso	En Desacuerdo	Totalmente En Desacuerdo
Los supervisores, ingenieros, gerentes y directivos brindan la confianza para que los empleados les informen directamente sobre los asuntos que no funcionan bien en sus respectivos puestos de trabajo.					
Los empleados de esta compañía sienten la libertad de decirles a sus jefes que no están de acuerdo con ellos.					
Los empleados de esta organización están satisfechos con las explicaciones recibidas de la gerencia acerca de por qué las cosas se están haciendo de la manera que se están haciendo.					
La empresa realiza actividades para que los empleados se conozcan sin importar su puesto o departamento.					
Las labores que debe desempeñar cada empleado en su puesto de trabajo están especificadas en un lenguaje claro.					

### 33) Sentido de Pertenencia

El sentido de pertenencia a la organización es el motor que impulsa al trabajador a hacer algo, aplicar lo que sabe y mejorarlo, comprometerse poco a poco y superarse. El compromiso es confianza en sí mismo, con los demás y con la organización.

Descripción de la situación	Totalmente De Acuerdo	De Acuerdo	Indeciso	En Desacuerdo	Totalmente En Desacuerdo
Los empleados han agradecido verbalmente a la empresa por la oportunidad de trabajar en ella.					
Los empleados disfrutan de la jornada de trabajo y no sienten pesado el paso del tiempo.					
Se percibe satisfacción en los empleados cuando desconocidos hablan bien de la empresa.					
Los empleados que trabajan en esta compañía recomiendan a sus familiares y amigos para que se les dé un empleo en esta empresa.					
Los empleados sienten que son un factor diferenciador dentro de esta empresa.					

### 34) Clima de Aprendizaje Organizacional

Las empresas que han desarrollado una fuerte cultura de aprendizaje son buenas en la creación, adquisición y transferencia de conocimientos, así como en modificar el comportamiento de los empleados para reflejar nuevos conocimientos y visión en los mismos.

Descripción de la situación	Totalmente De Acuerdo	De Acuerdo	Indeciso	En Desacuerdo	Totalmente En Desacuerdo
Nuestros competidores son una fuente muy importante para aprender nuevos métodos y servicios que ayuden a incrementar la competitividad de esta empresa.					
Experiencia en la industria, en servicios y con relación a los productos que maneja esta empresa son un criterio muy importante para la contratación de un nuevo empleado.					
Nuestra organización tiene empleados cuyo trabajo se relaciona con la búsqueda de información externa sobre capacitación y nuevos métodos de trabajo.					
La alta dirección considera que cuanto más información tenga el empleado, él / ella realizará mejor su trabajo.					
Esta firma promueve la experimentación y la innovación como una forma de la mejora de los procesos de trabajo.					
Los errores y los fracasos siempre son discutidos y analizados en esta empresa, en todos los departamentos y niveles.					
En esta empresa, el trabajo en equipo es la forma habitual de trabajar.					

### 35) Equipos de Mejora Continua

Los equipos de Mejora Continua son Equipos de personas que a partir de un problema o aspecto a mejorar analizan vías de mejora del mismo. Normalmente tienen una duración limitada, y su labor se traduce en pequeños cambios en los procesos productivos o en las prácticas de trabajo que permiten generalmente mejorar algún indicador de rendimiento.

De acuerdo con la definición anterior, considera que ¿Existe en su empresa un sistema de equipos de mejora continua?

( ) NO, los problemas se analizan por otras vías.                      ( ) SI, se forman equipos de mejora continua.

**Continuar el cuestionario si la respuesta anterior fue SI; de lo contrario ir a la pregunta A en la última página.**

36) Seleccione los departamentos a los que pertenecen las personas que conforman el equipo de mejora continua:

- ( ) Calidad
- ( ) Procesos
- ( ) Manufactura
- ( ) Entrenamiento
- ( ) Mantenimiento
- ( ) Investigación y Desarrollo
- ( ) Almacén
- ( ) Administración
- ( ) Otro: \_\_\_\_\_

37) Formación de Equipos de Mejora Continua

Descripción de la situación	Totalmente de Acuerdo	De Acuerdo	Indeciso	En Desacuerdo	Totalmente en Desacuerdo
Cualquiera que conozca el equipo de mejora continua podría nombrar con precisión a todos sus miembros.					
Diferentes personas están constantemente uniéndose y dejando el equipo de mejora continua.					
Los miembros del equipo dependen mucho unos de otros para conseguir que el trabajo del equipo se haga.					
Hay una gran incertidumbre y ambigüedad acerca de lo que se supone que el equipo debe lograr.					
Los propósitos del equipo de mejora continua son especificados por otros, pero los medios y procedimientos para lograrlos los decide el equipo.					
El equipo tiene el tamaño adecuado para lograr sus propósitos.					
El equipo tiene una "mezcla" casi ideal de miembros, un grupo diverso de personas que aportan diferentes perspectivas y experiencias al equipo.					
Todos en este equipo tienen las habilidades especiales que se necesitan para lograr el trabajo del equipo.					

38) De los diferentes departamentos que conforman el equipo de mejora continua ¿Cuáles tienen mayor rotación de personal dentro del equipo y con qué frecuencia?

Departamento	Muy Frecuentemente	Frecuentemente	Ocasionalmente	Raramente	Nunca
Calidad					
Almacén					
Procesos					
Manufactura					
Entrenamiento					
Mantenimiento					
Administración					
Investigación y Desarrollo					

A) Si desea recibir un reporte de los resultados de esta investigación favor de proporcionar un correo electrónico: \_\_\_\_\_

¡Hemos Terminado!

Gracias por su colaboración y por permitir que la investigación científica aplicada aporte información pertinente para darle solución a problemas reales de nuestra región.



*POR LA REALIZACIÓN PLENA DEL HOMBRE*

## Referencias

- [1] T. Bendell, “A review and comparison of Six Sigma and the Lean Organisations,” *TQM Mag.*, vol. 18, no. 3, pp. 255–262, 2006.
- [2] Carrincazeaux, Christophe; Frigant, Vincent. “The Internationalization of the French Aerospace Industry: To What Extent was the 1990s a Break with the Past?” *J. Business, Management and Accounting*, vol. 53:285, 2007.
- [3] Robles C. Ricardo. “El Clúster Aeroespacial en Baja California: Diagnóstico y Propuesta metodológica para analizar su evolución y medir el desempeño”. *Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Baja California*, México, 2013.
- [4] Secretaría de Economía: Dirección General de Industrias Pesadas y de Alta Tecnología. “*Monografía de la Industria Aeronáutica en México*”. Marzo, 2016. Enlace: [http://www.economia.gob.mx/files/Monografia\\_Industria\\_Aeronautica.pdf](http://www.economia.gob.mx/files/Monografia_Industria_Aeronautica.pdf)
- [5] E. D. Arnheiter and J. Maleyeff, “The integration of Lean Management and Six Sigma,” *TQM Mag.*, vol. 17, no. 1, pp. 5–18, 2005.
- [6] Bamber, L., & Dale, B. G. (2000). Lean production: A study of application in a traditional manufacturing environment. *Production Planning & Control*, 11(3), 291–298. <https://doi.org/10.1080/095372800232252>.
- [7] V. Crute, Y. Ward, S. Brown, and A. Graves, “Implementing Lean in aerospace - Challenging the assumptions and understanding the challenges,” *Technovation*, vol. 23, no. 12, pp. 917–928, 2003.
- [8] B. Haque, “Lean engineering in the aerospace industry,” *Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf.*, vol. 217, no. 10, pp. 1409–1420, 2003.
- [9] Antony, J., Kumar, M., & Labib, A. (2008). Gearing Six Sigma into UK manufacturing SMEs: results from a pilot study. *Journal of the Operational Research Society*, 59(4), 482–493. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2602437>.

- [10] Martínez-Jurado, P. J., & Moyano-Fuentes, J. (2014). Key determinants of lean production adoption: evidence from the aerospace sector. *Production Planning & Control*, 25(4), 332–345. <https://doi.org/10.1080/09537287.2012.692170>.
- [11] P. Garrido, M. Sacristán, and L. Magaña, “Six Sigma in SMES with low production volumes. A successful experience in,” *Universia Bus. Rev.*, vol. 13, no. 3, pp. 52–71, 2016.
- [12] N. Bhuiyan, A. Baghel, and J. Wilson, “A sustainable continuous improvement methodology at an aerospace company,” *Int. J. Product. Perform. Manag.*, vol. 55, no. 8, pp. 671–687, 2006.
- [13] Parry, G. C., & Turner, C. E. (2006). Application of lean visual process management tools. *Production Planning & Control*, 17(1), 77–86. <https://doi.org/10.1080/09537280500414991>.
- [14] A. Y. Akbulut-Bailey, J. Motwani, and E. M. Smedley, “When Lean and Six Sigma Converge: A Case Study of a Successful Implementation of Lean and Six Sigma at an Aerospace Company,” *Int. J. Technol. Manag.*, vol. 57, no. 1-2-3, pp. 18–32, 2011.
- [15] Al-Ashaab, A., Golob, M., Attia, U. M., Khan, M., Parsons, J., Andino, A., Sopelana, A. (2013). The transformation of product development process into lean environment using set-based concurrent engineering: A case study from an aerospace industry. *Concurrent Engineering*, 21(4), 268–285. <https://doi.org/10.1177/1063293X13495220>
- [16] J. Arturo Garza-Reyes, A. Flint, V. Kumar, J. Antony, and H. Soriano-Meier, “A DMAIRC approach to lead time reduction in an aerospace engine assembly process,” *J. Manuf. Technol. Manag.*, vol. 25, no. 1, pp. 27–48, 2014.
- [17] G. F. Barbosa, J. Carvalho, and E. V. G. Filho, “A proper framework for design of aircraft production system based on lean manufacturing principles focusing to automated processes,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 72, no. 9–12, pp. 1257–1273, 2014.
- [18] A. J. Thomas, M. Francis, R. Fisher, P. Byard, M. Francis, R. Fisher, P. B. Implementing, and L. Six, “Implementing Lean Six Sigma to overcome the production challenges in an aerospace company,” *Taylor Fr. Gr.*, 2016.

- [19] D. F. X. Mathaisel, "A lean architecture for transforming the aerospace maintenance, repair and overhaul (MRO) enterprise," *Int. J. Product. Perform. Manag.*, vol. 54, no. 8, pp. 623–644, 2005.
- [20] A. J. Thomas, R. M. Alan, D. Elwyn, A. J. Thomas, R. M. Alan, and D. Elwyn, "Reducing turn-round variability through the application of Six Sigma in aerospace MRO facilities," *J. Manuf. Technol. Manag.*, vol. 26, no. 3, pp. 314–332, 2015.
- [21] A. Choudri, "Design for six sigma for aerospace applications," *A Collect. Tech. Pap. - AIAA Sp. 2004 Conf. Expo.*, vol. 3, no. September, pp. 2402–2408, 2004.
- [22] Pedro José, M. J., & José, M. F. (2011). *Lean Production Y Gestión De La Cadena De Suministro En La Industria Aeronáutica. Investigaciones Europeas de Dirección Y Economía de La Empresa*, 17(1), 137–157. [https://doi.org/10.1016/S1135-2523\(12\)60048-3](https://doi.org/10.1016/S1135-2523(12)60048-3)
- [23] C. Rebolledo and J. Nollet, "Learning from suppliers in the aerospace industry," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 129, no. 2, pp. 328–337, 2011.
- [24] Psychogios, A. G., & Tsironis, L. K. (2012). Towards an integrated framework for Lean Six Sigma application: Lessons from the airline industry. *Total Quality Management & Business Excellence*, 23(3–4), 397–415. <https://doi.org/10.1080/14783363.2011.637787>
- [25] C. Eastlake and M. Attia, "Employing Lean Engineering Principles as a Student Exercise to Modify the Content of Traditional Aircraft and Propulsion Design Courses," in *American Society for Engineering Education Annual Conference*, 2007, no. 268.
- [26] FEMIA. "Presentación de la Industria Aeroespacial en México", "Pro-Aéreo" y "Mapa del Sector Aeroespacial". Enlace: [https://docs.google.com/viewer?url=http://femia.com.mx/themes/femia/ppt/femia\\_presentacion\\_tipo\\_esp.pdf](https://docs.google.com/viewer?url=http://femia.com.mx/themes/femia/ppt/femia_presentacion_tipo_esp.pdf)
- [27] Aerospace Cluster of Baja California. "Welcome to the Mega-Region". *J. Business Conexión*, edición especial 2014.
- [28] Cordero, E. d. (2013). Comercio Exterior Bancomext. Retrieved from la industria aeroespacial y el despegue de la productividad en México.

<http://revistacomercioexterior.com/articulo.php?id=54&t=la-industria-aeroespacial-y-el-despegue-de-la-productividad-en-mexico>.

- [29] Economía, S. d. (2014). Sector Aeroespacial. Retrieved from PROMEXICO: Inversión y Comercio: <http://www.gob.mx/se/>
- [30] González, A. V. (2015). *Patrones de co-localización espacial de la industria aeroespacial en México*. Estudios Económicos, 31, 169-211.
- [31] María Ruth Vargas Leyva, J. X. (2014). *Alianza para el desarrollo de la ingeniería en baja california clúster aeroespacial del estado de baja california*. Tijuana, Baja California: Instituto Tecnológico de Tijuana.
- [32] Tecnología, D. G. (2012). Industria Aeronáutica en México. Retrieved Agosto 18, 2016, from Secretaría de Economía:  
[http://www.economia.gob.mx/files/Monografia\\_Industria\\_Aeronautica.pdf](http://www.economia.gob.mx/files/Monografia_Industria_Aeronautica.pdf).
- [33] Secretaría de Economía: Dirección General de Industrias Pesadas y de Alta Tecnología. “*Monografía de la Industria Aeronáutica en México*”. Marzo, 2016. Enlace:  
[http://www.economia.gob.mx/files/Monografia\\_Industria\\_Aeronautica.pdf](http://www.economia.gob.mx/files/Monografia_Industria_Aeronautica.pdf).
- [34] FEMIA. “Presentación de la Industria Aeroespacial en México”, “Pro-Aéreo” y “Mapa del Sector Aeroespacial”. Enlace:  
[https://docs.google.com/viewer?url=http://femia.com.mx/themes/femia/ppt/femia\\_presentacion\\_tipo\\_esp.pdf](https://docs.google.com/viewer?url=http://femia.com.mx/themes/femia/ppt/femia_presentacion_tipo_esp.pdf).
- [35] B. Yoo, N. Donthu, and T. Lenartowicz, “Measuring Hofstede’s Five Dimensions of Cultural Values at the Individual Level: Development and Validation of CVSCALE,” J. Int. Consum. Mark., vol. 23, no. 3–4, pp. 193–210, May 2011.
- [36] Hofstede, G. (1980). Culture’s Consequences. International Differences in Work-Related Values. London: SAGE.
- [37] Rajadell, M.; Sánchez, J. (2010). Lean Manufacturing: la evidencia de una necesidad. España: Días de Santos.
- [38] De León, V. (2000). Desarrollo Organizacional. México: Trillas.
- [39] Robbins, Stephen P. (1999) Comportamiento Organizacional; 8Edición; México: Prentice Hall.

- [40] Shaul Oreg (2006): Personality, context, and resistance to organizational change. *European Journal of Work and Organizational Psychology*, 15:1,73-101.
- [41] Oreg, S. (2003). Resistance to change: Developing an individual differences measure. *Journal of Applied Psychology*, 88(4), 587 – 604.
- [42] Shaul Oreg (2006): Personality, context, and resistance to organizational change, *European Journal of Work and Organizational Psychology*, 15:1, 73-101.
- [43] Wanberg, C. R., & Banas, J. T. (2000). Predictors and outcomes of openness to changes in a reorganizing workplace. *Journal of Applied Psychology*, 85(1), 132 – 142.
- [44] Cammann, C., Fichman, M., Jenkins, D. G., & Klesh, J. R. (1983). Assessing the attitudes and perceptions of organizational members. In S. E. Seashore, E. E. Lawler, P. H. Mirvis, & C. Camman (Eds.), *Assessing organizational change: A guide to methods, measures, and practices* (pp. 71 – 138). New York: John Wiley.
- [45] Meyer, John P.; Allen, Natalie J.; Smith, Catherine A. (1993); *Commitment to organizations and occupations: Extension and test of a three-component conceptualization*.
- [46] Rebeil C. María A; y Ruiz S. Celia. (2008). *El poder de la comunicación en las organizaciones*. México: Laza y Valdés, primera edición.
- [47] Mellado Claudia, (2005). Validez de Constructo de una Escala para Medir Clima y Liderazgo desde una Optica Comunicativa en la Pequeña Empresa Industrial; *Revista Razón y Palabra*, Vol. 10:47.
- [48] Chiavenato. Idalberto (1994). *Administración de recursos humanos*. McGraw – Hill 2 edición.
- [49] Fernández Collado A. (1991). *La comunicación en las organizaciones*. México: Editorial Trillas.
- [50] Antonia Mercedes García-Cabrera; Francisca Rosa Álamo-Vera; Fernando García-Barba Hernández, (!011). Antecedentes de la resistencia al cambio: factores individuales y contextuales. *Revista Cuadernos de Economía y Dirección de la Empresa*, Vol. 14 :4.
- [51] Jurado M. Ana, 2014. Los niveles de sentido de pertenencia en un grupo de profesionales bajo contratación laboral simulada en distintas onrganizaciones guatemaltecas. Tesis de grado, Universidad Rafael Landívar en Guatemala.

- [52] Huber, G. P. (1991). Organizational learning: The contributing process and the literatures. *Organization Science*, 2(1), 88–115.
- [53] Garvin, D. A. (1993). Building a learning organization. *Harvard Business Review*, 71, 78–91.
- [54] Škerlavaj, M., Song, J. H., & Lee, Y. (2010). Organizational learning culture, innovative culture and innovations in South Korean firms. *Expert systems with applications*, 37(9), 6390-6403.
- [55] Jerez-Gomez, P., Céspedes-Lorente, J., & Valle-Cabrera, R. (2005). Organizational learning capability: a proposal of measurement. *Journal of business research*, 58(6), 715-725.
- [56] Blanchard, K., Randolph, A., & Grazier, P. (2006), *Trabajo en Equipo*. Barcelona: Deusto.
- [57] Lerner, A. (2007). TQM y Six Sigma: Una revisión comparada sobre prácticas de mejoramiento continuo en el ámbito de la gestión empresarial. <http://www.degerencia.com>
- [58] Wageman, R., Hackman, J. R., & Lehman, E. (2005). Team diagnostic survey: Development of an instrument. *The Journal of Applied Behavioral Science*, 41(4), 373-398.
- [59] Stoner, James. Freeman, Edgard y Gilbert, Daniel. *Administración*. Sexta edición. Prentice Hall. 1996
- [60] Clima organizacional y gerencia: inductores del cambio organizacional. Isabel Pérez de Maldonado; Marisabel Maldonado Pérez; Suleima Bustamante Uzcátegui; *Investigación y Postgrado* 2006, 21 (2).
- [61] Jerez-Gomez, P., Céspedes-Lorente, J., & Valle-Cabrera, R. (2005). Organizational learning capability: a proposal of measurement. *Journal of business research*, 58(6), 715-725.
- [62] Sanjay L. Ahire K.C. O’Shaughnessy, (1998), "The role of top management commitment in quality management: an empirical analysis of the auto parts industry", *International Journal of Quality Science*, Vol. 3 Iss 1 pp. 5 – 37. Permanent link to this document: <http://dx.doi.org/10.1108/13598539810196868>.
- [63] Podsakoff, P. M., Mackenzie, S. B., Moorman, R. H., & Fetter, R. (1990). Transformational leader behaviors and their effects on followers’ trust in leader,

- satisfaction, and organizational citizenship behaviors. *Leadership Quarterly*, 1 (2), 107-142.
- [64] Gil-Gómez de Liaño, Beatriz; Pascual-Ezama, David. (2012), La metodología Delphi como técnica de estudio de la validez de contenido *Anales de Psicología*, vol. 28, núm; pp. 1011-1020 Universidad de Murcia Murcia, España.
- [65] Deville, C. W. (1996). An empirical link of content and construct validity evidence. *Applied Psychological Measurement*, 20, 127-139.
- [66] Oltman, P. K., Stricker, L. J. y Barrows, T.S. (1990). Analyzing test structure by multidimensional scaling. *Journal of Applied Psychology*, 75, 21-27.
- [67] Dorans, N. J. y Lawrence, I. M. (1987). The internal construct validity of the SAT. Research Report. Princeton, NJ: Education Testing Service.
- [68] Ding, C. S. y Hershberger, S. C. (2002). Assessing content validity and content equivalence using structural equation models. *Structural Equation Modeling*, 9, 283-297.
- [69] Sireci, S.G. (1998). The construct of content validity. *Social Indicators Research*, 45, 83-117.
- [70] León, O. G. y Montero, I. (2003). *Métodos de investigación en psicología y educación* (3ª ed.) Madrid: McGraw-Hill.
- [71] Landeta, J. (1999). *El metodo Delphi*. Barcelona: Ariel.
- [72] Christie, C.A. y Barela, E. (2005). The Delphi Technique as a Method for Increasing Inclusion in the Evaluation Process. *Canadian Journal of Program Evaluation*, 20(1), 105-122.
- [73] Okoli, C. y Pawlowski, S.D. (2004) The Delphi method as a research tool: an example, design considerations and applications. *Information y Management*, 42, 15-29.
- [74] Ramírez, Mónica González, Hernández, René Landero, Reducindo, Mireya Maruris, Genchi, Pedro Cortés, Mendoza, Rosalía Vega, & Jaimes, Flaviano Godínez. (2013). Estrés cotidiano en trabajadores del volante. *Summa psicológica UST (En línea)*, 10(1), 85-90.
- [75] Gliner JA, Morgan GA, Harmon RJ. 2001. Measurement reliability. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry*; 40:486-8.

- [76] Celina Oviedo, Heidi; Campo Arias, Adalberto. 2005. Aproximación al uso del coeficiente alfa de Cronbach Revista Colombiana de Psiquiatría; vol. XXXIV, núm. 4, pp. 572-580 Asociación Colombiana de Psiquiatría Bogotá, D.C., Colombia.
- [77] Soler Cárdenas, Silvio Faustino, & Soler Pons, Lisbet. (2012). Usos del coeficiente alfa de Cronbach en el análisis de instrumentos escritos. *Revista Médica Electrónica*, 34(1), 01-06.
- [78] Cronbach LJ. 1951. Coefficient alpha and the internal structure of test. *Psychometrika*; 16:297-334.
- [79] Streiner DL. 2003. Being inconsistent about consistency: when coefficient alpha does and doesn't matter. *J Pers Assess*; 80:217-22.
- [80] Cortina JM. 1993. What is coefficient alpha? An examination of theory and applications. *J Appl Psychol*; 78:98-104
- [81] Rogers WM, Schmitt N, Mullins ME. 2002. Correction for unreliability of multifactor measures: comparison of Alpha and parallel forms approaches. *Organ Res Methods*; 5:184-99.
- [82] Kwok WCC, Sharp DJ. 1998. A review of construct measurement issues in behavioral accounting research. *J Account Lit*; 17:137-74.
- [83] Sánchez R, Gómez C.1998. Conceptos básicos sobre validación de escalas. *Revista Colombiana de Psiquiatría*; 27:21- 30.
- [84] Bland JM, Altman DG. Cronbach's alpha. *Br Med J*. 1997; 314:572.
- [85] Maslach C. 2009. Comprendiendo el Burnout. *Cienc Trab*. Abr-Jun; 11 (32): 37-43.
- [86] Miret, C., & Martínez Larrea, A.;2010. El profesional en urgencias y emergencias: agresividad y burnout. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, 33(Supl. 1), 193-201.
- [87] Weller, J.;2007. "La inserción laboral de los jóvenes: características, tensiones y desafíos",
- [88] Hartley, J., 1994, Case studies in organizational research, in CASELL, C. y SYMON, G. (Eds.). *Qualitative methods in organizational research*. Londres, Sage Publications, 208-229.
- [89] Gummesson, E. ,2000, *Qualitative methods in management research*. Sage Publications, London.

- [90] Yin, R. K., 1984/1989. Case Study Research: Design and Methods, Applied social research Methods Series, Newbury Park CA, Sage.
- [91] Yin, R.K.,1994. Case Study Research Design and Methods, Applied Social Research Methods, Vol. 5, 2nd ed., Newbury Park, CA, Sage.
- [92] Maxwell, J. A., 1998. "Designing a Qualitative Study". Handbook of Applied Social Research Method, p. 69-100, Thousand Oaks, CA.
- [93] Grunow, 1995. The research design in Organization Studies: problems and prospects. Organization Science, 6, 93-103.
- [94] Fahr, A. (2014). Aeronautical Applications of Non-destructive Testing. Pennsylvania: DEStech Publications, Inc.
- [95] C. Garnier, M. P. (2011). The detection of aeronautical defects in situ on composite structures using Non Destructive Testing. Composite Structures, 93(5), 1328-1336.
- [96] Scala, I. S. (April de 1982). A review of non-destructive testing of composite materials. NDT International, 15(2), 75-86.
- [97] Lüthi, T. (2003). Non-Destructive Evaluation Methods. Switzerland: Ecole polytechnique fédérale de Lausanne documents.
- [98] AIAG Group, A. I. (2010). Measurement Systems Analysis Reference Manual (Vol. 4th). Chrysler, Ford, General Motors Supplier Quality Requirements Task Force.
- [99] Inc., M. (2015). Análisis de concordancia de atributos: Informe técnico sobre el asistente de minitab. Recuperado el 02 de 2018, de Minitab: [https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/Asistente\\_An%C3%A1lisis\\_de\\_concordancia\\_de\\_atributos.pdf](https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/Asistente_An%C3%A1lisis_de_concordancia_de_atributos.pdf)

