

Centro de Enseñanza Técnica y Superior
Con reconocimiento de validez oficial de estudios del Gobierno del Estado de Baja
California según Acuerdo de fecha 10 de octubre de 1983



**Análisis de curva de aprendizaje con mezcla de experiencia
de personal en células de producción automotriz.**

Tesis

para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
Maestro en Ciencias de la Ingeniería

Presenta:

José Roberto Candelas Acosta

Director:

Dr. Alejandro Guzmán Ocegueda

Centro de Enseñanza Técnica y Superior (CETYS Universidad)

Ensenada, Baja California, México
2019

Análisis de curva de aprendizaje con mezcla de experiencia de personal en células de producción automotriz.

Tesis/Proyecto de aplicación que para obtener el grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería e Innovación

Presenta:

José Roberto Candelas Acosta

y aprobada por el siguiente Comité

Dr. Ramón Alejandro Guzmán Ocegueda
Director de tesis

M.C. Amanda Georgina Nieto Sánchez
Coordinador de la Maestría en Ingeniería e
Innovación

Resumen de la tesis que presenta **José Roberto Candelas Acosta** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería e Innovación.

Análisis de curva de aprendizaje con mezcla de experiencia de personal en células de producción automotriz

Resumen aprobado por:

Dr. Ramón Alejandro Guzmán Ocegueda

Esta investigación analizó en una compañía del sector automotriz la curva de aprendizaje en células de producción con el objetivo determinar diferencias en rendimiento de producción, por la combinación de experiencia del grupo de mano de obra asignado, en el arranque de órdenes de producción y el tiempo para alcanzar el rendimiento estándar para considerarse en los cálculos de futuras cotizaciones de mano de obra para la manufactura de productos.

Palabras clave: curva de aprendizaje, mano de obra, manufactura automotriz, estimación de costo.

Abstract of the thesis presented by **José Roberto Candelas Acosta** as a partial requirement to obtain the Master in Engineering and Innovation.

Analysis of the learning curve with the mix of personnel experience in the automotive production cells

Abstract approved by:

Dr. Ramón Alejandro Guzmán Ocegueda

This research analyzed in an automotive component manufacturing facility the learning curve in production cells in order to determine production yield differences, due to the experience combination of the labor group assigned, at the start of production orders and the time to reach the standard yield to be considered in future quotations of labor for product manufacturing.

Keywords: learning curve, labor, automotive industry, cost estimate

Dedicatoria

Dedico esta Tesis a mi esposa y a mis padres quienes siempre me han apoyado incondicionalmente en todos mis retos personales y profesionales.

A mis hermanos y el resto de mi familia por el apoyo brindado durante esta etapa profesional.

Agradecimientos

A CONACYT y CETYS Universidad por haberme permitido ser parte de este programa de estudio.

A GST Automotive Safety Components International S.A. de C.V. por todo el apoyo brindado económicamente y laboralmente haciendo posible culminar este posgrado.

Al Dr. Alejandro Guzmán por su apoyo y consejos brindados durante el desarrollo de esta tesis.

Tabla de contenido

Página

Dedicatoria	v
Agradecimientos	vi
Tabla de contenido.....	vii
Lista de figuras	ix
Lista de tablas	ix
Capítulo 1. Introducción	1
1.1 Antecedentes	2
1.2 Planteamiento del Problema	3
1.3 Justificación.....	4
1.4 Pregunta de investigación	5
1.5 Hipótesis	5
1.6 Objetivos	5
1.7.1 Objetivo General	5
1.7.2 Objetivos Específicos.....	5
Capítulo 2. Marco Teórico	7
2.1 Bolsa de aire.....	7
2.1.2 Tipos de producto	7
2.1.2.1 Producto 1. Bolsa de conductor (Driver Airbag – DAB).....	8
2.1.2.2 Producto 2. Bolsa de pasajero (Passenger Airbag – PAB)	8
2.1.2.3 Producto 3. Bolsa de rodilla (Knee Airbag – KAB)	8
2.1.2.4 Producto 4. Bolsa de cortina (Curtain Airbag – CAB).....	8
2.1.2.5 Producto 5. Bolsa de impacto lateral (Side Airbag – SAB).....	8
Capítulo 3. Metodología	10
3.1 Selección de producto a analizar	10
3.2 Selección y mezcla del personal.....	10
3.3 Recolección de datos	11
3.4 Análisis de datos.....	11
3.5 Prueba de bondad de ajuste (Chi cuadrada)	12
3.6 Intervalo de confianza para el tiempo	13

3.7 Intervalo de confianza para productividad	13
3.7 Impacto	13
Capítulo 4. Resultados	14
4.1 Selección de producto a analizar	14
4.2 Selección de personal	14
4.3 Recolección y análisis de datos.....	14
4.5 Intervalo de confianza para el tiempo	18
4.6 Intervalo de confianza para productividad	19
Capítulo 5. Conclusiones y Recomendaciones	22
Capítulo 6. Referencias.....	24

Lista de figuras

Figura	Página
Figura 1. Fases de APQP	2
Figura 2. Tipos de grupo de mano de obra.....	4
Figura 3. Gráfica de curva de aprendizaje de las experiencias de personal.....	16

Lista de tablas

Tabla	Página
Tabla 1. Tipos de productos manufacturados por GST.....	7
Tabla 2. Identificación de grupos de personal.....	10
Tabla 3. Mezcla de experiencias de personal para experimento.....	11
Tabla 4. Tabla para recolección de datos.....	12
Tabla 5. Resultados obtenidos del experimento.....	15
Tabla 6. Cálculo para prueba de bondad de ajuste.....	17
Tabla 7. Resultados de prueba de bondad de ajuste.....	18
Tabla 8. Datos para cálculo de intervalo de confianza para tiempo.....	18
Tabla 9. Intervalo de confianza para tiempo.....	19
Tabla 10. Datos para cálculo de intervalo de confianza para productividad.....	19
Tabla 11. Intervalo de confianza para productividad.....	20
Tabla 12. Impactos calculados por grupo de experiencia.....	21

Capítulo 1. Introducción

El presente trabajo de investigación presenta un estudio relacionado con productos del sector automotriz desarrollado en la compañía GST Automotive Safety Components International S.A. de C.V. (GST ASCI) ubicada en Ensenada, Baja California la cual manufactura bolsas de aire de seguridad. GST cuenta con plantas de producción en 7 países alrededor del mundo, las cuales tienen un proceso verticalmente integrado iniciando con la construcción de tela y finalizando con la manufactura de bolsa de aire.

El proceso de producción de bolsa de aire depende de la habilidad del personal operativo para la manufactura de sus diferentes productos. Sin embargo, GST carece de información sobre la curva de aprendizaje en sus productos y las diferentes mezclas de experiencias del personal presentadas en las células de producción. La ausencia de esta información conlleva a no tener una visión clara de las condiciones actuales en el área de producción teniendo como resultado el incumplimiento de los objetivos planteados desde la etapa de cotización del producto.

Los efectos de las curvas de aprendizaje sobre los costos de mano de obra hacen necesario la realización de un análisis de rentabilidad de los productos considerando el ciclo total de vida del producto y el volumen a producir en ese ciclo de vida. (Jimenez & Espinoza, 2007)

Debido a esto, surge la necesidad de hacer un estudio para analizar el comportamiento de las distintas experiencias de la mano de obra utilizada durante la etapa inicial de producción, compararlas y conocer cuál es el impacto de cada experiencia de personal.

1.1 Antecedentes

Siendo GST una empresa del giro automotriz, su sistema de calidad debe estar alineado con la norma IATF 16949 siguiendo los lineamientos presentados en el manual de la Planificación Avanzada de la Calidad (APQP - *Advanced Product Quality Planning* por sus siglas en inglés). APQP cuenta con 5 fases (Figura 1)

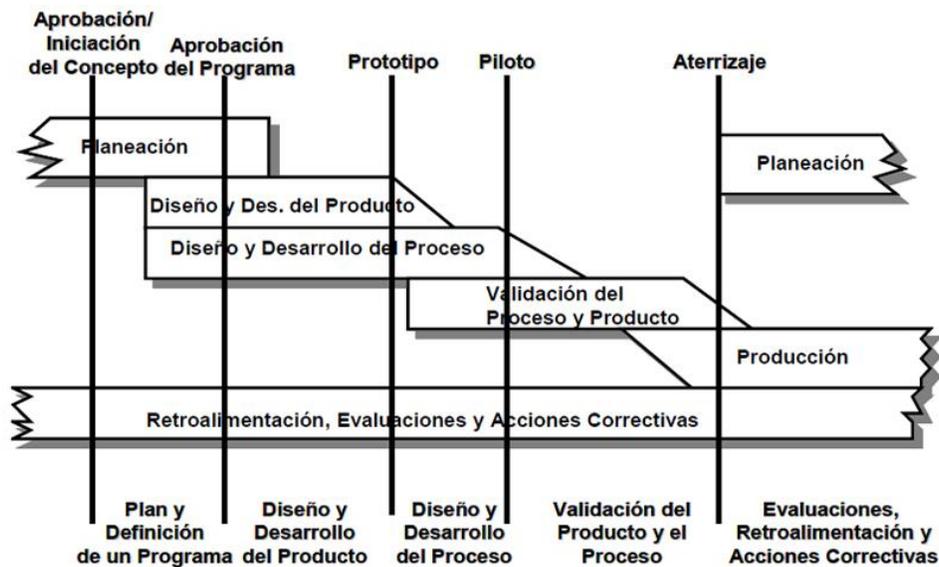


Figura 1. Fases de APQP

(2012) APQP *Advanced Product Quality Planning* [Figura]. Consultado el 15 de Marzo de 2019, de: <https://spcgroup.com.mx/apqp/>

Dentro de la fase inicial está el desarrollo de la cotización del producto el cual es solicitado por el cliente. Cada producto es diferente y cuenta con un diseño personalizado con base en los requerimientos y características del vehículo en el cual va a ser ensamblado.

Con el volumen de unidades anuales es calculado la materia prima, mano de obra e inversión necesaria para la implementación del proyecto. Referente a mano de obra, la cotización no considera ningún valor para la curva de aprendizaje, es decir, asume el inicio de la célula de producción con un cumplimiento al 100%. Esto provoca una discrepancia entre el valor cotizado contra la situación real, debido a la poca habilidad

del personal no es posible cumplir con la meta de producción inmediatamente, incurriendo en costos extras absorbidos por la organización mermando la utilidad del producto.

Toda persona al realizar alguna actividad por primera vez requiere una inversión de tiempo mayor comparada con otra persona al realizar la actividad de manera repetitiva y esto es por el resultado del aprendizaje obtenido por realizar la actividad repetidamente. El impacto del aprendizaje es reflejado en la reducción del tiempo requerido para desarrollar la actividad y el aumento de productividad. La curva de aprendizaje reconoce el conocimiento adquirido a través del trabajo, mejora la eficiencia, la eficacia y la productividad. (Beazley, Jeremiah, & Harden, 2004)

En caso de algún fallo en alguna de las partes involucradas tiene como consecuencia el incumplimiento de los objetivos iniciales planeados por la compañía, incurriendo en costos no planeados reduciendo la productividad y la ganancia del producto durante la etapa inicial. Lerma (2010) menciona “durante la introducción de productos, es común observar los resultados financieros deficitarios debido al volumen de ventas todavía no alcanza los niveles necesarios para cubrir los costos e inversiones del desarrollo, lanzamiento e introducción del nuevo producto.”

1.2 Planteamiento del Problema

Actualmente GST está en busca de mejorar todos sus procesos con el fin de incurrir en el menor costo posible en cualquier actividad y ha detectado la ausencia de la curva de aprendizaje en el cálculo de cotizaciones.

Por esta razón, esta investigación está enfocada en analizar el comportamiento de la mano de obra durante la etapa inicial de producción con el propósito de conocer la situación actual, comportamiento y su impacto para determinar el valor correcto de curva de aprendizaje.

El inicio de producción de una célula puede presentarse con distintos grupos de personal directo tales como un grupo sin experiencia, grupo mixto o bien, un grupo con experiencia. (Figura 2)



Figura 2. Tipos de grupo de mano de obra

1.3 Justificación

La compañía ha crecido constantemente debido a la introducción de nuevos productos y ampliación de células de producción. En 2017, cinco nuevos programas fueron introducidos y en 2018, 18 nuevos programas representando un crecimiento de un 15% en los últimos 2 años. Además, debido a la alta demanda del cliente fue necesario extender células de producción existentes teniendo como resultado el reiniciar producción con personal distinto al original. Sin embargo, no existe información para tener una visión clara para la prevención de problemas durante el inicio de producción, así como su costo.

Es relevante conocer la curva de aprendizaje el impacto de las distintas experiencias de personal utilizado durante el periodo de lanzamiento de una célula de producción. Esto nos lleva a formular la siguiente pregunta de investigación.

1.4 Pregunta de investigación

¿Qué curva característica de dominio del estándar de producción representan las diferencias en la combinación en la experiencia del grupo de mano de obra asignado para consideración del costo de arranque de órdenes de producción?

1.5 Hipótesis

De acuerdo con la pregunta de investigación planteada, han sido formuladas las siguientes hipótesis las cuáles buscan ser comprobadas durante el desarrollo de esta investigación.

- Ho: Las curvas características del dominio del estándar de producción no son diferentes por la mezcla de experiencias en el grupo de mano de obra.
- H1: Las curvas características del dominio del estándar de producción son diferentes por la mezcla de experiencias en el grupo de mano de obra.

1.6 Objetivos

1.7.1 Objetivo General

Analizar la curva de aprendizaje e identificar las diferencias entre las experiencias de la mano de obra empleada en una célula de producción.

1.7.2 Objetivos Específicos

- Calcular el costo del arranque de producción.
- Comprobar estadísticamente la diferencia de experiencias entre el personal.
- Determinar con un 95% de confianza el intervalo en alcanzar la meta de producción de cada experiencia de personal.

- Determinar con un 95% de confianza la productividad de cada experiencia de personal.

Capítulo 2. Marco Teórico

2.1 Bolsa de aire

La bolsa de aire (*Airbag*) es un sistema de seguridad automotriz el cual tiene como objetivo salvar la vida de los ocupantes del vehículo en caso de algún accidente. Desde la introducción al mercado de este producto a la industria automotriz, los fallecimientos de los tripulantes han sido reducido considerablemente. Desde 1980 hasta el día de hoy, la bolsa de aire es un componente indispensable de todo automóvil, cumpliendo con el mínimo de seguridad requerido. (González, Mas, & Vidal, 2017)

2.1.2 Tipos de producto

Debido a la exigencia por incrementar la calidad de este tipo de producto automotriz, existe una variedad de productos los cuales han ido surgiendo a través del tiempo. Los tipos de producto los cuales manufactura GST están enlistados en la Tabla 1.

Tabla 1. Tipos de productos manufacturados por GST.

TIPOS DE PRODUCTOS	
Producto	Descripción
Producto 1	Bolsa de Conductor (<i>Driver Airbag – DAB</i>)
Producto 2	Bolsa de Pasajero (<i>Passenger Airbag – PAB</i>)
Producto 3	Bolsa de Rodilla (<i>Knee Airbag – KAB</i>)
Producto 4	Bolsa de Cortina (<i>Curtain Airbag – CAB</i>)
Producto 5	Bolsa de Impacto Lateral (<i>Side Airbag – SAB</i>)

2.1.2.1 Producto 1. Bolsa de conductor (*Driver Airbag – DAB*)

Esta bolsa protege al conductor de cualquier golpe frontal y está ubicado en un compartimento dentro del volante.

2.1.2.2 Producto 2. Bolsa de pasajero (*Passenger Airbag – PAB*)

Este producto está instalado en el tablero justo enfrente del asiento del pasajero. Este tipo de producto en especial es el de los más complejo debido a sus diseños robustos los cuáles son definidos por el cliente, como consecuencia el precio y el tiempo estándar sean muy elevados, así como personal requerido para su manufactura.

2.1.2.3 Producto 3. Bolsa de rodilla (*Knee Airbag – KAB*)

La bolsa de rodilla está ubicada debajo del tablero. Este producto tiene la característica de requerir dos bolsas por vehículo, es decir, una bolsa para el área del conductor y otra bolsa para el área del pasajero. Cabe mencionar, debido al área disponible debajo del tablero entre el conductor y pasajero las bolsas tienen diseños diferentes, es decir no son iguales (simétricas).

2.1.2.4 Producto 4. Bolsa de cortina (*Curtain Airbag – CAB*)

Las bolsas de aire tipo cortina son las de mayor tamaño debido al área la cual requieren cubrir. Este tipo de producto también requiere 2 bolsas por vehículo y a diferencia de las bolsas tipo rodilla, sus diseños son exactamente los mismos (simétricos).

2.1.2.5 Producto 5. Bolsa de impacto lateral (*Side Airbag – SAB*)

Las bolsas de impacto lateral son productos con diseños no muy complejos los cuales requieren poco personal y su tiempo estándar es muy corto. Debido a esto, la capacidad de las células de producción es muy alta a comparación de una bolsa tipo pasajero. De igual manera, este producto requiere dos bolsas por vehículo las cuales son simétricas.

A través de la sinergia de grupo, la curva de aprendizaje del grupo es mayor a la suma de las curvas individuales. Por consiguiente, mientras más pronto alcancen los empleados nuevos un nivel significativo de productividad, más pronto podrán contribuir a la sinergia del grupo, incrementando el nivel total de productividad. Uno de los factores más importantes el cual determina el resultado positivo o negativo, es el acceso al cual el empleado pueda tener al conocimiento operativo crítico. (Beazley, Jeremiah, & Harden, 2004)

Como lo menciona el autor, por naturaleza el recurso comienza su crecimiento paulatinamente. Si este recurso no cuenta con un buen entrenamiento y no tiene conocimiento suficiente para conocer el producto e identificar los defectos, esto retrasa considerablemente su crecimiento y el de su célula de producción.

Capítulo 3. Metodología

La curva de aprendizaje fue analizada por medio de una investigación de campo para analizar el comportamiento del personal involucrado durante la fase de arranque de producción. Para esto planteamos la siguiente metodología.

3.1 Selección de producto a analizar

Durante este paso, fue seleccionado el producto de comparación para realizar los experimentos.

3.2 Selección y mezcla del personal

La Tabla 2 muestra la identificación de los grupos de control para el experimento donde cada grupo está compuesto por 10 operadores de costura, dando como resultado 30 operadores de costura necesarios por experimento.

Tabla 2. Identificación de grupos de personal

GRUPOS DE PERSONAL		
Grupo	Descripción	Cantidad
A	Sin experiencia	10
B	Mixto	10
C	Con experiencia	10

Para el experimento fueron definidos personal sin experiencia aquellos con menor a 1 año de antigüedad y personal con experiencia a aquellos con mayor a 1 año de experiencia. Una vez definida la cantidad de personal para cada grupo, fue definida la mezcla de experiencias para cada uno mostrados en la Tabla 3.

Tabla 3. Mezcla de experiencias de personal para experimento

MEZCLA DE PERSONAL			
Grupo	Descripción	Nuevo ingreso ≤ 1 año	Experiencia > 1 año
A	Sin experiencia	100%	0%
B	Mixto	50%	50%
C	Con experiencia	0%	100%

3.3 Recolección de datos

El valor de los datos recolectados para cada grupo de personal fue el incremento de unidades producidas por cada hora de manera diaria hasta alcanzar el estándar de producción en una jornada de producción regular la cual inicia a las 7:00 horas y concluye a las 16:06 horas. Cabe destacar la omisión de condiciones especiales dentro del experimento tales como tiempo extra y productos ajenos a producción regular.

3.4 Análisis de datos

Los datos fueron recolectados por intervalos de una hora de manera diaria y para su análisis fueron tabulados para así determinar el valor acumulado de la Producción Esperada (E_i) y la Producción Real (O_i) de cada grupo de personal.

$$\text{Producción Esperada Acumulada } (E_i) = \sum_{i=1}^n E_i \quad (1)$$

$$\text{Producción Real Acumulada } (O_i) = \sum_{i=1}^n O_i \quad (2)$$

3.5 Prueba de bondad de ajuste (Chi cuadrada)

Fue necesario realizar la prueba de bondad de ajuste (chi cuadrada) con el objetivo de comprobar si existe diferencia entre la producción esperada y la producción observada en la realidad para validarlo.

La prueba estadística chi cuadrada fue considerada con un 95% de confianza la cual fue calculada con la siguiente fórmula:

$$X^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (3)$$

Donde:

n = número de categorías distintas

O_i = valor observado para la *i* esima categoría

E_i = valor esperado para la *i* esima categoría

Tabla 4. Tabla para recolección de datos

Esperada (E _i)	Observado (O _i)	$\frac{((O_i - E_i)^2)}{E_i}$

La Tabla 4 muestra los valores de los datos necesarios para la realización del experimento.

3.6 Intervalo de confianza para el tiempo

Fue realizado un intervalo al 95% de confianza para determinar el tiempo en alcanzar la meta de producción para cada grupo de experiencia de personal. El intervalo fue calculado por medio de la siguiente formula:

$$\text{Intervalo de confianza} = \bar{x} \pm z \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

Donde:

\bar{x} = media de la muestra

σ = desviación estándar

n = número de datos de la muestra

z= valor crítico de la distribución normal

3.7 Intervalo de confianza para productividad

Fue realizado un intervalo al 95% de confianza para determinar la productividad lograda por cada grupo de experiencia durante el periodo de inicio de producción antes de lograr la meta, utilizando como base lo planeado contra lo producido para cada muestra de grupo de experiencia.

3.7 Impacto

El impacto fue considerado como la parte proporcional del salario la cual no está cumpliendo con la meta de producción para cada uno de los grupos de experiencia.

$$\text{Impacto} = \frac{\text{Tiempo meta} \times \text{Sueldo diario}}{\text{Horas diarias laboradas}} \times (100 - \% \text{ productividad}) \quad (5)$$

Donde:

Tiempo meta = Tiempo en horas para cumplir con la meta de producción.

Sueldo diario = \$177.00 MNX

Horas diarias laboradas = 9.1 horas diarias

% Productividad = Proporción de la meta de producción no cumplida.

Capítulo 4. Resultados

4.1 Selección de producto a analizar

El producto seleccionado para el análisis fue una bolsa de impacto lateral (SAB) debido a la disponibilidad de la célula de producción para realizar el estudio.

4.2 Selección de personal

La antigüedad del personal fue identificada por medio de la base de datos proporcionado por el departamento de Recursos Humanos cumpliendo con la antigüedad definida en la metodología.

4.3 Recolección y análisis de datos

Una vez obtenidos los datos de cada experimento, estos fueron procesados para ser analizados de manera acumulada.

Los datos fueron vaciados en la Tabla 5 y fueron graficados (Figura 3) para ver las diferencias entre la Producción Esperada (E_i) y la Producción Real (O_i) de cada grupo de experiencias

Tabla 5. Resultados obtenidos del experimento

RESULTADOS GRUPO A: SIN EXPERIENCIA			RESULTADOS GRUPO B: MIXTO			RESULTADOS GRUPO C: CON EXPERIENCIA		
Muestra (n)	Esperada (Ei)	Observado (Oi)	Muestra (n)	Esperada (Ei)	Observado (Oi)	Muestra (n)	Esperada (Ei)	Observado (Oi)
1	7	0	1	7	0	1	7	0
2	14	0	2	14	0	2	14	5
3	21	0	3	21	0	3	21	18
4	25	0	4	25	1	4	25	27
5	32	0	5	32	4	5	32	57
6	39	0	6	39	9	6	39	79
7	46	0	7	46	17	7	46	113
8	53	0	8	53	25	8	53	125
9	56	1	9	56	34	9	56	163
10	69	6	10	69	53	10	69	163
11	82	12	11	82	83	11	82	164
12	95	19	12	95	101	12	95	185
13	102	23	13	102	108	13	102	192
14	115	32	14	115	128	14	115	217
15	128	43	15	128	145	15	128	234
16	141	55	16	141	161	16	141	254
17	154	66	17	154	174	17	154	273
18	164	76	18	164	193	18	164	298
19	177	86	19	177	203	19	177	328
20	190	108	20	190	225	20	190	359
21	203	127	21	203	252	21	203	374
22	210	127	22	210	262	22	210	374
23	223	150	23	223	294	23	223	392
24	236	175	24	236	316	24	236	414
25	249	199	25	249	341	25	249	443
26	262	221	26	262	365	26	262	466
27	272	244	27	272	387	27	272	483
28	285	266	28	285	414	28	285	496
29	298	282	29	298	442	29	298	510
30	311	307	30	311	466	30	311	532
31	318	307	31	318	486	31	318	559
32	331	326	32	331	510	32	331	580
33	344	349	33	344	537	33	344	606
34	357	365	34	357	568	34	357	635
35	370	374	35	370	598	35	370	668
36	380	389	36	380	620	36	380	691

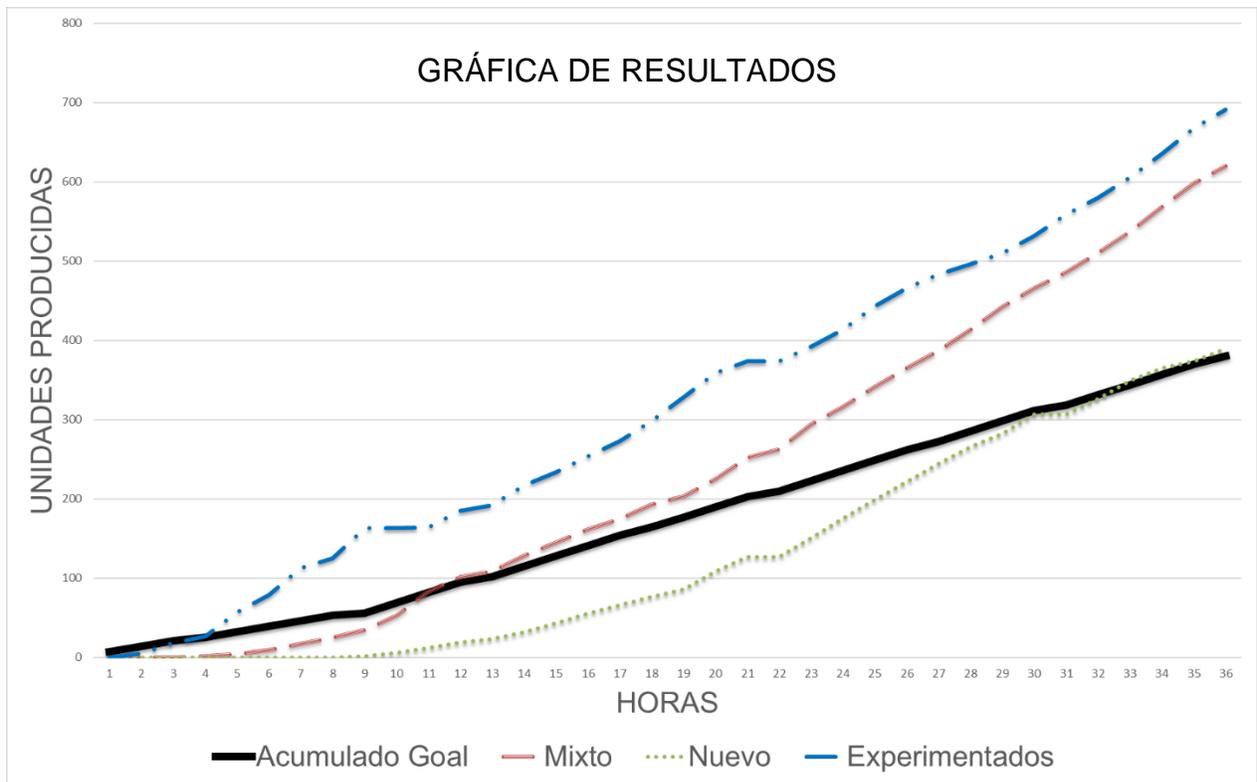


Figura 3. Gráfica de curva de aprendizaje de las experiencias de personal

Desde los resultados graficados es observada una diferencia entre los distintos grupos de experiencias. Sin embargo, estos son únicamente referencias y sus diferencias necesitan ser comprobadas estadísticamente.

4.4 Prueba de bondad de ajuste (Chi cuadrada)

Para comprobar sus diferencias estadísticamente fue realizada la prueba de bondad de ajuste. Los resultados de la prueba para cada valor de la muestra fueron vaciados en la Tabla 6 en la columna “prueba de bondad” para obtener el valor de la sumatoria total para los tres grupos de experiencia.

Tabla 6. Cálculo para prueba de bondad de ajuste

RESULTADOS GRUPO A: SIN EXPERIENCIA				RESULTADOS GRUPO B: MIXTO				RESULTADOS GRUPO C: CON EXPERIENCIA			
Muestra (n)	Esperada (Ei)	Observado (Oi)	Prueba de bondad $\frac{((O_i-E_i)^2)/E_i}{}$	Muestra (n)	Esperada (Ei)	Observado (Oi)	Prueba de bondad $\frac{((O_i-E_i)^2)/E_i}{}$	Muestra (n)	Esperada (Ei)	Observado (Oi)	Prueba de bondad $\frac{((O_i-E_i)^2)/E_i}{}$
1	7	0	7.00	1	7	0	7.00	1	7	0	7.00
2	14	0	14.00	2	14	0	14.00	2	14	5	5.79
3	21	0	21.00	3	21	0	21.00	3	21	18	0.43
4	25	0	25.00	4	25	1	23.04	4	25	27	0.16
5	32	0	32.00	5	32	4	24.50	5	32	57	19.53
6	39	0	39.00	6	39	9	23.08	6	39	79	41.03
7	46	0	46.00	7	46	17	18.28	7	46	113	97.59
8	53	0	53.00	8	53	25	14.79	8	53	125	97.81
9	56	1	54.02	9	56	34	8.64	9	56	163	204.45
10	69	6	57.52	10	69	53	3.71	10	69	163	128.06
11	82	12	59.76	11	82	83	0.01	11	82	164	82.00
12	95	19	60.80	12	95	101	0.38	12	95	185	85.26
13	102	23	61.19	13	102	108	0.35	13	102	192	79.41
14	115	32	59.90	14	115	128	1.47	14	115	217	90.47
15	128	43	56.45	15	128	145	2.26	15	128	234	87.78
16	141	55	52.45	16	141	161	2.84	16	141	254	90.56
17	154	66	50.29	17	154	174	2.60	17	154	273	91.95
18	164	76	47.22	18	164	193	5.13	18	164	298	109.49
19	177	86	46.79	19	177	203	3.82	19	177	328	128.82
20	190	108	35.39	20	190	225	6.45	20	190	359	150.32
21	203	127	28.45	21	203	252	11.83	21	203	374	144.04
22	210	127	32.80	22	210	262	12.88	22	210	374	128.08
23	223	150	23.90	23	223	294	22.61	23	223	392	128.08
24	236	175	15.77	24	236	316	27.12	24	236	414	134.25
25	249	199	10.04	25	249	341	33.99	25	249	443	151.15
26	262	221	6.42	26	262	365	40.49	26	262	466	158.84
27	272	244	2.88	27	272	387	48.62	27	272	483	163.68
28	285	266	1.27	28	285	414	58.39	28	285	496	156.21
29	298	282	0.86	29	298	442	69.58	29	298	510	150.82
30	311	307	0.05	30	311	466	77.25	30	311	532	157.05
31	318	307	0.38	31	318	486	88.75	31	318	559	182.64
32	331	326	0.08	32	331	510	96.80	32	331	580	187.31
33	344	349	0.07	33	344	537	108.28	33	344	606	199.55
34	357	365	0.18	34	357	568	124.71	34	357	635	216.48
35	370	374	0.04	35	370	598	140.50	35	370	668	240.01
36	380	389	0.21	36	380	620	151.58	36	380	691	254.53
TOTAL=				TOTAL=				TOTAL=			
1002.17				1296.73				4350.63			

Considerando un nivel de confianza del 95%, una muestra de 36 datos y grados de libertad como 35, el valor crítico obtenido de la tabla de distribución de Chi Cuadrada es 49.8018 el cual fue comparado con los resultados del experimento.

En la Tabla 7 están mostrados los resultados de la prueba de bondad de ajuste del experimento comparándolos con el valor crítico.

Tabla 7. Resultados de prueba de bondad de ajuste.

RESULTADOS CHI CUADRADA			
Grupo	Descripción	Valor Crítico (Valor de tabla)	Valor obtenido (Calculado)
A	Sin experiencia	49.8018	1002.1674
B	Mixto	49.8018	1296.7252
C	Con experiencia	49.8018	4350.6267

Haciendo una comparación entre el valor obtenido de los experimentos de cada grupo de personal con el valor crítico de chi cuadrada, la diferencia entre los grupos de experiencias del personal es demostrada estadísticamente lo cual había sido observado también en la gráfica de curva de aprendizaje.

Una vez comprobadas las diferencias entre el personal, fue necesario determinar por medio de un intervalo de confianza el tiempo promedio necesario para alcanzar la meta de producción.

4.5 Intervalo de confianza para el tiempo

Para calcular el intervalo a un 95% de confianza fue necesario el cálculo de los valores mostrados en la Tabla 8.

Tabla 8. Datos para cálculo de intervalo de confianza para tiempo.

DATOS PARA INTERVALO DE CONFIANZA					
Grupo	Descripción	Media [Horas]	Desviación estándar [Horas]	Muestras (n)	Valor Z
A	Sin experiencia	30	4.24	2	1.96
B	Mixto	12	1.41	2	1.96
C	Con experiencia	5	2.83	2	1.96

Una vez contando con los datos necesarios para aplicar la fórmula, los resultados de los intervalos están mostrados en la Tabla 9 y fueron calculados con un 95% confianza, considerando el valor de tabla Z de 1.96 y una muestra de dos réplicas.

Tabla 9. Intervalo de confianza para tiempo

INTERVALO DE CONFIANZA PARA TIEMPO				
Grupo	Descripción	Límite Inferior [Horas]	Media [Horas]	Límite Superior [Horas]
A	Sin experiencia	24.12	30	35.88
B	Mixto	10.04	12	13.95
C	Con experiencia	1.08	5	8.91

Estos resultados nos indican los intervalos de las horas necesarias de cada grupo de personal para alcanzar la meta de producción. Comparando el tiempo promedio entre los grupos de personal, es observada una diferencia de al menos un 50% entre ellos por lo cual fue necesario calcular la productividad de cada grupo de experiencia durante el periodo de inicio de producción hasta cumplir con el requerimiento del cliente.

4.6 Intervalo de confianza para productividad

Para determinar el intervalo de confianza para la productividad de los grupos de personal, fueron seguidos los mismos pasos realizados para el intervalo de tiempos. En la Tabla 10 fueron determinados los valores necesarios para el desarrollo de la fórmula.

Tabla 10. Datos para cálculo de intervalo de confianza para productividad.

DATOS PARA INTERVALO DE CONFIANZA					
Grupo	Descripción	Media	Desviación estándar	Muestras (n)	Valor Z
A	Sin experiencia	71%	2%	2	1.96
B	Mixto	81%	3%	2	1.96
C	Con experiencia	94%	3%	2	1.96

Una vez contando con los datos necesarios para aplicar la fórmula, los resultados de los intervalos están mostrados en la Tabla 10 y fueron calculados con un 95% confianza, considerando el valor de tabla Z de 1.96 y una muestra de dos réplicas.

La Tabla 11 muestra los resultados de los intervalos calculados para determinar la productividad de los distintos grupos de experiencias. Estos intervalos fueron calculados con un 95% confianza considerando valor de Z de 1.96 en una muestra de dos replicas.

Tabla 11. Intervalo de confianza para productividad

INTERVALO DE CONFIANZA PRODUCTIVIDAD				
Grupo	Descripción	Límite Inferior [%]	Media [%]	Límite Superior [%]
A	Sin experiencia	68%	71%	73%
B	Mixto	77%	81%	85%
C	Con experiencia	90%	94%	98%

Con los resultados obtenidos en la Tabla 11 se obtuvo la media de productividad de cada grupo de personal con el cual podemos determinar el impacto económico durante en donde la célula de producción no cumplió con el estándar programado.

4.7 Impacto

El impacto fue calculado por la porción de productividad la cual no llegó al estándar de producción durante el periodo de aprendizaje. La Tabla 12 muestra los resultados de los impactos proporcionales por cada grupo de experiencia.

Tabla 12. Impactos calculados por grupo de experiencia

IMPACTOS							
Grupo	Descripción	Tiempo [Horas]	Productividad [%]	Tiempo proporcional [Horas]	Impacto [\$ MNX]	Cantidad de personal	Total [\$ MNX]
A	Sin experiencia	30	71%	8.7	\$ 169.22	10	\$ 1,692.20
B	Mixto	8.5	77%	1.615	\$ 1.41	10	\$ 314.13
C	Con experiencia	5	90%	0.5	\$ 9.73	10	\$ 97.25

Capítulo 5. Conclusiones y Recomendaciones

Con los resultados obtenidos durante el estudio, podemos comprobar estadísticamente el rechazo de la hipótesis nula (H_0) para los tres grupos de experiencias debido a el valor obtenido de la prueba de chi cuadrada es mayor al valor crítico, rechazando así la hipótesis nula (H_0) y podemos afirmar que si existe diferencia entre las características del dominio del estándar de producción por la mezcla de experiencias en el grupo de mano de obra por lo cual se plantean las siguientes conclusiones.

Un grupo sin experiencia le lleva en promedio 30 horas variando entre 24.12 y 35.88 horas en llegar a la meta de producción y tienen una productividad promedio de 71% variando entre 71% y 73% de productividad.

Para un grupo mixto le lleva en promedio 12 horas variando entre 10.04 y 13.95 horas en llegar a la meta de producción y tienen una productividad promedio de 81% variando entre 77% y 85% de productividad.

Para un grupo de personal experimentado le lleva en promedio 5 horas variando entre 1.08 y 8.91 horas en llegar a la meta de producción y tienen una productividad promedio de 94% variando entre 90% y 98% de productividad.

Con el tiempo y productividad fueron calcularon los impactos para cada grupo de experiencia teniendo como resultado un impacto de \$1,692.20 pesos para el personal sin experiencia, \$314.13 para el personal con experiencia mixta y por último un impacto de \$97.25 para el personal con experiencia. Estos impactos corresponden exclusivamente al costo de no cumplir con la meta en las primeras horas del inicio de producción.

Definida la productividad por cada experiencia esta puede ser considerada para ser incluida en el proceso de cotización para incluir la curva de aprendizaje durante el periodo inicial de la célula.

Otro de los beneficios obtenidos de este proyecto es tener información certera sobre el comportamiento del personal durante la fase de inicio de producción. Estos datos pueden servir para plantear objetivos durante el inicio de producción de un modelo existente ya sea por aumento en requerimiento de producción o bien, la introducción de un nuevo producto. Al implementar este método de análisis, el departamento de producción podrá planear con base en datos estadísticos y no por el conocimiento empírico del personal.

Como recomendación, debido al corto tiempo para realizar el experimento y las situaciones actuales de la compañía, es necesario seguir con la recolección de datos para robustecer y recopilar información suficiente para obtener resultados más precisos. También será necesario implementarlo en toda la gama de productos ya que el tiempo y la productividad pueden variar entre los diferentes productos.

Capítulo 6. Referencias

Winfred B. Hirschmann (1964). Profit from the Learning Curve. Consultado el 21 de febrero de 2019, de: <https://hbr.org/1964/01/profit-from-the-learning-curve>

APQP Advanced Product Quality Planning [Figura] (2012). Consultado el 15 de marzo de 2019, de: <https://spcgroup.com.mx/apqp/>

Finding the Perfect Pace for Product Launches (2018). Consultado el 21 de febrero de 2019, de: <https://hbr.org/2018/07/finding-the-perfect-pace-for-product-launches>

Alvarado, S. E. (2003). Aplicación de curvas de aprendizaje en la Fábrica de Confecciones Vargas. Quito, Ecuador.

Anaya, R. M. D. C. A., & María, R. (2009). Análisis e interpretación de los estados financieros. Trillas.

Beazley, H., Jeremiah, B., & Harden, D. (2004). *La continuidad del conocimiento en las empresas*. Bogotá: Grupo Editorial Norma.

Carro, R., & González Gómez, D. A. (2012). Productividad y competitividad.

González, M., Mas, J., & Vidal, F. (2017). *Sistemas de Seguridad y confortabilidad*. Madrid: Editex, S.A.

Horngren, C. T., Foster, G., & Datar, S. M. (2007). Contabilidad de costos: un enfoque gerencial. Pearson educación.

Jimenez, F., & Espinoza, C. (2007). *Costos industriales*. Cartago: Tecnológica de Costa Rica.

- Keat, P. G., & Young, P. K. (2004). *Economía de empresa*. Pearson Educación.
- Kirberg, A. S. (2005). *Desarrollo de nuevos productos*. McGraw-Hill Interamericana.
- Krajewski, L. J., & Ritzman, L. P. (2000). *Administración de operaciones: estrategia y análisis*. Pearson educación.
- Latiff, A. (2005). La " Curva de Aprendizaje". Qué es y cómo se mide. *Revista Urología Colombiana*, 14(1).
- Lerma, A. (2010). *Desarrollo de nuevos productos, una visión integral*. México, D.F.: Cengage Learning Editores.
- Lester, R. H., Enrick, N. L., & Mottley, H. E. (1989). *Control de calidad y beneficio empresarial*. Ediciones Díaz de Santos.
- Serpell, A., & Alarcón, L. F. (2000). *Planificación y control de proyectos*. Ediciones UC.
- Taxis Flores, M., Mungaray Lagarda, A., Ramírez Urquidy, M., & Ramírez Angulo, N. (2011). Aprendizaje en microempresas de Baja California. *Estudios fronterizos*, 12(23), 95-116.
- Valdés, J. R., & Daumy, I. A. (2006). Aplicación del método del Punto de Equilibrio para determinar el nivel de eficiencia de una base de transporte por camiones. *Transporte Desarrollo Y Medio Ambiente*, 26(1), 17-19.