



Instituto Politécnico Nacional

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIA
APLICADA Y TECNOLOGÍA AVANZADA

UNIDAD QUERÉTARO

POSGRADO EN TECNOLOGÍA AVANZADA

**Estudio comparativo del desempeño de un modelo nacional
de dado y boquilla para el proceso de extrusión de
conductores eléctricos**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN TECNOLOGÍA AVANZADA

Presenta

Jorge Cruz Salinas

Directores de tesis:

Dr. Iván Domínguez López

Dr. Adrián Luis García García



Querétaro, Qro. diciembre de 2017



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Querétaro siendo las 10:00 horas del día 24 del mes de noviembre del 2017 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de _____ para examinar la tesis titulada:

Estudio Comparativo del Desempeño de un Modelo Nacional de Dado y Boquilla para el Proceso de Extrusión de Conductores Eléctricos

Presentada por el alumno:

CRUZ	SALINAS	JORGE					
Apellido paterno	Apellido materno	Nombre(s)					
		A	1	5	0	2	2

aspirante de:

Maestría en Tecnología Avanzada

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Directores de tesis

Dr. Iván Domínguez López

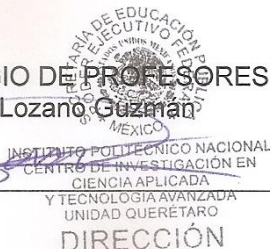
Dr. Adrián L. García García

Dr. J. D. Oscar Barceinas Sánchez

Dr. M. Antonio Zamora Antuñano

Dra. Eva González Jasso

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES
Dr. Alejandro Alfredo Lozano Guzmán





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México, D.F. el día 24 del mes de noviembre del año 2017, el (la) que suscribe Jorge Cruz Salinas alumno(a) del Programa de Maestría en Tecnología Avanzada, con número de registro A150222, adscrito(a) al C.I.C.A.T.A. Querétaro, manifiesto(a) que es el (la) autor(a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del (de la, de los) Dr. Iván Domínguez López y cede los derechos del trabajo titulado Estudio Comparativo del Desempeño de un Modelo Nacional de Dado y Boquilla para el Proceso de Extrusión de Conductores Eléctricos, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del (de la) autor(a) y/o director(es) del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a las siguientes direcciones j.cruz@inteligenciacolectivakm.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Jorge Cruz Salinas

Nombre y firma del alumno(a)

RESUMEN

Esta tesis reporta un estudio longitudinal, llevado a cabo durante un período de seis meses, para comparar el rendimiento de un par de herramientas de dado-boquilla fabricadas en México, frente al rendimiento de cuatro modelos fabricados en el extranjero. Estas herramientas se utilizan durante el proceso de aplicación de material aislante a conductores eléctricos. Para este fin, Leoni Cable S. A. de C. V., una compañía dedicada a la fabricación de alambre y cable eléctrico, proporcionó el historial de dos años de producción del cual se extrajo un período de seis meses de producción durante el cual se utilizaron los cinco modelos de par de herramientas con dado-boquilla. Los datos de entrada obtenidos de Leoni se organizaron y procesaron para determinar el comportamiento estadístico de los parámetros, considerando solo los aquellos indicados por los criterios de la compañía para calcular el desempeño. Una vez que se determinó que los datos de entrada eran normales, se aplicaron métodos estadísticos como ANOVA, prueba de Tukey y regresión lineal. Siguiendo los criterios de la compañía, se consideró que seis factores influían en el rendimiento del par de herramientas: productividad, calidad, máquina, operador, tiempo y color del material aislante. Los efectos de estos factores fueron determinados estadísticamente al 5% de significancia. Basado en este análisis, dos modelos exhibieron el mejor desempeño; uno de ellos fue el modelo mexicano, superando por el modelo importado al nacional en solo 1%. Un análisis adicional, que involucra herramientas de benchmarking y seis sigma, confirma este resultado, indicando que ambos pares de herramientas poseen el nivel de sigma más alto, así como los índices de capacidad y habilidad de proceso más altos. En conclusión, el método desarrollado en este documento respalda el conjunto de factores de Leoni para medir el desempeño del par de herramientas de dado-boquilla; el par de herramientas producido en México se compara favorablemente con los hechos en el extranjero, particularmente con uno de ellos, en cuanto a nivel de sigma, capacidad de proceso y habilidad de proceso.

ABSTRACT

This thesis reports a longitudinal study, carried on over a six-month period, to compare the performance of a (die-tip) die-nozzle tool pair made in Mexico, against the performance of four models made abroad. These tools are used during the process of applying insulating material to electrical conductors. For this purpose, Leoni Cable S.A. de C.V., a company dedicated to the manufacturing of electrical wire and cable, provided a two-years period of production data during which the five models of die-nozzle tool pair were used. The input data obtained from Leoni were organized and processed to determine the statistical behavior of the parameters considered in this study, taking into account only those indicated by the company to calculate the performance. Once the input data was determined to be normal, statistical methods like, ANOVA, Tukey test, and linear regression were applied. Following the company's criteria, six factors were considered to influence the performance of the tool pair: productivity, quality, machine, operator, time, and color of the insulating material. The effects of these factors were determined to 5% statistical significance. Based on this analysis, two models exhibited the best performance; one of them was the Mexican model. (surpassing the model imported to the national in only 1%). A further analysis, involving benchmarking and six sigma tools, confirmed this result, indicating that both tool pairs possess the higher sigma-level, as well the higher process capacity and ability indices. In conclusion, the method developed herein supports Leoni's set of factors to measure the performance of the die-nozzle tool pair; the tool pair produced in Mexico compares favorably against those made abroad, particularly with one of them, in sigma-level, process capacity, and process ability

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I	13
1. Introducción	1
1.1 Antecedentes del mercado de conductores eléctricos	1
1.2 Planteamiento del problema	2
1.3 Antecedentes del problema	4
1.4 Justificación	6
1.5 Objetivos	6
1.6 Hipótesis	7
CAPÍTULO II	8
2.1 Análisis estadístico.....	9
2.2 Pruebas de hipótesis.....	9
2.2.1 Tipo de errores en pruebas de hipótesis.....	9
2.3 Análisis de Varianza de un Factor.....	10
2.3.1 Tabla de ANOVA	11
2.4 Métodos de Regresión	12
2.5 Indicadores clave de desempeño en producción (KPI)	14
2.6 <i>Benchmarking</i>	16
2.6.1 Tipos de <i>Benchmarking</i>	17
2.6.2 Aplicaciones del <i>Benchmarking</i>	18
2.7 Análisis del nivel de Sigma del proceso	19
2.7.1 Niveles de Sigma	19
2.8 Control Estadístico del Proceso (SPC)	20
2.8.1 Estudios de capacidad, habilidad y rendimiento de los procesos en la calidad del producto.....	20

CAPÍTULO III	24
3.1 Metodología	25
3.2 Descripción de las etapas del proyecto.....	25
3.3 Desarrollo del proyecto	29
Tipo de investigación	29
Observación para la selección del modelo experimental	29
Identificación y selección de variables.....	30
Obtención de la fuente de datos para el estudio.....	31
Procesamiento de la información, clasificación y organización	31
Análisis de varianza y regresión lineal.....	31
Identificación y selección de las variables	35
Cálculo de los índices de desempeño KPI.....	35
Análisis de <i>Benchmarking</i> y cálculo de capacidad del proceso con seis Sigma	36
CAPÍTULO IV	39
4. Resultados y análisis	40
4.2 Resultado del análisis de varianza para la duración del par dado-boquilla en proceso.....	40
4.3 Resultado de la prueba de Tukey	41
4.4 Resultado de regresión lineal simple de la variable producción vs cantidad dado-boquilla	42
4.5 Resultado del análisis de varianza para la máquina	45
4.6 Resultado del análisis de varianza para el operador	46
4.7 Resultado del análisis de los Indicadores de desempeño KPI.....	47
4.8 Resultado del análisis y cálculo de capacidad del proceso y nivel de sigma	49
4.9 Resultado del análisis y cálculo nivel de sigma	51

CAPÍTULO V	53
5.1 Conclusiones.....	54
ANEXOS	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Conductores eléctricos: alambre y cable.

Figura 1.2 Indicador global de productos eléctricos en mmd en Latinoamérica [2].

Figura 1.3 Corte esquemático del cabezal compuesto de dado y boquilla. Proceso de recubrimiento aislante de conductores eléctricos.

Figura 2.2.1 Tipo de errores en pruebas de hipótesis [5].

Figura 2.4.1 Gráfica de la distribución F, la zona en blanco es el conjunto de todos los valores para aceptar H_0 y la zona sombreada corresponde a la región crítica o zona de rechazo.

Figura 2.8.1 Ejemplos de producción con las gráficas de control características (a) fuera de tolerancia, (b) capaz poco variable, (c) capaz variable y (d) capaz [13].

Figura 3.1 Diagrama de flujo de la metodología del proyecto.

Figura 3.3.1 Diagrama de causa y efecto de variables propuestas para analizar el proceso de extrusión de conductores eléctricos.

Figura 4.2.1 Gráficas del análisis de varianza de dado y boquilla considerando 6 réplicas (meses) y 5 tratamientos (modelos).

Figura 4.4.1 Gráfica de dispersión Producción vs Cantidad de dado y boquilla.

Figura 4.8.1 Análisis de la capacidad del proceso utilizando la herramienta de dado y boquilla del modelo nacional 3DBD.

Figura 4.8.2 Comparación de índices de capacidad en el proceso C_p y C_{pk} con los modelos de dados y boquillas.

Figura 4.9.1 Análisis de nivel de Sigma utilizando la herramienta de dado y boquilla del modelo nacional 3DBD.

Figura 4.9.2 Comparación de índices de nivel de Sigma y capacidad del proceso C_{pk} con los modelos de dado- boquilla.

Figura A4.1 Gráficas del análisis de varianza de dado y boquilla considerando 6 réplicas (meses) y 5 tratamientos (modelos).

Figura A5.1 Gráficas del análisis de varianza de dado y boquilla considerando 6 réplicas (meses) y 5 tratamientos (modelos).

Figura A6.1 Diagrama de dispersión scrap vs cantidad de dado y boquilla.

Figura A7.1 Gráficas del análisis de varianza de dado y boquilla considerando 6 réplicas (meses) y 4 tratamientos (máquina).

Figura A8.1 Gráficas del análisis de volumen de producto obtenido por cada operador en la máquina M01, considerando 6 réplicas (meses) y 4 tratamientos (operador).

Figura A10.1 Análisis de la capacidad del proceso utilizando la herramienta de dado y boquilla del modelo 1DBL.

Figura A10.2 Análisis de nivel de Sigma utilizando la herramienta de dado y boquilla del modelo 1DBL.

Figura A10.3 Análisis de la capacidad del proceso utilizando la herramienta de dado y boquilla del modelo 2DBV.

Figura A10.4 Análisis de nivel de Sigma utilizando la herramienta de dado y boquilla del modelo 2DBV.

Figura A10.5 Análisis de la capacidad del proceso utilizando la herramienta de dado y boquilla del modelo 4DBK.

Figura A10.6 Análisis de nivel de Sigma utilizando la herramienta de dado y boquilla del modelo 4DBK.

Figura A10.7 Análisis de la capacidad del proceso utilizando la herramienta de dado y boquilla del modelo 5DBS.

Figura A10.8 Análisis de nivel de Sigma utilizando la herramienta de dado y boquilla del modelo 5DBS.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Tasa media de crecimiento anual [2].

Tabla 1.2 Calibres de Conductores Eléctricos Denominación AWG [16], adaptada de la norma.

Tabla 2.3.1 Análisis de varianza para el modelo con un solo factor y efectos fijos [6].

Tabla 2.6.1 Matriz de relación de los diferentes tipos de Benchmarking [9].

Tabla 2.7.1 Nivel de Sigma y las correspondientes partes por millón de defectos en procesos de fabricación [12].

Tabla 3.2.1 Resumen de indicadores de desempeño para contrastar por modelo.

Tabla 3.3.1 Formato para la selección, clasificación y organización del historial de la base de datos por línea de producción del período bajo estudio.

Tabla 3.3.5 Duración promedio de vida en horas por mes para cada modelo de dado y boquilla.

Tabla 3.3.6 Producción promedio por unidad en metros por mes para cada modelo de dado y boquilla.

Tabla 3.3.7 Cantidad de scrap promedio por unidad en metros, generado cada mes para cada modelo de dado y boquilla, utilizados en el proceso de extrusión.

Tabla 3.3.8 Cantidad de km producidos de cable contra cantidad de dados y boquillas por mes, utilizadas para cada línea de producción.

Tabla 3.3.9 Resumen de los valores de cada variable para la evaluar los índices de desempeño de cada modelo de par dado-boquilla.

Tabla 3.3.10 Reporte dimensional del diámetro de cable por modelo de dado y boquilla utilizado en el proceso de extrusión durante el periodo enero-junio de 2015.

Tabla 3.3.11 Diámetro promedio inicial para cada par de dado-boquilla y país de origen de fabricación.

Tabla 4.2.1 Resultados de análisis de ANOVA con *Minitab*.

Tabla 4.3.1 Resultado de prueba de Tukey.

Tabla 4.3.2 Resultados del ANOVA para las variables duración de dado y boquilla, volumen de producción y *scrap*.

Tabla 4.4.1 Resumen de resultados del análisis de regresión lineal simple para las variables producción y *scrap*.

Tabla 4.6.1 Resultados del análisis de ANOVA para las variables máquina y operador.

Tabla 4.7.1 Resumen de la evaluación de indicadores de desempeño para conjunto de dado y boquilla modelo 1DBL.

Tabla 4.7.2 Concentrado de resultados de los indicadores de desempeño para los modelos de dado-boquilla.

Tabla 4.8.1 Resumen de resultados de la capacidad del proceso que tiene cada uno de los modelos.

Tabla 4.9.1 Resumen de resultados de nivel de Sigma para cada modelo.

Tabla A3.1 Clasificación y organización de información por línea de producción A, fuente base de datos históricos de la compañía.

Tabla A3.2 Clasificación y organización de información por línea de producción B, fuente base de datos históricos de la compañía.

Tabla A3.3 Clasificación y organización de información por línea de producción C, fuente base de datos históricos de la compañía.

Tabla A6.1 Cantidad de Km generados de scrap (producto no conforme), cantidad de dados y boquillas utilizadas en el período enero-junio de 2015.

Tabla A7.1 Cantidad de dados y boquillas promedio por mes, utilizados en el proceso de extrusión para cada máquina bajo las mismas condiciones de trabajo.

Tabla A8.1 Producción promedio en km/unidad de dado-boquilla obtenido por cada operador, sin importar el modelo y colorante, para la máquina M01 en el proceso de extrusión, bajo las mismas condiciones de trabajo.

Tabla A9.1 Resumen de la evaluación de indicadores de desempeño para el conjunto de dado y boquilla modelo 2DBV.

Tabla A9.2 Resumen de la evaluación de indicadores de desempeño para el conjunto de dado y boquilla modelo 3DBD.

Tabla A9.3 Resumen de la evaluación de indicadores de desempeño para el conjunto de dado y boquilla modelo 4DBK.

Tabla A9.4 Resumen de la evaluación de indicadores de desempeño para el conjunto de dado y boquilla modelo 5DBS.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1. Introducción

1.1 Antecedentes del mercado de conductores eléctricos

Los conductores eléctricos como se muestra en la Figura 1.1, tanto cables como alambres, se han convertido en un artículo necesario en zonas urbanas y rurales, formando parte de nuestra vida cotidiana. La existencia de este producto ha facilitado el uso masivo del servicio eléctrico en un sinnúmero de aplicaciones domésticas e industriales.

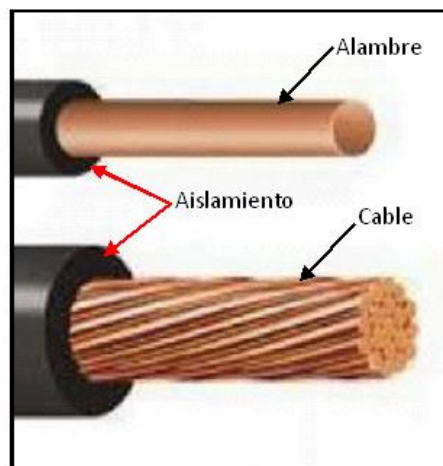


Figura 1.1 Conductores eléctricos: alambre y cable.

Las compañías fabricantes de conductores eléctricos enfrentan grandes retos para abastecer un mercado cada vez más demandante. Además, considerando que los estándares de confort y calidad de vida de los consumidores siguen en aumento, se prevé un crecimiento en la demanda de este producto [1].

Desde esta perspectiva, podemos dimensionar la demanda que este sector de mercado requiere para satisfacer sus necesidades; baste mencionar, como referencia, los indicadores del 2012 [2]. En la Figura 1.2 pueden observarse los índices de producción de cables y baterías para el mercado de América Latina. En este contexto, el mercado mexicano produce más del 50% del total.

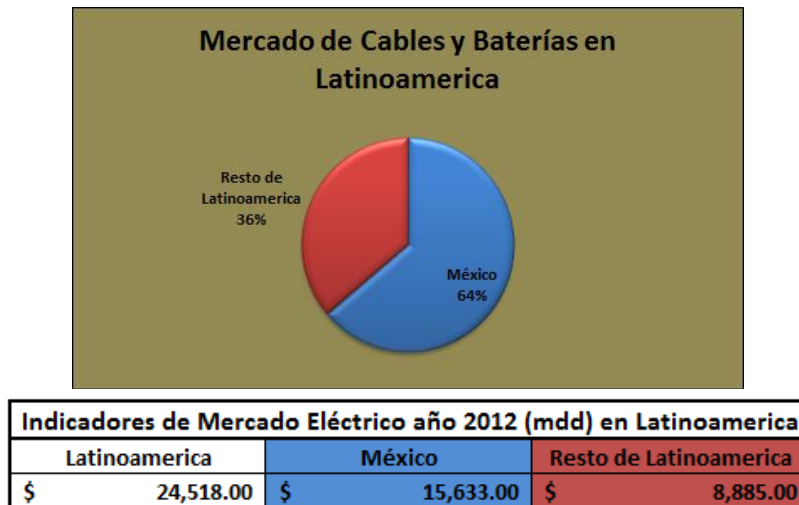


Figura 1.2 Indicador global de productos eléctricos en mdd en Latinoamérica [2].

Por tal motivo, México se ubica en un sitio relevante a nivel internacional como proveedor de este producto.

En la Tabla 1.1 se muestra la tasa media de crecimiento global hasta el año 2020 [2]. A pesar de sufrir un ligero descenso en la tasa de crecimiento con respecto al período 2010 a 2012, se pronóstica que para el período 2013 a 2020, la demanda de productos y servicios para el sector eléctrico siga en aumento, principalmente por la demanda que ha generado el uso extendido de las tecnologías de comunicación y electrónica, además del crecimiento demográfico.

Tabla 1.1 Tasa media de crecimiento anual de productos eléctricos [2].

Tasa media de crecimiento global anual	
2010 a 2012	2013 a 2020
10.10%	7.90%

Ante esta perspectiva, resalta la importancia de los procesos de fabricación de conductores eléctricos, motivo de la presente investigación; específicamente, de los dados y boquillas utilizadas en la etapa de aplicación del aislante, que es donde actualmente se presenta un problema que afecta directamente al producto.

1.2 Planteamiento del problema

El mercado de los conductores eléctricos cuenta con una gran diversidad de tipos de cables, esta clasificación depende de la aplicación, por ejemplo,

telecomunicaciones, doméstico, aeroespacial y automotriz; a su vez, los conductores para uso doméstico se subdividen en alto y bajo voltaje, dependiendo de la tensión eléctrica a la que trabajen. Estos productos se fabrican bajo la denominación AWG. (*American Wire Gauge*), la cual incluye diferentes tamaños desde 0.255 hasta 3.26 mm de diámetro.

Tabla 1.2 Calibres de Conductores Eléctricos Denominación AWG [16], adaptada de la norma.

Calibre	Diam. Mm	Calibre	Diam. Mm
1	7.35	16	1.29
2	6.54	17	1.15
3	5.86	18	1.024
4	5.19	19	0.912
5	4.62	20	0.812
6	4.11	21	0.723
7	3.67	22	0.644
8	3.26	23	0.573
9	2.91	24	0.511
10	2.59	25	0.455
11	2.30	26	0.405
12	2.05	27	0.361
13	1.83	28	0.321
14	1.63	29	0.286
15	1.45	30	0.255

En México se producen los conductores de bajo calibre del 8 a 30, que son los de mayor demanda en el mundo [2], los cuales se muestran en la Tabla 1.2. Estos calibres deben cumplir con los estándares de la norma que se muestran en el Anexo 1.

El aislante de los conductores eléctricos se aplica por medio de una máquina de extrusión de plástico cuyo corte esquemático se muestra en la Figura 1.3. En el cabezal se insertan un dado y una boquilla. El equipo se complementa con una tolva de alimentación de gránulos de polímeros y secador, que no se muestran.

Al pasar a través del cabezal, el alambre o torcido de cobre o aluminio, queda recubierto con aislante de policloruro de vinilo (PVC) o polietileno (XLPE). Por otro lado, el aislante debe cumplir con especificaciones de control de calidad en cuanto

a la uniformidad del espesor, diámetro y adherencia al núcleo del conductor, Anexo 1.

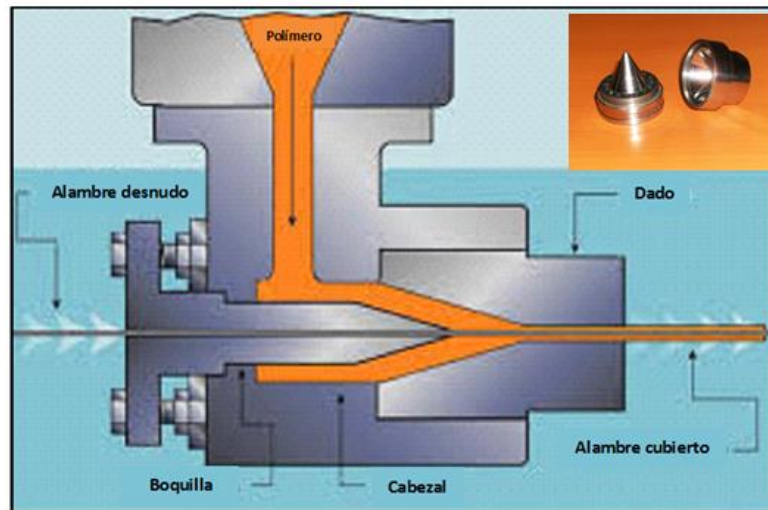


Figura 1.3 Corte esquemático del cabezal compuesto de dado y boquilla.
Proceso de recubrimiento aislante de conductores eléctricos.

Como el cobre o aluminio son los materiales del conductor que están en contacto con la boquilla, además del plástico aislante, esto produce desgaste y ocasiona que el dado y la boquilla, deban cambiarse frecuentemente, lo cual genera paros de aproximadamente dos horas en el proceso de producción, contabilizando el tiempo de paros, se encuentra que éste equivale a un mes de producción anual.

Entre otros inconvenientes se encuentran: elevado consumo del par dado-boquilla, incremento en los costos indirectos del proceso, pérdidas generadas por producto no conforme, desperdicio de materiales y contaminación.

Por tanto, el problema puede definirse en términos de la durabilidad del par dado-boquilla, debido a que el desgaste acelerado de este conlleva a la pérdida de productividad por tiempo muerto, desperdicio y contaminación.

1.3 Antecedentes del problema

Actualmente, la empresa Leoni Cable, S. A. de C. V., localizada en la ciudad de Celaya, Gto., adquiere sus dados y boquillas a través de proveedores nacionales e internacionales, principalmente: Alemania, Estados Unidos, Australia y Japón. De

acuerdo a la experiencia de la empresa, en el mejor de los casos, la duración de estos componentes es de tres días de producción; sin embargo, su costo se incrementa en aproximadamente 200%, comparado contra los de fabricación nacional. Por otra parte, los dados y boquillas de origen japonés llegan a durar hasta siete días. Sin embargo, el costo de estos componentes es 500% mayor.

En este escenario, se observa la necesidad de llevar a cabo un estudio estadístico para cuantificar la relación costo/beneficio que podría representar la adquisición de boquillas y dados nacionales, como una oportunidad de sustitución de importaciones.

Para dar solución a este problema se propone el estudio estadístico del desempeño de los distintos modelos de par dado-boquilla utilizados por la empresa Leoni Cable S. A. de C. V., incluyendo el modelo mexicano que produce la empresa DIMAGO, S. de R. L. de C. V., localizada en la ciudad de Querétaro, Qro.

El objeto de estudio de esta investigación estará centrado en un conductor de calibre 23. Se seleccionó este tamaño por las condiciones que a continuación se mencionan:

- a) Primero, por ser el calibre de tamaño intermedio, cualquier variación dimensional afectará el desempeño de la herramienta utilizada en el proceso de extrusión debido al grado de tolerancia dimensional ($\pm 0.06\text{mm}$), regulado por la norma de calidad **NMX-J-429-ANCE-1994**, porque es proporcional, a menor tamaño menor tolerancia.
- b) Segundo, como la máquina de extrusión que se utiliza aplica el aislante en el exterior del alambre o cable, esperando se logre el espesor requerido por la norma, la velocidad de producción de la máquina debe ser 3 m/s, comparado con un tamaño más grande significa mayor material de contacto en el mismo tiempo.

Estas dos condiciones críticas, provocan que el proceso someta al par dado-boquilla a un desgaste severo.

1.4 Justificación

La empresa DIMAGO S. de R. L. de C. V., involucrada en esta investigación y dedicada a la manufactura del par dado-boquilla, está interesada en conocer el desempeño de su modelo de dado-boquilla, comparado contra los modelos extranjeros. El resultado del presente estudio ofrecerá información valiosa para conocer el grado de competitividad de su producto. Actualmente, esta empresa genera empleos para quince personas, atendiendo sólo un 10% del mercado nacional. Si los resultados de esta investigación demuestran que sus componentes representan una ventaja económica para sus clientes, la empresa, con base en un estudio de mercado, considera que podría incrementar su número de clientes en un 50% en un lapso no mayor que tres años, lo que generaría treinta nuevos empleos directos, reduciría las importaciones de estas herramientas de forma significativa lo que ayudaría a la economía nacional.

Por otro lado, la empresa Leoni Cable, S. A. de C. V., que participa proporcionando la información necesaria para este estudio, prevé un beneficio económico en lo referente al consumo de estas herramientas, reduciendo la compra de refacciones y cantidad de paros técnicos.

1.5 Objetivos

General

Comparar estadísticamente el desempeño de un modelo nacional de dado y boquilla utilizado en el proceso de aplicación de la capa de aislante en conductores eléctricos, contra cuatro modelos importados.

Objetivos Específicos

- 1) Probar estadísticamente las variables consideradas por la empresa Leoni Cable, S. A. de C. V. para evaluar los modelos de par dado y boquilla, tienen un efecto en su desempeño.
- 2) Analizar estadísticamente la variación en el espesor del aislante para determinar la capacidad, habilidad y rendimiento del proceso para cada modelo de dado y boquilla, con margen de tolerancia de ± 0.06 mm para una dimensión base de 0.58 mm.
- 3) Contrastar los resultados, mediante un análisis *Benchmarking* para determinar las posiciones relativas de los distintos modelos de par dado-boquilla.

1.6 Hipótesis

Con el propósito de dar respuesta al problema planteado en el presente estudio, se formulan las siguientes hipótesis de trabajo:

1. El tiempo de vida de los diferentes modelos de dado y boquilla se puede determinar estadísticamente y probar que son diferentes con un nivel de significancia del 5%.
2. La producción, el *scrap*, el color del material aislante, la máquina y el operador, tienen un efecto con un nivel de significancia del 5% en función del número de dados y boquillas utilizados en el proceso de fabricación de conductores eléctricos de calibre 23 cuando el espesor en la capa de aislante plástico se encuentran en un intervalo de tolerancia de ± 0.06 mm.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Análisis estadístico

En este trabajo se utilizarán métodos de análisis estadístico como: pruebas de hipótesis, análisis de varianza (ANOVA), análisis de regresión, seis Sigma y control estadístico de proceso que a continuación se describirán brevemente.

2.2 Pruebas de hipótesis

Una prueba de hipótesis es una prueba estadística que se utiliza para determinar si existe evidencia suficiente en una muestra de datos para inferir que cierta condición es válida para toda una población.

Una prueba de hipótesis examina dos hipótesis opuestas sobre una población: la hipótesis nula (H_0) y la hipótesis alternativa (H_1). Por lo general, la hipótesis nula es un enunciado donde “no hay una diferencia” entre las características de las poblaciones que se están comparando. La hipótesis alternativa es un enunciado contrario a la hipótesis nula [5].

Con base en los datos de la muestra, la prueba determina si se debe rechazar o no la hipótesis nula.

2.2.1 Tipo de errores en pruebas de hipótesis

Cuando se realiza una prueba de hipótesis se llega a la conclusión de rechazarla o no, dicha conclusión puede ser correcta o incorrecta.

Error tipo I: es el error que se comete al rechazar la hipótesis nula cuando en realidad es verdadera. Se utiliza el símbolo α (alfa) para representar la probabilidad del error tipo I [5].

Error tipo II: es el error que se comete al no rechazar la hipótesis nula cuando en realidad es falsa. Se utiliza el símbolo β (beta) para representar la probabilidad del error tipo II [5].

En la Figura 2.2.1 se resumen los dos tipos de errores en pruebas de hipótesis.

	<i>Se acepta H_0</i>	<i>Se rechaza H_0</i>
<i>H_0 es verdadera</i>	Decisión correcta	Error tipo I
<i>H_0 es falsa</i>	Error tipo II	Decisión correcta

Figura 2.2.1 Tipo de errores en pruebas de hipótesis [5].

La prueba de hipótesis se aplica comúnmente en ANOVA de uno o varios factores, pruebas de normalidad y en el análisis de regresión. A continuación, se describe brevemente cada uno de estos casos.

2.3 Análisis de Varianza de un Factor

ANOVA de una vía es un método de análisis estadístico que permite determinar si al aplicar un tratamiento (factor) en diferentes niveles, éste genera, en promedio, valores distintos en una variable de respuesta.

En este caso, la hipótesis nula H_0 establece que no hay diferencia en los valores promedio de la variable de respuesta para los diferentes niveles del factor, mientras que la hipótesis alternativa H_1 establece que al menos uno de los valores promedio de la variable de respuesta difiere del resto. En forma de ecuaciones, se escribe de la siguiente manera:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots \mu_n \quad \text{Hipótesis nula} \quad (2.3-1)$$

$$H_1 : \mu_i \neq \mu_j \text{ para algún } i \neq j \quad \text{Hipótesis alternativa} \quad (2.3-2)$$

Para llevar a cabo el ANOVA se establecen el factor y la variable de respuesta, se determina el número de niveles para el factor >2 y, para cada nivel se deberá realizar un determinado número de réplicas de la medición. Si se tienen “a” réplicas, y “n” niveles del factor, cada una de las mediciones deberán de realizarse en orden aleatorio ($N = a \cdot n$).

La idea central consiste en comparar la variación entre las medias de los tratamientos con la variabilidad dentro de los tratamientos, asociada al error experimental: mientras más grande sea la primera respecto a la segunda, menor probabilidad de error se cometerá al rechazar la hipótesis nula.

Para realizar un ANOVA se hacen los siguientes supuestos:

1. Las observaciones se realizan en orden aleatorio
2. Debe haber independencia en los resultados de las observaciones
3. La distribución de los resultados debe ser normal o gaussiana.
4. La distribución de las observaciones para cada nivel del tratamiento deben tener la misma varianza.

2.3.1 Tabla de ANOVA

En la Tabla 2.3.1 se muestran los parámetros que se deben calcular para llevar a cabo un ANOVA. El indicador de la variabilidad causada por el tratamiento se obtiene de la suma de cuadrados del tratamiento $SS_{\text{Tratamiento}}$ y el indicador de la variabilidad dentro de los tratamientos o suma de cuadrados del error SS_E , se calcula restando a la variabilidad total SS_T la variabilidad debida al tratamiento.

Tabla 2.3.1 Análisis de varianza para el modelo con un solo factor y efectos fijos [6].

Fuente	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	F
FACTOR	$SS_{\text{Tratamientos}}$	$n - 1$	$SS_{\text{Tratamientos}} / n - 1$	$(SS_{\text{Tratamientos}} / n - 1) / (SS_E / \text{suma de } N - n)$
ERROR	$SS_E = SS_T - SS_{\text{Tratamientos}}$	suma de $N - n$	$SS_E / \text{suma de } N - n$	
TOTAL	SUMA DE COLUMNA	SUMA DE COLUMNA		

A partir de estos parámetros y los grados de libertad asociados a cada uno, se calculan los cuadrados medios respectivos y con estos se calcula el estadístico F_{Prueba} , definido como el cociente del cuadrado medio del tratamiento dividido por el cuadrado medio del error. El valor de F_{Prueba} se compara contra el valor de tablas de la distribución F para valores de $F_{\alpha, n-1, N-n}$: si el valor F_{Prueba} es mayor que el F de tablas, la hipótesis nula se rechaza con el nivel de significancia α [6], es decir:

$$\text{Si } F_{\text{Prueba}} > F_{(\alpha, n-1, N-n \text{ grados de libertad})} \rightarrow \text{Se rechaza } H_0 \quad (2.3-3)$$

En la Figura 2.4.1 se muestra una representación gráfica de la distribución F teórica; en particular sobre el eje de las abscisas se identifica el valor correspondiente a $F_{\alpha, n-1, N-n}$. Cualquier valor F_{Prueba} mayor al F teórico se

encontrará en la zona sombreada, correspondiente a la zona de rechazo de la hipótesis nula.

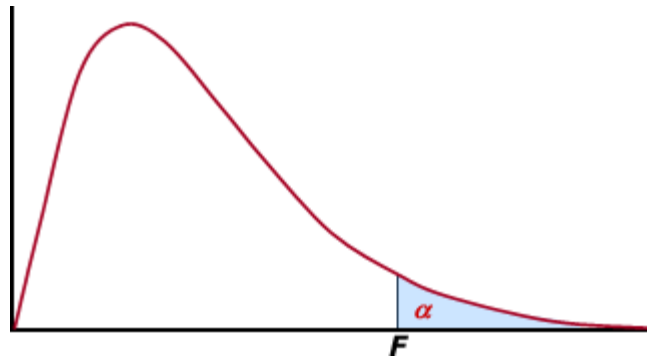


Figura 2.4.1 Gráfica de la distribución F, la zona en blanco es el conjunto de todos los valores para aceptar H_0 y la zona sombreada corresponde a la región crítica o zona de rechazo.

Se puede observar que, en tal caso, el valor de probabilidad de la cola derecha de la distribución F asociada al estadístico F_{Prueba} será menor que la probabilidad α (nivel de significancia), por lo que otra forma de escribir el criterio de rechazo de la hipótesis nula es el siguiente:

$$\text{Si } P_{Prueba} < \alpha \text{ (nivel de significancia)} \rightarrow \text{Se rechaza } H_0 \quad (2.3-4)$$

Cuando se rechaza la hipótesis nula, normalmente es de interés analizar cuál o cuáles medias difieren entre sí o cuál es el tratamiento que causa el valor más alto (o más bajo) en el valor promedio de la variable de respuesta. Para ello, existen diferentes criterios, uno de los más utilizados es la prueba de Tukey [6], en la que se establece un valor crítico a partir de un criterio estadístico; si la diferencia entre cualquier par de medias excede dicho umbral, entonces se concluye que dichas medias presentan una diferencia significativa entre sí.

2.4 Métodos de Regresión

Mediante métodos de regresión se analizan estadísticamente modelos matemáticos que permiten relacionar una variable dependiente “y” con un conjunto de variables o x_i (regresores). Se utilizan en problemas prácticos para conocer el efecto que una o varias variables pueden tener sobre otra, incluso predecir valores en una variable a partir de otras.

En general, en un análisis de regresión lineal múltiple se trata de encontrar una ecuación del siguiente tipo:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (2.4-1)$$

donde los coeficientes β_i se determinan por medio del método de mínimos cuadrados, y ε representa el error.

En el análisis de regresión se define el coeficiente de determinación R^2 , el cual se calcula a partir del cociente de la variabilidad determinada por los k regresores, dividida entre la variabilidad total, es decir:

$$R^2 = \frac{SS_R}{SS_T} = 1 - \frac{SS_E}{SS_T} \quad (2.4-2)$$

Donde SS_R es la suma de cuadrados debida al modelo de regresión, en la medida en que este parámetro se aproxima a 1, el modelo matemático con los k regresores explicará mejor el comportamiento de la variable dependiente.

El análisis de regresión también permite calcular intervalos de confianza a los coeficientes del modelo de regresión. Esto es de utilidad, especialmente cuando estos tienen asociado un significado físico.

Para el caso de una regresión lineal simple, cuando se tiene una variable dependiente y una independiente, la representación gráfica de la ecuación de regresión es una línea recta. Esta línea de mejor ajuste tiene una expresión matemática que se representa con la siguiente ecuación 2.4-3:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad (2.4-3)$$

En este caso, los parámetros se identifican como:

β_0 = ordenada al origen.

β_1 = pendiente.

los coeficientes del modelo β_0 y β_1 se obtienen a partir de las siguientes ecuaciones [7]:

$$\beta_1 = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - n \bar{X} \bar{Y}}{\sum_{i=1}^n X_i^2 - n \bar{X}^2} \quad (2.4-4)$$

$$\beta_0 = \bar{Y} - \beta_1 \bar{X} \quad (2.4-5)$$

En este caso, el intervalo de confianza para la pendiente se obtiene de la siguiente manera:

$$\hat{\beta} \pm t_{n-2, \alpha/2} SE(\hat{\beta}_1) \quad (2.4-6)$$

Donde $t_{n-2, \alpha/2}$ es el percentil de la distribución *t-student* con $n - 2$ grados de libertad que deja a su derecha un área $\alpha/2$ y $SE(\hat{\beta}_1)$ es el error estándar del coeficiente que se obtiene a partir del cociente del cuadrado medio del error dividido entre la desviación estándar de los valores del regresor X [6].

2.5 Indicadores clave de desempeño en producción (KPI)

Los indicadores clave de desempeño (KPIs: *Key Performance Indicators*) son los parámetros de rendimiento y desempeño que permiten analizar, evaluar, controlar y realizar un seguimiento a los procesos de fabricación. Estas mediciones sobre las operaciones críticas se usan para evaluar el logro de metas y objetivos en el trabajo diario [3].

Los indicadores KPIs son elementos fundamentales para el uso de herramientas formales, aceptadas y probadas como Kaizen, Lean Manufacturing, Six Sigma, Gestión de la Calidad Total, que utilizan las empresas para mejorar las operaciones de los procesos, impulsar la productividad y mantener una ventaja competitiva [3].

Para llevar a cabo una óptima gestión de la producción, se requiere de estos indicadores.

Un punto clave de conceptos para el presente estudio, está relacionado con los términos de rendimiento y desempeño que a continuación se definen.

El rendimiento está relacionado con el logro de los objetivos y resultados que deben medirse de forma conjunta en métricas de utilidad: ganancia o costos, por ejemplo: retorno de inversión, rotación de inventarios, costos unitarios de producción, productividad, etc. [3].

El desempeño está relacionado con la manera en cómo se hacen las cosas, independientemente de los objetivos y resultados que se logren. Se deben medir en términos de duración, rapidez en el desarrollo del producto, tiempo de cambio de modelo, conformidad con las especificaciones, entre otros [3].

Existen indicadores que se expresan en términos de eficacia y eficiencia, pero orientados a la productividad, calidad y economía, en el análisis de desempeño de la manufactura [4].

Para ejemplificar esto, se presenta el siguiente esquema, definiendo los siguientes indicadores:

1. *Eficacia*: es el grado de cumplimiento de una tarea y se puede medir, por ejemplo, con el porcentaje del plan de producción y el grado de satisfacción del cliente con relación a los pedidos, donde lo importante es el resultado, sin importar el gasto en recursos.
2. *Eficiencia*: es el nivel de cumplimiento de una tarea con el mínimo gasto de recursos, por ejemplo, tiempo, mano de obra, materiales o gastos indirectos. Por lo tanto, basado en esta consideración, se puede analizar gasto real contra gasto presupuestado.

Los dos indicadores anteriores pueden combinarse para obtener los siguientes escenarios de productividad:

- a) *Eficaces pero ineficientes*: se cumple con los objetivos trazados pero el gasto de recursos es excesivo.
- b) *Eficaces y eficientes*: es el escenario ideal, se cumple con los objetivos y el gasto de recursos es mínimo.
- c) *Ineficaces e ineficientes*: no se cumplen los objetivos propuestos y el gasto es excesivo.

Los indicadores son necesarios para los procesos de mejora, pues lo que no se mide no se puede controlar y lo que no se controla no se puede gestionar; sin embargo, la medición debe considerar los requerimientos desde la visión del cliente, no desde el punto de vista de la empresa [4].

2.6 Benchmarking

Otro método de análisis que se utiliza en el presente estudio es el *Benchmarking*, el cual tiene como fundamento las comparaciones de las mejores prácticas. Las definiciones más claras que se puede considerar son las siguientes: “*un proceso de investigación industrial que permite a los gerentes realizar comparaciones empresa-empresa o departamento-departamento de procesos y prácticas para identificar a los "mejores de los mejores" y alcanzar un nivel de superioridad o ventaja competitiva, la búsqueda de las mejores prácticas de trabajo que conducirán a un rendimiento superior de una empresa*” [17].

Spendolini [11] define al *Benchmarking* como “*un proceso continuo y sistemático para evaluar los productos, servicios y procesos de trabajo de organizaciones como la industria o líderes del mundo empresarial*”.

El *Benchmarking* es una herramienta de análisis que se apoya en la estadística, para evaluar los procesos, productos y servicios en relación con un competidor, un socio o bien otro departamento de la misma empresa. Su objetivo principal es proporcionar información sobre el rendimiento y desempeño de sistemas, métodos

de trabajo, máquinas o herramientas. Es parte fundamental de un proceso continuo que determina el usuario para la mejora de la empresa [8].

2.6.1 Tipos de *Benchmarking*

De acuerdo con su aplicación el *Benchmarking* se clasifica en operación, de proceso y estratégico; y de acuerdo con su función en interno, competitivo, funcional y genérico. Los fundamentos del *Benchmarking* establecen diferentes niveles de comparación, pero se recomienda hacer uso de una combinación de más de uno, por ejemplo, se puede combinar de operación-competitivo con de proceso-funcional.

La matriz de la Tabla 2.6.1 indica las combinaciones de los diferentes tipos de *Benchmarking* y el nivel de beneficio que proporciona cada combinación.

Tabla 2.6.1 Matriz de relación de las diferentes combinaciones de tipos de *Benchmarking* [9].

	Benchmarking Interno	Benchmarking Competitivo	Benchmarking Funcional	Benchmarking Genérico
Benchmarking Operación	●	△	●	○
Benchmarking Proceso	●	○	△	△
Benchmarking Estratégico	○	△	○	○

Aplicabilidad/valor: Alto △ Medio ● Bajo ○

A continuación, se mencionan algunas características distintivas de los tipos de *Benchmarking* más utilizados:

Benchmarking competitivo

Se usa principalmente en grandes compañías, donde se evalúan y comparan diferentes unidades, por ejemplo departamentos o estaciones de trabajo. Si una unidad es mejor que otra en el desempeño, las prácticas pueden ser transferidas para el mejoramiento.

Benchmarking funcional

Los socios pueden ser los clientes, proveedores y otras compañías dentro del mismo sector industrial o de tecnología. A menudo es fácil ponerse en contacto con esas empresas y los problemas que enfrentan son con frecuencia similares.

Benchmarking genérico (World Class)

Se aplica entre compañías de sectores totalmente ajenos que realizan procesos similares. Requiere de creatividad para adaptarlo de una compañía a otra. Lo mismo ocurre para transferir conocimientos de una industria a otra [9].

2.6.2 Aplicaciones del *Benchmarking*

Las organizaciones usan las técnicas de *Benchmarking* cuando quieren implementar un cambio radical en sus estándares de calidad y mejores prácticas. Se utiliza principalmente en empresas de transformación y su propósito es observar, medir y comparar, para lo cual se aplican metodologías formales aceptadas y probadas [11].

2.6.3 El papel del *Benchmarking* en un proyecto de mejora con seis Sigma

Diversas organizaciones usan la metodología seis Sigma para mejorar la calidad de un producto o servicio. Esta se basa en la identificación y selección de un punto de referencia o parámetro estandarizado como lo es el nivel de Sigma establecido por las normas de calidad.

Aunque seis Sigma es quizá la herramienta más utilizada para el *Benchmarking*, existen otras como el control estadístico de proceso (SPC, por sus siglas en inglés), manufactura esbelta, etc. [11].

2.7 Análisis del nivel de Sigma del proceso

2.7.1 Niveles de Sigma

El nivel de Sigma es un parámetro estandarizado de calidad para una base de datos con distribución normal o gaussiana. Éste se conoce como nivel de calidad aceptable (Acceptable Quality Level, AQL) y se define como el porcentaje máximo de productos o servicios que no logran cumplir los requisitos del cliente. Es el índice más importante del estándar en un muestreo (ISO-2859). La meta es lograr un número mínimo de defectos por millón lo que corresponde un nivel de Sigma superior [12].

Seis Sigma utiliza herramientas estadísticas para la caracterización y estudio de los procesos. Sigma es la desviación típica que da un valor de variabilidad en un proceso. El objetivo es reducirlo de tal modo que el proceso se encuentre dentro de los límites de tolerancia especificada. Éste se determina a partir de datos históricos, información de ingeniería o experimentación.

La eficiencia de un proceso puede clasificarse con base en su nivel de Sigma. En la Tabla 2.7.1 se muestran los valores de los diferentes niveles de Sigma permisibles, así como las partes por millón de defectos en procesos de manufactura (DPMO) y la eficiencia de acuerdo a la norma ISO-2859 [12].

Tabla 2.7.1 Nivel de Sigma y las correspondientes partes por millón (ppm) de defectos en procesos de manufactura (DPMO)[12].

Nivel Sigma	DPMO	Eficiencia
1	690,000	31%
2	308,538	69%
3	66,807	93.3%
4	6,210	99.38%
5	233	99.977%
6	3.4	99.99966%
7	0.019	99.999981%

Los propósitos principales del análisis del nivel de Sigma son:

- Identificar las diferencias en los niveles de eficiencia entre las operaciones de un proceso
- Evaluar la capacidad de los recursos involucrados en el proceso
- Identificar los factores que contribuyen a las diferencias

2.8 Control Estadístico del Proceso (SPC)

A continuación se describen los elementos básicos del control estadístico del proceso para la fabricación de productos.

Los procesos varían porque están sometidos a diferentes factores que hacen que sea imposible fabricar dos productos exactamente iguales. Se les clasifica en dos grandes grupos, conocidos como: causas comunes y causas esporádicas [13]. A las causas de variación debidas a la fabricación hay que añadir las aportadas por el equipo de medición y el metrólogo que las realiza.

El método del control estadístico del proceso ayuda a identificar si un proceso da como resultado bienes o servicios que cumplen con los requisitos del cliente, por medio del análisis estadístico de una característica crítica de calidad del producto o servicio (variable o atributo).

2.8.1 Estudios de capacidad, habilidad y rendimiento de los procesos en la calidad del producto

Los índices de capacidad de un proceso se calculan cuando una característica del producto o servicio se mide a través de una variable continua cuantitativa, suponiendo que los datos siguen una distribución de probabilidad normal. Incluye la medición de una media y una desviación estándar, lo que permite estimar la probabilidad de que un evento ocurra dentro de una muestra representativa de un lote.

Esto permite saber si los procesos con los que se fabrican los productos cumplen satisfactoriamente con las tolerancias dimensionales o atributos establecidos por el cliente, una norma o por información de ingeniería; lo que representa el grado

de habilidad para cumplir estos requisitos y se mide comparando el intervalo de tolerancia con el intervalo de variación $\pm 3\sigma$.

En la Figura 2.8.1 se presentan algunos ejemplos gráficos del comportamiento de un proceso. Puede observarse la comparación de diferentes condiciones de producción, con límites de tolerancia inferior T_i y tolerancia superior T_s . En el caso (a) podemos observar un proceso insuficiente, que da lugar a piezas defectuosas, “fuera de tolerancia”, esta es una situación no deseable para cualquier empresa. En el caso (b) se muestra un proceso “capaz”, poco variable, pero con una tendencia hacia T_i , el riesgo es que el resultado sea inferior a la especificación. El caso (c) es un proceso “capaz” variable, pero descentrado. Finalmente, el caso (d) es un proceso “capaz”, poco variable y centrado.

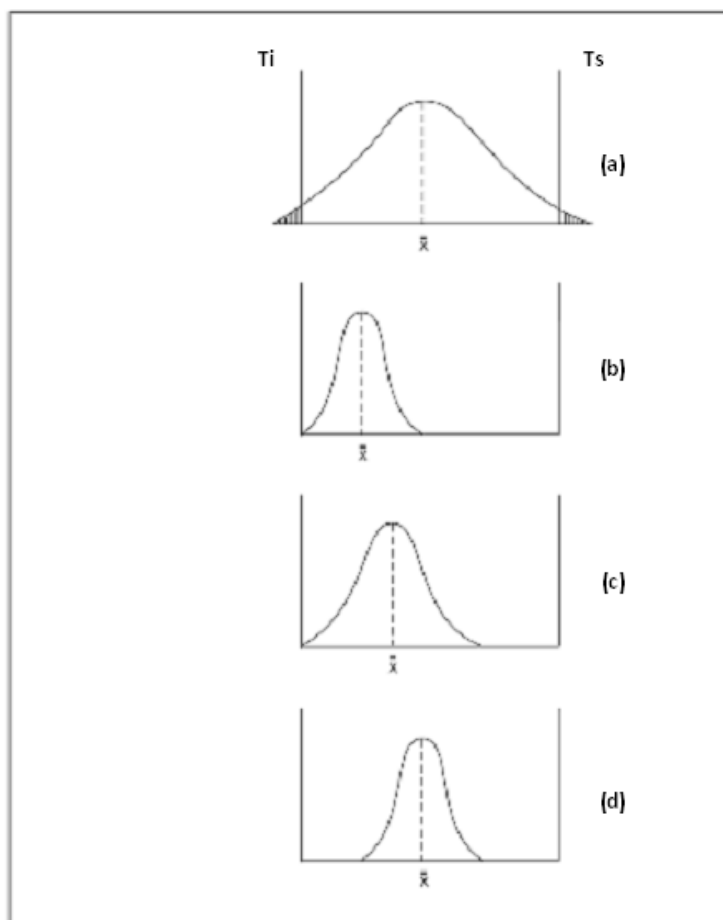


Figura 2.8.1 Ejemplos de producción con sus gráficas de control características; (a) fuera de tolerancia, (b) capaz poco variable, (c) capaz variable y (d) capaz [13].

La *capacidad de proceso* (C_p) considera la cantidad de variación dada por la desviación estándar y un intervalo aceptable permitido por los límites especificados y se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$C_p = \frac{T_s - T_i}{6\hat{\sigma}} \quad (2.8-1)$$

Donde $\hat{\sigma}$ es la desviación estándar de la media del subgrupo, corregida por un factor estadístico.

El índice C_p se determina con los datos de cada subgrupo y compara la desviación estándar de un subgrupo con el intervalo de tolerancia del proceso [13]. Por esta razón, se utiliza otro índice denominado *habilidad del proceso* o C_{pk} que toma en cuenta el grado de descentramiento y cuyas ecuaciones, para una distribución aproximadamente normal, son:

$$Z_{superior} = \frac{T_s - \bar{X}}{3\sigma} \quad (2.8-2)$$

$$Z_{inferior} = \frac{\bar{X} - T_i}{3\sigma} \quad (2.8-3)$$

se define:

$$C_{pk} = Z_{mínimo} \quad (2.8-4)$$

donde:

$$Z_{mínimo} = \text{mínimo} \{ Z_{superior}, Z_{inferior} \} \quad (2.8-5)$$

Para una evaluación completa del comportamiento del proceso el índice ignora los subgrupos y considera la variación general de todo el proceso; es necesaria la estimación del *índice de rendimiento* P_p , el cual se determina de la siguiente manera:

$$p_p = \frac{T_s - T_i}{6s} \quad (2.8-6)$$

Donde s es la desviación estándar de todos los datos.

La diferencia entre los índices de capacidad C_p y los índices de rendimiento P_p de calidad, es el método de la estimación de la desviación estándar. El índice P_p permite identificar el cambio que puede ocurrir entre subgrupos; por lo tanto, es útil para medir la estabilidad en el tiempo. Si el valor P_p difiere de C_p , se puede concluir que hay una variación entre los subgrupos.

Los valores mínimos para los diferentes índices, de acuerdo a la norma de calidad MIL-STD 105, son los siguientes [13].

$$C_{pk} \geq 1.33 \text{ para Sigma} = 3$$

$$C_p \geq 1$$

$$P_p \geq 1$$

$$C_p \sim P_p$$

Por lo general, para asegurar que un proceso se mantiene con una variación controlada y dentro de los límites de especificación. Es deseable que los índices C_{pk} , C_p y P_p tengan los valores más altos necesarios para conservar el nivel de Sigma especificado, o bien que cumplan con los valores de referencia establecidos (*Benchmark*).

En la industria se utilizan diferentes valores sigma de referencia, lo que depende del estándar de realización del producto o servicio; por ejemplo, la fabricación de un sistema de frenos de un automóvil tiene un estándar de realización de calidad más riguroso que el de un utensilio de cocina. Si los valores de los índices de un proceso son menores que los valores de referencia, se deberán tomar medidas para mejorar el proceso.

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 Metodología

Para llevar a cabo la presente investigación, se procedió de la siguiente manera: se recopiló y clasificó la información del proceso de extrusión del aislante de conductores eléctricos de la empresa Leoni Cable, S. A. de C. V., se aplicó el análisis estadístico para verificar el efecto de las variables en el proceso; a continuación, de acuerdo al criterio del personal experto de la empresa, se calcularon los indicadores de desempeño y el índice de desempeño porcentual para cada modelo de par dado-boquilla. Finalmente, los resultados se compararon con los que se obtuvieron al aplicar la metodología estándar de control estadístico de proceso. La secuencia de las etapas se presenta en el diagrama de flujo de la Figura 3.1.

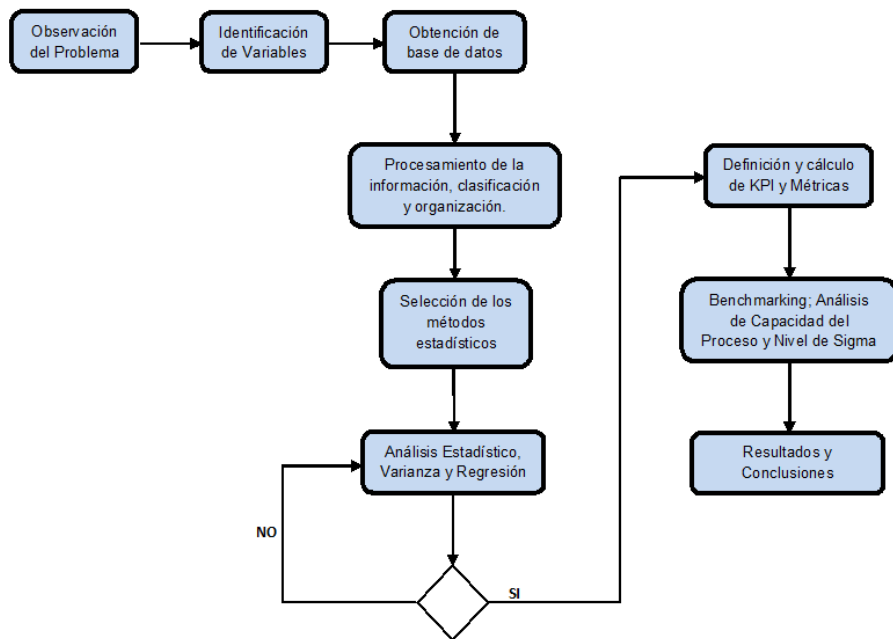


Figura 3.1 Diagrama de flujo de la metodología del proyecto.

3.2 Descripción de las etapas del proyecto

A continuación se presenta una breve descripción de cada una de las etapas del proyecto.

- **Observación**

En esta etapa se identifican todos los elementos que intervienen en el proceso de extrusión de conductores eléctricos en la empresa Leoni Cable, S. A. de C. V., se identifican las variables de la producción de este artículo que pueden afectar el desempeño de los dados y boquillas, se propone un tamaño de muestra a analizar, el cual podría ampliarse en caso necesario.

- **Identificación de variables**

Apoyados en la etapa de observación y aplicando herramientas de calidad como el diagrama de causa-efecto, se identifican las variables que pueden afectar el desempeño del par dado-boquilla en su ciclo de vida dentro del proceso de producción. Entre estas variables se encuentran las que la empresa utiliza actualmente para calcular el índice de desempeño. Este criterio se tomó como referencia para el presente estudio.

- **Obtención de la base de datos**

Los datos disponibles para la presente investigación corresponden al historial de producción del año 2014 al 2015, los cuales fueron registrados por el personal directamente en las estaciones de trabajo de la empresa. Se recibió un documento en Excel con un total de 125,000 registros entre los que se describen, los recursos utilizados para la fabricación de conductores eléctricos en la planta de Leoni ubicada en: Calle Apaseo el Grande No. 101, Parque Industrial Amistad Bajío México, Apaseo El Grande, Gto. C.P. 38160.

- **Procesamiento de la información**

Una vez obtenidos los datos, se procede a clasificarlos y organizarlos mediante programas de Excel y Origin.

- **Selección de los métodos estadísticos**

Para realizar un estudio comparativo se inicia con un ANOVA para determinar si un factor (variable independiente) tiene efecto sobre una variable de respuesta

(variable dependiente), en caso de existir un efecto significativo, se procede, según se prefiera, a realizar una prueba de Tukey para identificar si las medias que difieren entre sí, o bien realizar un análisis de regresión para investigar la relación matemática entre las variables.

- **Análisis estadístico**

En el presente trabajo se utilizó el software *Minitab* versión 16 para realizar todos los análisis estadísticos.

- **Definición y cálculo de índices de desempeño KPI**

El presente estudio se apoya, para la definición y cálculo de los índices de desempeño, en el conocimiento y experiencia sobre el proceso de extrusión del Gerente de producción, Ing. David González, de la empresa LEONI tiene. En la Tabla 3.2.1 se presentan los indicadores de desempeño utilizados por la empresa, contiene seis elementos de evaluación que incluye las variables: productividad, calidad, máquina, operador, tiempo y colorante. En la columna denominada *Forma de Cálculo*, se describe la manera de calcular cada variable. En columna *Peso del Indicador*, se presentan las ponderaciones, se observa que las más altas se asignan a las variables de productividad, calidad y tiempo. En la columna *Metas* se definen los rangos para cada variable. Para fines del presente estudio se calcula el índice de desempeño correspondiente al período analizado para cada modelo de par dado-boquilla.

Tabla 3.2.1 Resumen de indicadores de desempeño para contrastar por modelo.

LEONI CABLE S. A. DE C. V.			INFORME DE INDICADORES DE DESEMPEÑO						CODIGO		MODELO	
			DEPARTAMENTO:			Producción			PERÍODO:		DADO Y BOQUILLA	
			PUESTO:			Gerente de Producción			AÑO:			
OBJETIVO	Peso	Indicadores de medición	Forma de Cálculo	Unidad de Medida	Peso del Indicador	METAS			PROMEDIOS		Resultado del periodo	Puntaje
						Mínimo	Suficiente	Máximo	2015	2016		
Mejor desempeño productivo de dado y boquilla en el proceso	30%	Productividad	Metros producidos con Dado y boquilla/Metros total por periodo	%	25%	0.33	0.67	1				
		Calidad	1-(Metros de scrap generado con Dado y boquilla/Metros total de scrap periodo)	%	20%	0.33	0.5	1				
		Máquina	No. de H máquina utilizando Dado y boquilla/Total de H máquina por periodo	%	10%	0.78	0.89	1				
		Operador	No. de H por operario usando Dado y boquilla/Total de H por periodo	%	10%	0.82	0.91	1				
		Tiempo	Tiempo en H utilizando Dado y boquilla/Total de H por periodo	%	30%	0.33	0.67	1				
		Color (materia prima)	No. H de colores procesados con Dado y boquilla/No. H Total de colores	%	5%	0.25	0.75	1				

- **Benchmark y análisis de capacidad del proceso**

Con el fin de comparar los índices de desempeño obtenidos de acuerdo a la metodología de la empresa, se realiza el cálculo de los índices de capacidad del proceso, tomando como referencia el espesor del recubrimiento aislante que indica la norma **NMX-J-429-ANCE-1994**. Se utilizan los reportes de calidad; referente a los informes dimensionales de los conductores y los índices de *scrap* generados por cada modelo de herramienta. Al final se obtiene los parámetros de Sigma y *scrap*, que se comparan contra lo que establece la norma ISO-2859 para este tipo de producto.

- **Resultados y conclusiones**

Los resultados del análisis estadístico y los indicadores de desempeño se presentan en tablas y gráficas, así como los índices de capacidad, habilidad y rendimiento del proceso, incluyendo los niveles de Sigma para comparar los valores de los resultados entre los diferentes modelos de dados y boquillas.

3.3 Desarrollo del proyecto

Tipo de investigación

La presente investigación es longitudinal, en un período de seis meses y tiene alcance de carácter eminentemente descriptivo, ya que su propósito es determinar los factores que afectan al desempeño de los pares de dados y boquillas, empleados en el proceso de aplicación de la capa de aislante a los conductores eléctricos.

Observación para la selección del modelo experimental

La fabricación de los conductores eléctricos está ordenada en líneas de producción por color de aislante. La razón de este acomodo obedece a la simplificación de la tarea de limpieza en cada cambio de color de aislante. El área de producción tiene asignadas veintiséis estaciones de trabajo y dividido en tres líneas por color, cada estación está compuesta de una máquina y equipo periférico, cada línea produce solo cuatro colores diferentes de aislante, su operación está a cargo de empleados que cambian en cuatro turnos, siendo los mismos operadores en el periodo de estudio. La producción de los conductores está sujeta a la demanda del mercado, por lo que se debe contar con la disponibilidad de herramientas de diferentes modelos de dado y boquilla.

Población

La población objeto de la investigación está constituida por todos los datos de producción como: máquinas, operadores, supervisores, turnos, colores, metros de *scrap*, metros de cable producido, modelos de dado y boquilla utilizadas, etc., correspondiente para el calibre 23 del conductor eléctrico manufacturado por la empresa Leoni Cable S. A. de C. V., durante el período 2014 a 2015.

Muestra

Para efectos del análisis estadístico, la muestra para este estudio se restringe a una porción de la población, que corresponde al período de enero a junio de 2015.

A continuación, se enlistan las características de evaluación para el estudio del desempeño:

- Volumen de producción y *scrap*
- Capacidad de las máquinas y operadores
- Espesor de la capa de aislante
- Desempeño del proceso

Identificación y selección de variables

Con fundamento en los conceptos y definiciones de calidad, el diagrama de causa y efecto es útil para identificar las variables que causan un efecto sobre un problema en particular. Para el presente estudio se construye el diagrama de causa y efecto de la Figura 3.3.1 y tomando como referencia la etapa de observación basada en el conocimiento del proceso, por parte del responsable del área en la empresa, el análisis estadístico objeto de este trabajo se restringe solo a cinco de estas variables de operación; producción, *scrap*, color de aislante, máquina y operador.

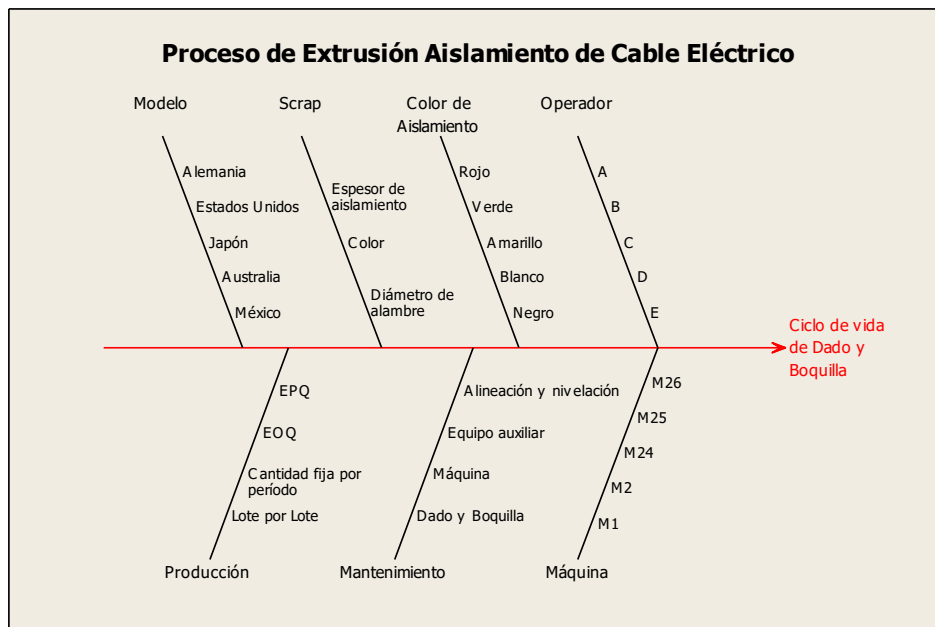


Figura 3.3.1 Diagrama de causa y efecto de variables propuestas para analizar el proceso de extrusión de conductores eléctricos.

Sin embargo, la herramienta no cuantifica el valor del efecto de esta relación con el problema, tampoco el tipo de relación matemática entre variables, por ello, se determinará la relación de las variables con el análisis estadístico.

Obtención de la fuente de datos para el estudio

Como resultado de la etapa de observación y obtención de la base de datos, se podrán identificar las variables con mayor probabilidad de impacto, además del tamaño de muestra. Esta información ayudará a establecer la mejor forma de clasificar y organizar los datos.

Procesamiento de la información, clasificación y organización

Se clasifica y organiza la base de datos por línea de producción. En la Tabla 3.3.1 se presenta el formato de una sección de la clasificación y organización de la información por color de aislante. Esta se refiere a la línea de producción “A” donde se procesan los colores negro, rojo, café y azul, la línea “B” con los colores naranja, verde, amarillo y violeta, finalmente la “C” que procesa los colores blanco, gris, beige y rosa. En las últimas columnas se encuentra la cantidad de dado-boquilla utilizadas en el período bajo estudio. Los registros completos pueden consultarse en el Anexo 3 en las Tablas A3.1, A3.2 y A3.3., utilizadas como fuente de información para el análisis estadístico.

Tabla 3.3.1 Formato para la selección, clasificación y organización del historial de la base de datos por línea de producción del período bajo estudio.

REPORTE DE PRODUCCIÓN ÁREA DE CABLE DOMÉSTICO

LEONI CABLE S. A. DE C. V.

Línea de Producción	No. Operadores	No. Supervisor	No. Máquina	No. Turno	Producción (metros)	Scrap (metros)	Modelo Dado y Boquilla (juego)				
					Color de aislante	Color de aislante	1DBL	2DBV	3DBD	4DBK	5DBS
A	36	4	9	4	44889445	1468696	19	39	19	34	38
B	36	4	9	4	44596772	1406548	20	30	20	33	30
C	32	4	8	4	42753116	1110812	13	23	14	28	23

Análisis de varianza y regresión lineal

Con la finalidad de probar si existe diferencia en la durabilidad, producción y scrap entre los modelos de dado-boquilla, se realiza un análisis de varianza para cada

factor. En caso de rechazar la hipótesis nula, se aplica la prueba de Tukey, para identificar cuáles son las medias que difieren.

Después de identificar la diferencia entre modelos, se realiza un análisis de regresión lineal simple entre las variables que se espera tengan una relación lineal, por ejemplo: producción y *scrap* como función del número de dado-boquilla utilizado a lo largo del período en estudio. Posteriormente se realiza un análisis de regresión más detallado, por línea de producción; en caso de existir una relación lineal entre las variables, a partir de la pendiente de la recta se obtendrá la tasa de producción o tasa de *scrap* por unidad dado-boquilla, lo que permitirá identificar si existe un efecto del colorante sobre los parámetros mencionados. Finalmente, se realiza un análisis de varianza para la variable máquina y operador, buscando probar que tienen un efecto en la producción promedio, con base a la cantidad de cambios de dados y boquillas que se realizaron durante el período a 4 máquinas tomadas aleatoriamente en condiciones similares de operación.

ANOVA para la duración de la herramienta en el proceso

Utilizando *Minitab*, se realiza el análisis estadístico de varianza para conocer si existe diferencia entre los diferentes modelos de dado-boquilla con 1 factor, para determinar si existe una diferencia significativa en su tiempo de vida útil:

Las hipótesis a evaluar son:

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$	La duración promedio de todos los modelos es igual
$H_1 : \mu_i \neq \mu_j$	Existe diferencia en la duración promedio entre al menos un par de modelos.

Considerando la duración promedio en horas por mes de cada modelo de dado-boquilla para un período de seis meses, se obtienen seis réplicas con los datos que se muestran en la Tabla 3.3.5.

Tabla 3.3.5 Duración promedio de vida en horas por mes para cada modelo de dado-boquilla.

Modelo	Periodo de seis meses (enero-junio de 2015)					
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
1DBL	58	60	57	63	66	80
2DBV	53	48	61	45	56	50
3DBD	62	64	56	73	76	69
4DBK	39	46	44	51	37	43
5DBS	49	36	54	40	47	38

Análisis con prueba de Tukey

La prueba de Tukey se realiza con un nivel de significancia del 5% para identificar con precisión a los modelos de dado-boquilla que tienen una diferencia en durabilidad. Se desarrollan los cálculos con la Tabla 3.3.5 y *Minitab*. Éstos pueden verse en el capítulo IV de resultados y análisis.

ANOVA para la producción

Se realiza un ANOVA para analizar la producción promedio por modelo de par dado-boquilla para los diferentes modelos con 1 factor, para determinar si existe una diferencia significativa entre ellos:

Las hipótesis a evaluar son:

- $H_0 : P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = P_5$ No existe diferencia de producción promedio entre los modelos
- $H_1 : P_i \neq P_j$ Existe diferencia de producción promedio entre al menos dos modelos

Relacionando la producción promedio por modelo de la herramienta en el proceso de extrusión y cuantificándola por unidad dado-boquilla, utilizando 6 réplicas en cada una, correspondiente a los meses del período de estudio, los datos para el análisis se muestran en la Tabla 3.3.6.

Tabla 3.3.6 Producción promedio por unidad en metros por mes para cada modelo de dado y boquilla.

Modelo	Periodo de seis meses (enero-junio de 2015)					
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
1DBL	719368	699942	769032	783215	694142	793167
2DBV	879598	759975	869432	779216	865774	894302
3DBD	689050	659920	679106	746627	653511	696131
4DBk	798534	789231	898535	899477	775281	892387
5DBS	899506	799926	877924	895685	864309	894033

Análisis de varianza para el scrap generado

Se realiza ANOVA para determinar si existe una diferencia significativa en la generación de *scrap* (producto no conforme) por unidad dado-boquilla, por el uso en proceso de los diferentes modelos, considerando 1 factor.

Las hipótesis a evaluar son:

$H_0 : s_1 = s_2 = s_3 = s_4 = s_5$ No existe diferencia de *scrap* promedio entre los modelos.
 $H_1 : s_i \neq s_j$ Existe diferencia de *scrap* promedio entre al menos dos modelos.

En este caso se considera la cantidad promedio de metros de *scrap* generados para cada modelo de herramienta usada en el proceso, tomando 6 réplicas que corresponden al período de estudio, con un nivel de significancia del 5%. Los datos de referencia para los cálculos se muestran en la Tabla 3.3.7.

Tabla 3.3.7 Cantidad de *scrap* promedio por unidad en metros, generado cada mes para cada modelo de dado y boquilla, utilizados en el proceso de extrusión.

Modelo	Periodo de seis meses (enero-junio de 2015)					
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
1DBL	7366	7620	7239	8001	8382	10160
2DBV	9129	8268	10507	7751	9646	8613
3DBD	6402	6608	5782	7537	7847	7124
4DBK	7493	8838	8454	9798	7109	8261
5DBS	10161	7466	11198	8295	9747	7880

Análisis y cálculo de regresión lineal simple

Para probar que las variables tienen relación y un efecto sobre el desempeño del conjunto dado-boquilla se realiza el siguiente análisis de regresión lineal simple.

Análisis de regresión lineal simple para la variable producción vs de dado y boquilla para cada línea de producción

Se presentan en la Tabla 3.3.8 los datos utilizados en el análisis. Se realizará una gráfica de dispersión para probar si existe relación lineal entre las variables, seguida del cálculo de regresión lineal simple para cada una de las líneas.

Tabla 3.3.8 Cantidad de km producidos de cable contra cantidad de dados y boquillas por mes, utilizadas para cada línea de producción.

LÍNEA A						
Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Producción	44889	40458	46736	45650	43647	47956
Dado y Boq.	151	145	152	143	159	138

LÍNEA B						
Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Producción	44597	39794	45476	47487	43794	46433
Dado y Boq.	124	139	134	121	135	145

LÍNEA C						
Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Producción	42753	38738	45488	43876	41376	44289
Dado y Boq.	108	74	111	112	113	88

También se realiza un análisis de regresión lineal simple para las variables *scrap* y color de aislante los cálculos pueden ser consultados en el Anexo 6 y 7, respectivamente.

Identificación y selección de las variables

La herramienta de causa-efecto o espina de pescado tiene una amplia aplicación práctica para establecer las posibles variables que tienen un efecto sobre el desempeño del dado y boquilla, sin embargo, es subjetiva. Realizando el análisis de varianza y de regresión lineal simple puede probarse estadísticamente el efecto de cada variable, así como la respuesta que genera el modelo.

Estas variables analizadas por los métodos de regresión lineal simple y ANOVA, serán consideraras para determinar y cuantificar los indicadores de desempeño.

Cálculo de los índices de desempeño KPI

Se usan los indicadores proporcionados por la empresa, mostrados en la Tabla 3.2.1, para realizar el cálculo y determinar su valor. Con la ayuda de la Tabla 3.3.9 se presenta el resumen de valores en cada variable que se utilizará para evaluar los indicadores de desempeño de cada modelo.

Tabla 3.3.9 Resumen de los valores de cada variable para evaluar los índices de desempeño de cada modelo de par dado-boquilla.

Valores de Variables de cálculo	MODELOS DE DADO Y BOQUILLA				
	1DBL	2DBV	3DBD	4DBK	5DBS
Metros producidos con dado y boquilla	22838411	28483208	24804113	25992000	23587200
Metros total producido por período	28730721	58390576	28673555	53023680	58496256
Metros de scrap generado con dado y	91168	148916	85701	147993	166747
Metros total de scrap por período	248682	248682	248652	248682	247682
No. H. máquina utilizando dado y	2258	6222	3260	5246	3303
Total de H. máquina por período	2526	6291	4206	5299	3336
No. de H por operario usando dado y boquilla	1002	1508	882	1496	1476
Total de H por período	1061	1523	1082	1542	1506
Tiempo en H utilizando dado y boquilla	63	32	63.0	34	32
Total de H por período de dado y boquilla	72	72	72	72	72
No. H de color procesado con dado y boquilla	14356	23780	15399	21738	19756
No. H Total de colores	19032	23805	20670	21813	19850

Análisis de *Benchmarking* y cálculo de capacidad del proceso con seis Sigma

Para contrastar los resultados de los indicadores totales de desempeño para los diferentes modelos de dado y boquilla, se utiliza la herramienta de seis Sigma, control estadístico de proceso y la metodología *Benchmarking*.

Primero se determina el parámetro de referencia (*Benchmark*). Para el presente estudio se tomará el nivel de Sigma, que por norma de calidad para productos eléctricos le corresponde un estándar de 3σ . Después, se calcula Sigma y los índices de habilidad, capacidad y rendimiento del proceso con la técnica de control estadístico de proceso, con ayuda del reporte dimensional del diámetro de los conductores y registros en el mismo período enero-junio del 2015 que se muestran en la Tabla 3.3.10. Aparecen los valores dimensionales del diámetro de cable de las auditorías realizadas por el área de calidad considerados para el análisis de control estadístico de proceso y determinación del nivel de Sigma para los distintos modelos. Cada valor de la tabla en referencia es el promedio de un subconjunto de cinco mediciones, las cuales se registran cada hora.

Tabla 3.3.10 Reporte dimensional del diámetro de cable por modelo dado-boquilla utilizado en el proceso de extrusión durante el periodo enero-junio de 2015.

Departamento de Calidad	DIÁMETRO DE CABLE (mm) REPORTE DIMENSIONAL SPC				
	n	1DBL	2DBV	3DBD	4DBK
1	0.59	0.61	0.60	0.62	0.57
2	0.55	0.58	0.59	0.58	0.60
3	0.57	0.56	0.58	0.59	0.62
4	0.60	0.59	0.59	0.53	0.59
5	0.62	0.60	0.61	0.59	0.61
6	0.61	0.58	0.60	0.63	0.63
7	0.57	0.57	0.62	0.60	0.60
8	0.55	0.58	0.61	0.63	0.61
9	0.60	0.62	0.58	0.54	0.58
10	0.57	0.59	0.57	0.57	0.56
11	0.58	0.60	0.56	0.59	0.54
12	0.59	0.58	0.57	0.62	0.57
13	0.58	0.61	0.59	0.55	0.69
14	0.57	0.63	0.58	0.58	0.62
15	0.61	0.58	0.60	0.61	0.63
16	0.54	0.62	0.61	0.64	0.60
17	0.53	0.59	0.62	0.56	0.58
18	0.58	0.63	0.61	0.59	0.61
19	0.57	0.58	0.59	0.57	0.59
20	0.55	0.61	0.60	0.61	0.58
21	0.58	0.62	0.62	0.52	0.55
22	0.61	0.61	0.60	0.57	0.57
23	0.56	0.59	0.58	0.55	0.59
24	0.53	0.57	0.57	0.54	0.62
25	0.57	0.62	0.56	0.59	0.64

La Tabla 3.3.11, representa los valores promedio del diámetro del par dado-boquilla nuevo de la muestra utilizados en el proceso de extrusión de la tabla anterior. Al inicio se registra su dimensión al recibir las herramientas de cada proveedor, se verifica que cumpla con la tolerancia establecida por norma, que para este caso la medida base es 0.58 ± 0.06 mm, con el propósito de autorizar su uso.

Tabla 3.3.11 Diámetro promedio inicial para cada par dado-boquilla y país de origen de fabricación.

TABLA DE MODELOS		
Modelos de dado y boquilla	Origen de fabricación	Calibre 23 dia.mm
1DBL	Alemania	0.60
2DBV	Estados Unidos	0.58
3DBD	México	0.59
4DBK	Australia	0.58
5DBS	Japón	0.60

Se realiza el análisis y cálculo de la capacidad, habilidad y rendimiento del proceso junto con el nivel de Sigma, para cada uno de los modelos por separado. Los resultados se muestran en el Capítulo IV.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS DEL PROYECTO

4. Resultados y análisis

La secuencia de la presentación de los resultados sigue el mismo orden utilizado en el desarrollo del proyecto.

4.2 Resultado del análisis de varianza para la duración del par dado-boquilla en proceso

Los valores relevantes de esta prueba son los estadísticos $F = (F_{Prueba})$ y $P = (P_{Prueba})$. En la Tabla 4.2.1 se observan dichos valores marcados.

Tabla 4.2.1 Resultados de análisis de ANOVA con *Minitab*.

One-way ANOVA: Duración versus Modelo

Source	DF	SS	MS	F	P
Modelo	4	2865.5	716.4	15.18	0.000
Error	25	1179.5	47.2		
Total	29	4045.0			

Comparando los valores de los estadísticos F y P se obtiene lo siguiente:

$F_{prueba} = 15.18 > F_{tabla} = 2.76$, por lo tanto, se rechaza H_0 ; también en términos del valor P_{prueba} se observa que:

$(P_{prueba}) = 0.000 < (\alpha) 0.05$, por lo tanto se rechaza H_0

Se puede observar que el valor P_{prueba} está limitado a una precisión de solo 1 milésima, por lo que cualquier valor menor a esta cantidad se presenta como 0.000.

En este caso, se puede observar que existe una diferencia significativa en la duración promedio de al menos dos modelos de dado y boquilla, con un valor de significancia $\alpha = 0.05$.

En las gráficas de la Figura 4.2.1 se observa que se cumplen los requerimientos de ANOVA referente a normalidad de los datos como; igualdad de varianzas e independencia de las observaciones. En la gráfica de probabilidad normal se incluye el valor de P de normalidad, que en este caso es 0.353, lo que significa que si rechazamos que los datos tengan un comportamiento normal la

probabilidad de error es de 35.3%. En la gráfica de residuos vs ajustes se observa la igualdad de varianzas para los diferentes valores ajustados. Finalmente, en la gráfica de residuales vs orden se verifica la independencia de las observaciones.

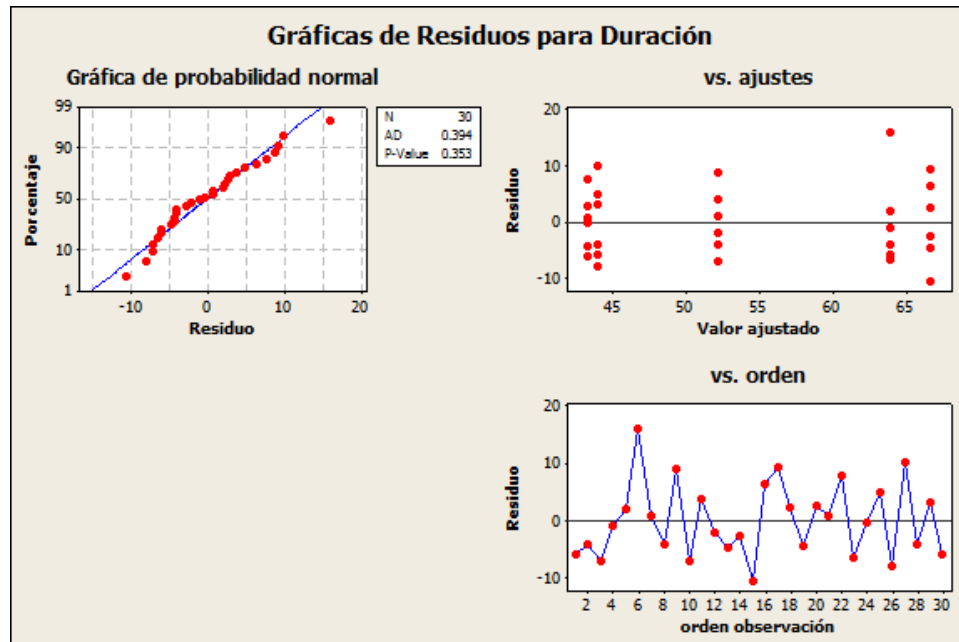


Figura 4.2.1 Gráficas del análisis de varianza de dado y boquilla considerando 6 réplicas (meses) y 5 tratamientos (modelos).

4.3 Resultado de la prueba de Tukey

Después de haber rechazado H_0 , se aplicó la prueba de Tukey para identificar cuáles son las medias que difieren. En la Tabla 4.3.1 se presentan los resultados de la comparación de medias, se identifican con letras iguales a las medias que no presentan diferencia significativa dentro de un intervalo de confianza del 95%.

Tabla 4.3.1 Resultado de prueba de Tukey.

Grouping Information Using Tukey Method

	N	Mean	Grouping
3DBD	6	66.667	A
1DBL	6	64.000	A
2DBV	6	52.167	B
5DBS	6	44.000	B
4DBK	6	43.333	B

Los resultados prueban que los modelos 3DBD y 1DBL son los de mayor duración, por ello producen más metros de cable que los otros.

De igual manera se realizó el análisis de varianza para la variable producción y *scrap*. Estos análisis se encuentran en los Anexos 4 y 5 respectivamente.

En la Tabla 4.3.2 se presenta el resumen de resultados del ANOVA para las tres variables descritas anteriormente.

Tabla 4.3.2 Resultados del ANOVA para las variables duración de dado y boquilla, volumen de producción y *scrap*.

Variable	Parámetros calculados con ANOVA			
	F _{prueba}	F _{tabla}	P _{prueba}	α
Duración de Dado y Boquilla	15.18	2.76	0.000	0.05
Volumen de producción	28.66	2.76	0.000	0.05
Volumen de scrap	4.11	2.76	0.011	0.05

El análisis de varianza se realizó con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$ a las variables: duración, producción y *scrap*, éste análisis demostró que existe una diferencia significativa en la duración promedio entre los modelos de dado-boquilla, la prueba de Tukey permitió identificar que los modelos 1DBL y 3DBD presentan la mayor duración, y que el modelo 3DBD tiene una duración promedio de 2.8 ± 0.4 días. También se verificó que existe una diferencia significativa en la producción de cable y de *scrap* entre los modelos de dado-boquilla.

4.4 Resultado de regresión lineal simple de la variable producción vs cantidad dado-boquilla

En la Figura 4.4.1 se muestran gráficamente los datos de la Tabla 3.3.6. Se construye un diagrama de dispersión. De forma cualitativa se observa un comportamiento lineal entre las variables, por lo que se aplica un análisis de regresión a los datos.

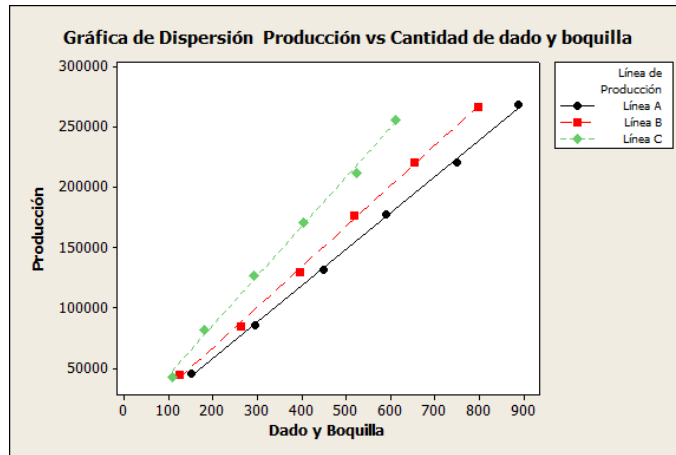


Figura 4.4.1 Gráfica de dispersión Producción vs Cantidad de dado y boquilla.

Los resultados del análisis estadístico de regresión lineal simple, para las 3 líneas de producción con los datos mensuales del período en estudio, donde, se observa el comportamiento de las variables de operación incluidas en la evaluación de desempeño y que tienen un efecto en el par dado y boquilla, con un nivel de significancia de 5%, para este caso el análisis de la variable producción es dependiente de la cantidad de dados y boquillas utilizados.

Línea de producción A

Análisis de Regresión: Producción vs cantidad dado y boquilla

La ecuación de regresión es
 Producción = - 2931 + 304 Dado y Boquilla

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constante	-2931	2450	-1.20	0.298
Dado y Boquilla	303.573	4.231	71.75	0.000

S = 2625.04 $R^2 = 99.9\%$ $R^2(\text{adj}) = 99.9\%$

Se observa que los coeficientes de determinación R^2 y R^2_{ajustado} son cercanos al 100%, lo que indica que el modelo lineal propuesto explica adecuadamente el comportamiento de los resultados. Por otro lado, aunque la ordenada al origen es negativa, el valor P que le corresponde indica que no es significativa por lo que puede omitirse del modelo de regresión, concluyendo que la producción se incrementa a una tasa de 304 km por unidad de dado y boquilla. Para calcular intervalo de confianza de la tasa de producción se utiliza la fórmula (2.4-6), obteniendo $\beta_1 = 304 \pm 12$, equivalente a $292 \leq \beta_1 \leq 316$.

Línea de producción B

Análisis de Regresión: Producción vs cantidad dado y boquilla

La ecuación de regresión es
Producción = - 548 + 337 Dado y Boquilla

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constante	-548	3271	-0.17	0.875
Dado y Boquilla	337.168	6.388	52.79	0.000

S = 3559.43 $R^2 = 99.9\%$ $R^2(\text{adj}) = 99.8\%$

Se observa un comportamiento lineal en la línea de producción B: con ordenada al origen negativa, no significativa; coeficientes de determinación cercanos al 100%, concluyendo que la producción se incrementa a una tasa de 337 km por unidad dado-boquilla, con un intervalo de confianza del 95% de ± 18 , equivalente a $319 \leq \beta_1 \leq 355$.

Línea de producción C

Análisis de Regresión: Producción vs cantidad dado y boquilla

La ecuación de regresión es
Producción = 2121 + 416 Dado y Boquilla

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constante	2121	3942	0.54	0.619
Dado y Boquilla	415.77	10.01	41.53	0.000

S = 4327.17 $R^2 = 99.8\%$ $R^2(\text{adj}) = 99.7\%$

Por último, en este caso se observa un comportamiento similar al de las líneas de producción A y B: la ordenada al origen no es significativa, por lo que se puede excluir del modelo; los coeficientes de determinación son cercanos al 100%, por lo que se puede concluir que la producción en la línea C se incrementa a una tasa de 416 ± 28 km por unidad de dado-boquilla, equivalente a $388 \leq \beta_1 \leq 444$.

De manera similar se realiza el análisis de regresión para la variable *scrap*, los resultados se muestran en el Anexo 6. A continuación se presenta la Tabla 4.4.1 con el resumen de estos resultados.

Tabla 4.4.1 Resumen de resultados del análisis de regresión lineal simple para las variables producción y *scrap*.

Variable		Ecuación de regresión	R ²
Producción	Línea A	$P_A = - 2931 + 304 \text{ DyB}$	99.9%
	Línea B	$P_B = - 548 + 337 \text{ DyB}$	99.9%
	Línea C	$P_C = - 2221 + 416 \text{ DyB}$	99.8%
Scrap	Línea A	$S = - 150 + 10.1 \text{ DyB}$	100.0%
	Línea B	$S = - 19.8 + 11 \text{ DyB}$	99.9%
	Línea C	$S = 87 + 11.7 \text{ DyB}$	99.8%

El análisis de regresión simple aplicado a las variables cantidad de dados y boquillas contra producción, para cada línea de producción, permitió identificar que existe una diferencia en la tasa de producción entre las líneas, la cual se atribuye a un efecto del colorante, ya que la producción se divide entre las líneas de acuerdo al color del cable.

El colorante en los polímeros se puede obtener por medio de pigmentos que son materiales inorgánicos, o por medio de tintes que son compuestos orgánicos. Por otro lado la tonalidad está en función del compuesto químico utilizado, por ejemplo, en la línea de producción “A” el colorante azul tiene una formulación de aluminato de cobalto (óxido de cobalto y óxido de aluminio), el cual es un compuesto abrasivo, y para el violeta que pertenece al grupo de la línea de producción “B”, su formulación es di oxazina (tetracloro-1, 4-benzoquinona), el cual es un compuesto corrosivo. Como puede verse la composición de la fórmula de los colorantes afecta de diferente manera a los elementos mecánicos.

La tasa de producción más baja fue de 304 ± 12 km/par dado-boquilla, en la Línea A que trabaja los colores oscuros. También se realizó un análisis de regresión para la cantidad de dados y boquillas contra *scrap*, en este caso se obtuvo que la línea C genera la mayor tasa de *scrap*: 11.7 ± 0.73 km/par dado-boquilla, en ambos casos los intervalos de confianza son del 95%.

4.5 Resultado del análisis de varianza para la máquina

A continuación se presentan los resultados del análisis de varianza para la cantidad de cambios de dado-boquilla en cuatro máquinas seleccionadas

aleatoriamente de la línea de producción A. Se seleccionó esta línea debido a que presenta mayor uso de dados y boquillas produciendo una menor cantidad de cable; la tabla y gráficas correspondientes se encuentran en el Anexo 7.

$F_{prueba} = 7.39 > F_{tabla} = 3.10$, por lo tanto, se rechaza H_0 , también en términos del valor P_{prueba} se observa que:

$P_{prueba} = 0.002 < (\alpha) 0.05$, por lo tanto, se rechaza H_0

Por lo que puede concluirse que en promedio al menos una máquina tiene menos cambios de dados y boquillas, por este motivo al tener menos tiempos muertos, puede producir más unidades de cable que las otras. Por otro lado, el resultado del valor de $P = 0.932$, indica que si rechazamos que los datos tengan un comportamiento normal, la probabilidad de error es de 93.2%. Los cálculos del análisis para la máquina se muestran en el Anexo 7.

4.6 Resultado del análisis de varianza para el operador

De la misma forma se presentan los resultados del análisis de varianza, para determinar si el operador tiene un efecto se selecciona una máquina aleatoriamente, la cual es operada por cuatro personas. En este caso se toma la máquina M01 del conjunto de máquinas de la línea de producción A, debido a que presenta mayor uso de dados y boquillas produciendo una menor cantidad de cable, la tabla y gráficas correspondientes se encuentran en el Anexo 8.

$F_{prueba} = 129.74 > F_{tabla} = 3.10$, por lo tanto, se rechaza H_0 , también en términos del valor P_{prueba} se observa que:

$P_{prueba} = 0.000 < (\alpha) 0.05$, por lo tanto, se rechaza H_0

Por lo que puede concluirse que en promedio existe una diferencia significativa de al menos un operador, esto indica que al menos un operador produce más unidades por período. Por otro lado, el valor de $P = 0.826$, significa que si rechazamos que los datos tienen un comportamiento normal, existe una

probabilidad de error del 82.6%. Los cálculos del análisis para el operador se muestran en el Anexo 8.

En la Tabla 4.6.1 se muestra la comparación de los resultados para las variables máquina y operador.

Tabla 4.6.1 Resultados del análisis de ANOVA para las variables máquina y operador.

Variable	Parámetros calculados con ANOVA			
	F _{prueba}	F _{tabla}	P _{prueba}	α
Máquina	7.39	3.10	0.002	0.05
Operador	129.74	3.10	0.000	0.05

El análisis de varianza del factor máquina muestra que al menos una de las máquinas requiere, en promedio, un número diferente de cambios de dado-boquilla que las demás. Para el factor operador resultó que existe una diferencia significativa en la producción promedio generada por los operadores en la máquina M01.

4.7 Resultado del análisis de los Indicadores de desempeño KPI

Los indicadores de desempeño se calcularon utilizando los datos de la Tabla 3.3.9. En la Tabla 4.7.1 se presentan los resultados para el modelo de dado-boquilla 1DBL.

Tabla 4.7.1 Resumen de la evaluación de indicadores de desempeño para el conjunto de dado y boquilla modelo 1DBL.

LEONI CABLE S. A. DE C. V.			INFORME DE INDICADORES DE DESEMPEÑO						CODIGO		MODELO	
			DEPARTAMENTO:			Producción			PERÍODO:		1DBL	
			PUESTO:			Gerente de Producción			AÑO:		2015	
			OBJETIVO	Peso	Indicadores de medición	Forma de Cálculo	Unidad de Medida	Peso del Indicador	METAS			PROMEDIOS
						Mínimo	Suficiente	Máximo	2015	2016		
Mejor desempeño productivo de dado y boquilla en el proceso	30%	Productividad	Metros producidos con 1DBL/Metros total por período	%	25%	0.33	0.67	1	----	----	0.79	0.20
		Calidad	1-(Metros de scrap generado con 1DBL/metros total de scrap período)	%	20%	0.33	0.5	1	----	----	0.63	0.13
		Máquina	No. de H máquina utilizadas con 1DBL/Total de H máquina por período	%	10%	0.78	0.89	1	----	----	0.89	0.09
		Operador	No. de H por operario con 1DBL/Total de H por período	%	10%	0.82	0.91	1	----	----	0.94	0.09
		Tiempo	Tiempo en H utilizando 1DBL/Total de H por período	%	30%	0.33	0.67	1	----	----	0.88	0.27
		Color (materia prima)	No. de H de colores procesados con 1DBL/No. H Total de colores	%	5%	0.25	0.75	1	----	----	0.750	0.04
												81.2%

En referencia a la Tabla 4.7.1, para el modelo 1DBL. La suma de estos indicadores dan como resultado un valor del 81.2%. El análisis para cada modelo dado-boquilla se realiza de manera similar; los resultados se encuentran en las Tablas A9.1 a A9.4, que se encuentran en el Anexo 9.

En la Tabla 4.7.2 se presentan los valores de los indicadores de desempeño obtenidos para los cinco modelos de dado-boquilla.

Tabla 4.7.2 Concentrado de resultados de los indicadores de desempeño para los modelos de dado-boquilla.

MODELOS	INDICADORES DE DESEMPEÑO EVALUADOS						
	Productividad	Calidad	Máquina	Operador	Tiempo	Color (M.P.)	Resultado
1DBL	0.20	0.13	0.09	0.09	0.27	0.04	81.2%
2DBV	0.12	0.08	0.10	0.10	0.13	0.05	58.7%
3DBD	0.22	0.13	0.08	0.08	0.26	0.04	80.6%
4DBK	0.12	0.08	0.10	0.10	0.14	0.05	59.7%
5DBS	0.10	0.07	0.10	0.10	0.13	0.05	55.1%

Se observa que los modelos 1DBL y 3DBD son los que tienen los indicadores de desempeño más altos, de 81.2% y 80.2% respectivamente, seguidos de 4DBK, 2DBV y 5DBS, con indicadores menores al 60%.

4.8 Resultado del análisis y cálculo de capacidad del proceso y nivel de sigma

Los índices del control estadístico del proceso se calculan usando los datos de la Tabla 3.3.10. En las Figuras 4.8.1 se presentan los resultados del análisis para el modelo nacional 3DBD.

Determinación de los índices de capacidad del proceso

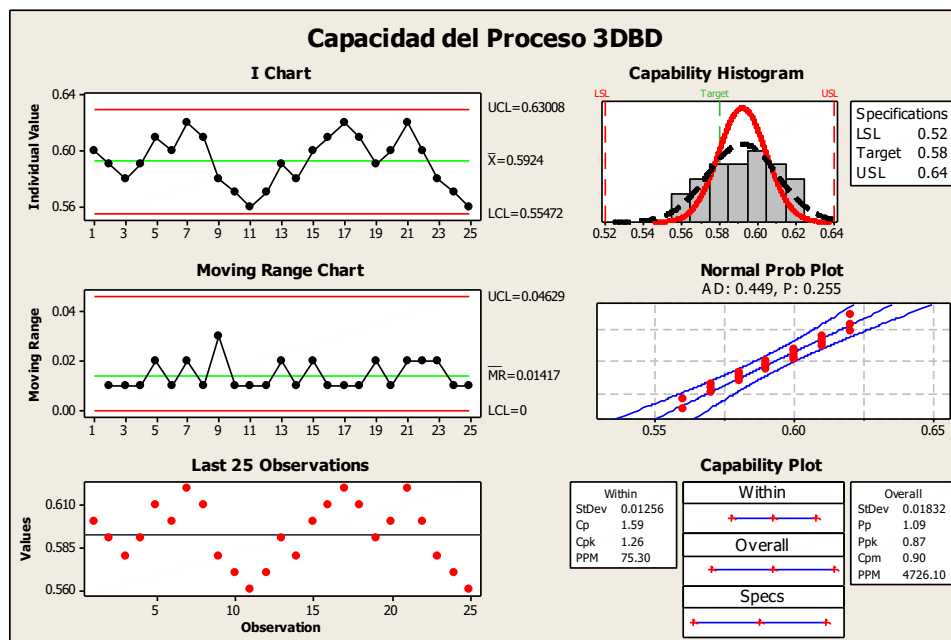


Figura 4.8.1 Análisis de la capacidad del proceso utilizando la herramienta de dado y boquilla del modelo nacional 3DBD.

Los valores significativos de este análisis son $C_p = 1.59$ (Capacidad del proceso), $P_p = 1.09$ (rendimiento del proceso), $C_{pk} = 1.26$ (Habilidad del proceso) y los PPM = 4726.1 (Partes por millón) de defectos permitidos.

La gráfica de promedios para la muestra tiene una media de 0.5924 y se observa que la mayoría de los datos se encuentran entre la media y el límite superior. La

gráfica del histograma de capacidad muestra una tendencia hacia el límite superior de la especificación; por otro lado, la gráfica de normalidad muestra que los datos tienen un comportamiento normal.

De manera similar se evaluaron los índices de capacidad del proceso para los otros modelos. El detalle de este análisis se puede consultar en el Anexo 10. En la Tabla 4.8.1 se presenta el resumen de estos parámetros para todos los modelos de dado-boquilla.

Tabla 4.8.1 Resumen de resultados de la capacidad del proceso que tiene cada uno de los modelos.

MODELOS	Parámetros de la Capacidad del Proceso					
	Desviación est.	Cp	Cpk	PPM dentro	PPM General	Valor P
1DBL	0.025	0.8	0.73	18931	18484	0.431
2DBV	0.023	0.86	0.62	32184	16086	0.086
3DBD	0.001	1.59	1.26	75	4726	0.255
4DBK	0.037	0.55	0.52	101853	69866	0.736
5DBS	0.025	0.78	0.55	50796	103305	0.625

En la Figura 4.8.2 puede observarse claramente la diferencia del índice de C_p y C_{pk} entre los modelos de herramienta dado-boquilla.

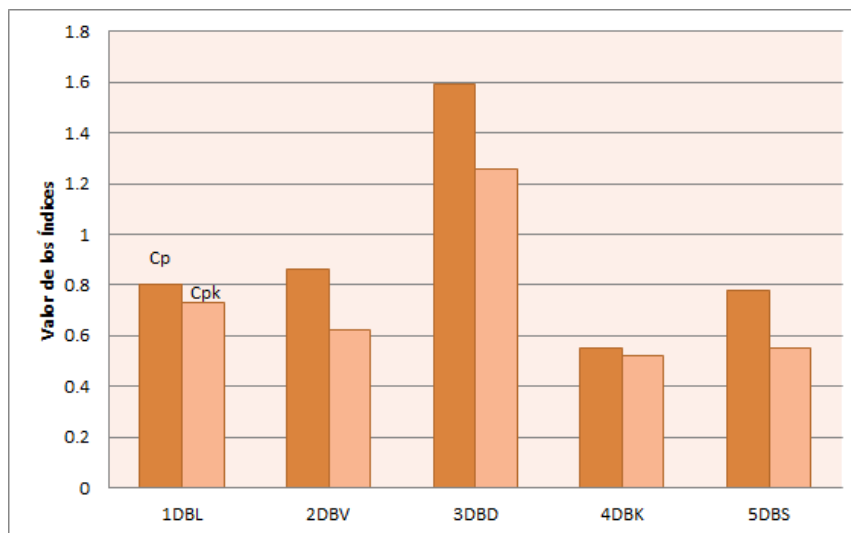


Figura 4.8.2 Comparación de índices de capacidad del proceso C_p y C_{pk} con los modelos de dados y boquillas.

4.9 Resultado del análisis y cálculo nivel de sigma

Los índices del nivel de Sigma del proceso se calculan utilizando los mismos datos de la Tabla 3.3.10. En las Figuras 4.9.1 se presentan los resultados del análisis del nivel de Sigma para el modelo nacional 3DBD.

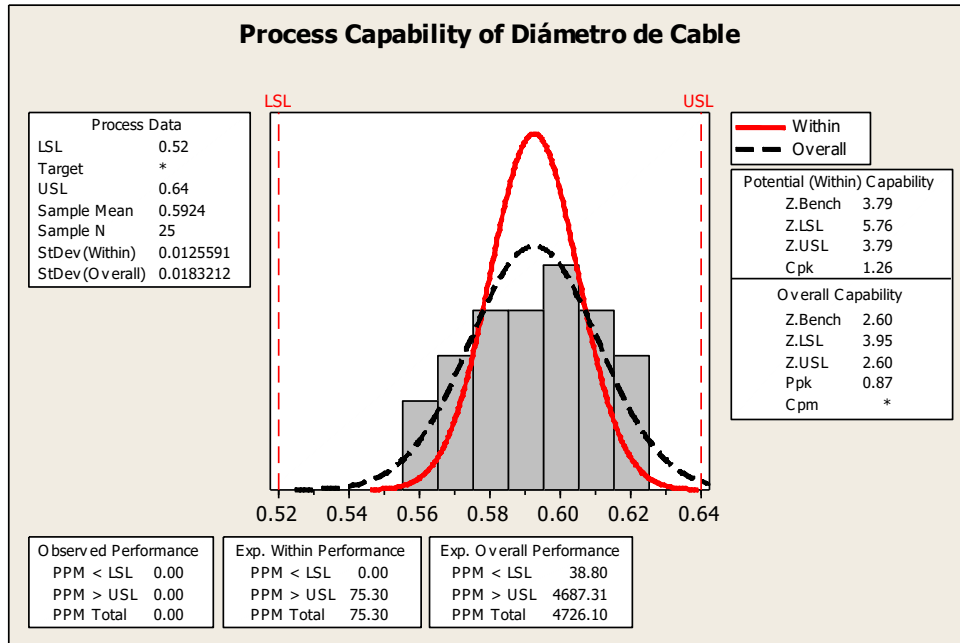


Figura 4.9.1 Análisis de nivel de Sigma utilizando la herramienta de dado y boquilla del modelo nacional 3DBD.

Con el análisis del nivel de Sigma los resultados significativos son *Z Bench* (nivel de Sigma), PPM (partes por millón) y *Cpk* (Habilidad del proceso); los resultados corresponden al modelo nacional. Los cálculos del análisis de los otros modelos se muestran en el Anexo 10. En la Tabla 4.9.1 se presenta el resumen de estos parámetros para todos los modelos de dado-boquilla.

Tabla 4.9.1 Resumen de resultados de nivel de Sigma para cada modelo.

MODELOS	Parámetros de Nivel de Sigma			
	Nivel Z	PPM dentro	PPM General	Cpk
1DBL	2.08	18931	18483.54	0.73
2DBV	1.85	32183.79	16086.3	0.62
3DBD	3.79	75.3	4726.1	1.26
4DBK	1.27	101852.68	69866.28	0.52
5DBS	1.64	50796.14	103304.56	0.55

En la Figura 4.9.2 se puede apreciar mejor la diferencia en el nivel de Sigma y *Cpk* de los diferentes modelos de dado y boquilla.

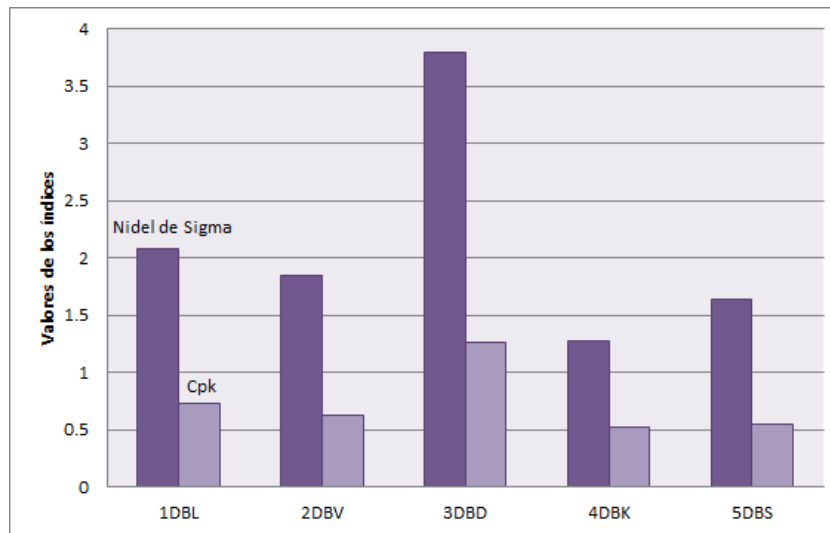


Figura 4.9.2 Comparación de índices de nivel de Sigma y capacidad del proceso *Cpk* con los modelos de dado- boquilla.

Se observa que los modelos 3DBD y 1DBL tienen los mayores niveles de σ , de 3.79 y 2.08 respectivamente. Para estos modelos de dado-boquilla, los índices de *Cpk* fueron 1.26 y 0.73, los de *Cp* de 1.59 y 0.80, y los *Pp* fueron de 1.09 y 0.80 respectivamente, por lo que estos modelos de dado-boquilla son los que más se acercan a la referencias establecidas por norma, por ello, son los mejores en capacidad y habilidad del proceso, en ese orden. Los modelos 2DBV, 5DBS y 4DBK, resultaron con niveles inferiores a lo que marca la norma.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

5.1 Conclusiones

Se realizaron análisis de varianza, con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, a las variables: durabilidad, producción y *scrap*. Estos análisis demostraron que existe una diferencia significativa en la duración promedio entre los modelos de dado-boquilla. La prueba de Tukey permitió identificar que los modelos 1DBL y 3DBD tienen una mayor durabilidad; el modelo 3DBD tiene una durabilidad promedio de 2.8 ± 0.4 días. También se verificó que existe una diferencia significativa entre la producción de cable y *scrap* de todos los modelos de dado-boquilla.

El análisis de regresión simple aplicado a las variables cantidad de dados y boquillas contra producción, para cada línea de producción, permitió identificar que existe una diferencia en la tasa de producción entre las líneas, la cual se atribuye a un efecto del colorante, ya que la producción se divide entre las líneas de acuerdo al color del cable. La tasa de producción más baja fue de 304 ± 12 km/par dado-boquilla en la Línea A que trabaja los colores oscuros. También se realizó un análisis de regresión para la cantidad de dados y boquillas contra *scrap*. En este caso se obtuvo que la línea C genera la mayor tasa de *scrap*, 11.7 ± 0.73 km/par dado-boquilla. En ambos casos los intervalos de confianza son del 95%.

El análisis de varianza del factor máquina mostró que al menos una de las máquinas requiere, en promedio, un número diferente de cambios de dado-boquilla que las demás. Para el factor operador resultó que existe una diferencia significativa en la producción promedio de los operadores en la máquina M01.

Con los resultados de los análisis estadísticos descritos previamente se justifica que las variables: durabilidad, producción, *scrap*, color de aislante, máquina y operador, sean consideradas para el cálculo de los indicadores de desempeño debido a la influencia del par dado-boquilla.

Por lo tanto, con base en los resultados obtenidos, una vez demostrado que existe un efecto del modelo de dado y boquilla sobre las variables, se calcula el desempeño de manera individual con el método del formato de la empresa Leoni

Cable S. A. de C. V., donde el resultado indica que los modelos 1DBL = 81.2% y 3DBD = 80.2%, son los que tienen los más altos indicadores de desempeño.

Por otra parte, la segunda fase se realizó aplicando herramientas formales de Gestión de la Calidad Total: Benchmarking, Control Estadístico de Proceso y Seis Sigma. Se obtuvo que los modelos 3DBD y 1DBL tienen un nivel de σ de 3.79 y 2.08, sus indicadores Cpk 1.26 y 0.73, Cp 1.59 y 0.80, y Pp 1.09 y 0.80 respectivamente, por lo que estos modelos de dado-boquilla son los que más se acercan a la referencias establecidas por norma, por ello, son los mejores en capacidad y habilidad del proceso, en ese orden.

Los indicadores de desempeño bajo el criterio del análisis de la compañía, evalúa en porcentajes los factores considerando un peso más alto a tres de los seis: productividad, calidad y tiempo, obteniendo como resultado el siguiente orden de desempeño de los modelos de dado-boquilla 1DBL, 3DBD, 4DBK, 2DBV y 5DBS. Los resultados del control estadístico de proceso y seis sigma se basan en la evaluación de la variabilidad de las mediciones del producto terminado y el volumen de *scrap* generado, obteniendo como resultado el siguiente orden: 3DBD, 1DBL, 2DBV, 5DBS y 4DBK, el cual es diferente debido a que se utilizan criterios distintos. Sin embargo, se observa que los modelos con el mejor desempeño son los que tienen los mayores índices de habilidad y capacidad de proceso, Por lo tanto, la empresa Leoni Cable podría utilizar el método de control estadístico y seis sigma para evaluar el desempeño de los pares dado-boquilla.

Bibliografía

1. **Ávila Pompa, J. C.** Panorama Global. Ciudad de México: Secretaría de Economía, 2013a. págs. 8-10. Vol. Primera Edición.
2. —. La Industria en México. México: Secretaría de Economía, 2013b. págs. 14-17.
3. **Umeda, Shigeki, Nakano, Masaru y Hibino, Hironori.** Advances in Production Management Systems. Tokio, Japón: Springer, 2015.
4. **A., Berman Jeffrey.** Maximizing Project Value. New York: Amazon, 2003.
5. **Michael J. Evans, Jeffrey S. Rosental.** Probability and Statistics, the Science Uncertainty. New York: W. H. Freeman and Company, 2004.
6. **Montgomery, D. C.** Diseño y Análisis de Experimentos. México, D. F.: Limusa Wiley, 2004.
7. **John E. Freund, Gary A. Simon.** Estadística Elemental. México: Prentice Hall Pearson, 2005.
8. **Vargas, G. A. y Cárdenas, Lily.** Analysis and *Benchmarking* of Emerging in Spain's Assembly Manufacturing Sector. México: s.n., 2000.
9. **Peterson, Bjor Andersen y Per Gaute.** The *Benchmarking* Handbook. s. l.: Chapman y Hall, 1996.
10. **Stapenhurst, Tem.** The *Benchmarking* Book. Oxford, UK: Elseiver, 2003.
11. **Spendolini, M. J.** *Benchmarking*. Bogotá: Norma, 2005.
12. **Tennant, Geoff.** Six Sigma SPC and TQM in Manufacturing and Service: Gower Publishing, Ltd., 2001.
13. Control Estadístico de Procesos y Mejora Continua. Barcelona, España: Asociación Española de Calidad, 2003.

14. **Triola, Mario F.** Estadística. Décima Edición, Pearson Educación, 2009
15. Conductores eléctricos en México. **SHCP, Departamento de Estudios Económicos. México:** Revista Comercio Exterior, 2011, Vols. abril-junio.
- 16.- **Robert C. Camp.** The Search for Industry Best Practices that Lead to Superior Performance: Taylor and Francis. Agosto, 2006.

ANEXOS

ANEXO 1

Norma oficial mexicana para la fabricación de conductores eléctricos, aislamiento

La presente Norma Oficial Mexicana se complementa con las siguientes normas oficiales mexicanas y normas o las que sustituyan, aplicables a la fabricación de conductores eléctricos con aislamiento de policloruro de vinilo (PVC) [16]:

NMX-J-010-ANCE-1996 Productos eléctricos-Conductores-Conductores con aislamiento termoplástico a base de policloruro de vinilo para instalaciones hasta 600 V-Especificaciones. Declaratoria de vigencia publicada por el Organismo Nacional de Normalización el 8 de marzo de 1996.

NMX-J-010/1-ANCE-2000 Productos eléctricos-Conductores-Conductores con aislamiento termoplástico a base de policloruro de vinilo con medidas internacionales -Especificaciones. Declaratoria de vigencia publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 13 de junio de 2000.

NMX-J-102-ANCE-1995 Productos eléctricos-Conductores-Cordones flexibles tipo SPT con aislamiento termoplástico a base de policloruro de vinilo para instalaciones hasta 300 V-Especificaciones.

NMX-J-429-ANCE-1994 Productos eléctricos-Conductores-Alambres y cordones con aislamiento de PVC 105°C, para usos electrónicos-Especificaciones.

NMX-J-438-ANCE-1995 Productos eléctricos-Conductores-Cables con aislamiento de policloruro de vinilo, 75°C para alambrado de tableros.

ANEXO 1

Especificaciones técnicas:

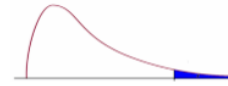
Conductores de bajo calibre [16]

TIPO DE CONDUCTORES	ALAMBRES Y CABLES
CALIBRE/AWG	30, 28, 26, 24, 23 , 22, 20, 18, 16, 14, 12, 10 Y 8
COLORES	Blanco, negro, rojo y verde
AISLAMIENTO	THHW-LS: Termoplástico, resistente a 90° C, resistente al agua y con baja emisión de humos.
NORMAS QUE CUMPLEN	<ul style="list-style-type: none"> - NOM 063-SCFI: Productos eléctricos, conductores, requisitos de seguridad. - NOM-001-SEDE: Instalaciones eléctricas (utilización). - NMX-J-010-ANCE: Conductores - Conductores con aislamiento termoplástico de PVC para instalaciones hasta 600 V. - NMX-J-012-ANCE: Conductores - Cables de cobre con cableado concéntrico para usos eléctricos - Especificaciones. - NMX-J-192: Retardante de la propagación de la flama vertical (antiflama). - NMX-J-093: Retardante de la propagación del incendio (RPI LS). - NMX-J-010: Aplicable en charola vertical (CT). - NMX-J-472: Baja generación de gas ácido (LS). - NMX-J-474: Baja emisión de humos oscuros (LS). - NMX-J-498: Propagación a la flama en charola vertical (CT). - NMX-J-553: Resistente a la intemperie y rayos solares.

ANEXO 2

Distribución F 0.05

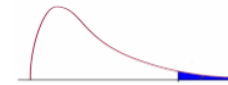
En las columnas se encuentran los valores F que corresponden al área 0.05 a la derecha
 En las columnas se encuentran los grados de libertad del numerador
 En los renglones se encuentran los grados de libertad del denominador.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	15	20	24	30	40	60	120
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.0	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.24	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.17	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.95	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.50	1.43	1.35

Distribución F 0.01

En las columnas se encuentran los valores F que corresponden al área 0.05 a la derecha
 En las columnas se encuentran los grados de libertad del numerador
 En los renglones se encuentran los grados de libertad del denominador.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	15	20	24	30	40	60	120
1	4052	4999	5403	5625	5764	5859	5928	5981	6022	6056	6083	6106	6157	6209	6235	6261	6287	6313	6339
2	98.50	99.00	99.17	99.25	99.30	99.33	99.36	99.37	99.39	99.40	99.41	99.42	99.43	99.45	99.46	99.47	99.47	99.48	99.49
3	34.12	30.82	29.46	28.71	28.24	27.91	27.67	27.49	27.35	27.23	27.13	27.05	26.87	26.69	26.60	26.50	26.41	26.32	26.22
4	21.20	18.00	16.69	15.98	15.52	15.21	14.98	14.80	14.66	14.55	14.45	14.37	14.20	14.02	13.93	13.84	13.75	13.65	13.56
5	16.26	13.27	12.06	11.39	10.97	10.67	10.46	10.29	10.16	10.05	9.96	9.89	9.72	9.55	9.47	9.38	9.29	9.20	9.11
6	13.75	10.92	9.78	9.15	8.75	8.47	8.26	8.10	7.98	7.87	7.79	7.72	7.56	7.40	7.31	7.23	7.14	7.06	6.97
7	12.25	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	6.99	6.84	6.72	6.62	6.54	6.47	6.31	6.16	6.07	5.99	5.91	5.82	5.74
8	11.26	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.18	6.03	5.91	5.81	5.73	5.67	5.52	5.36	5.28	5.20	5.12	5.03	4.95
9	10.56	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.61	5.47	5.35	5.26	5.18	5.11	4.96	4.81	4.73	4.65	4.57	4.48	4.40
10	10.04	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.20	5.06	4.94	4.85	4.77	4.71	4.56	4.41	4.33	4.25	4.17	4.08	4.00
11	9.65	7.21	6.22	5.67	5.32	5.07	4.89	4.74	4.63	4.54	4.46	4.40	4.25	4.10	4.02	3.94	3.86	3.78	3.69
12	9.33	6.93	5.95	5.41	5.06	4.82	4.64	4.50	4.39	4.30	4.22	4.16	4.01	3.86	3.78	3.70	3.62	3.54	3.45
13	9.07	6.70	5.74	5.21	4.86	4.62	4.44	4.30	4.19	4.10	4.02	3.96	3.82	3.66	3.59	3.51	3.43	3.34	3.25
14	8.86	6.51	5.56	5.04	4.69	4.46	4.28	4.14	4.03	3.94	3.86	3.80	3.66	3.51	3.43	3.35	3.27	3.18	3.09
15	8.68	6.36	5.42	4.89	4.56	4.32	4.14	4.00	3.89	3.80	3.73	3.67	3.52	3.37	3.29	3.21	3.13	3.05	2.96
16	8.53	6.23	5.29	4.77	4.44	4.20	4.03	3.89	3.78	3.69	3.62	3.55	3.41	3.26	3.18	3.10	3.02	2.93	2.84
17	8.40	6.11	5.18	4.67	4.34	4.10	3.93	3.79	3.68	3.59	3.52	3.46	3.31	3.16	3.08	3.00	2.92	2.83	2.75
18	8.29	6.01	5.09	4.58	4.25	4.01	3.84	3.71	3.60	3.51	3.43	3.37	3.23	3.08	3.00	2.92	2.84	2.75	2.66
19	8.18	5.93	5.01	4.50	4.17	3.94	3.77	3.63	3.52	3.43	3.36	3.30	3.15	3.00	2.92	2.84	2.76	2.67	2.58
20	8.10	5.85	4.94	4.43	4.10	3.87	3.70	3.56	3.46	3.37	3.29	3.23	3.09	2.94	2.86	2.78	2.69	2.61	2.52
21	8.02	5.78	4.87	4.37	4.04	3.81	3.64	3.51	3.40	3.31	3.24	3.17	3.03	2.88	2.80	2.72	2.64	2.55	2.46
22	7.95	5.72	4.82	4.31	3.99	3.76	3.59	3.45	3.35	3.26	3.18	3.12	2.98	2.83	2.75	2.67	2.58	2.50	2.40
23	7.88	5.66	4.76	4.26	3.94	3.71	3.54	3.41	3.30	3.21	3.14	3.07	2.93	2.78	2.70	2.62	2.54	2.45	2.35
24	7.82	5.61	4.72	4.22	3.90	3.67	3.50	3.36	3.26	3.17	3.09	3.03	2.89	2.74	2.66	2.58	2.49	2.40	2.31
25	7.77	5.57	4.68	4.18	3.85	3.63	3.46	3.32	3.22	3.13	3.06	2.99	2.85	2.70	2.62	2.54	2.45	2.36	2.27
26	7.72	5.53	4.64	4.14	3.82	3.59	3.42	3.29	3.18	3.09	3.02	2.96	2.81	2.66	2.58	2.50	2.42	2.33	2.23
27	7.68	5.49	4.60	4.11	3.78	3.56	3.39	3.26	3.15	3.06	2.99	2.93	2.78	2.63	2.55	2.47	2.38	2.29	2.20
28	7.64	5.45	4.57	4.07	3.75	3.53	3.36	3.23	3.12	3.03	2.96	2.90	2.75	2.60	2.52	2.44	2.35	2.26	2.17
29	7.60	5.42	4.54	4.04	3.73	3.50	3.33	3.20	3.09	3.00	2.93	2.87	2.73	2.57	2.49	2.41	2.33	2.23	2.14
30	7.56	5.39	4.51	4.02	3.70	3.47	3.30												

ANEXO 3

Tabla A3.1 Clasificación y organización de información por línea de producción A, fuente base de datos históricos de la compañía.

REPORTE DE PRODUCCIÓN ÁREA DE CABLE DOMÉSTICO LEONI CABLE S.A. DE C.V.																		
Operador	Supervisor	Máquina	Turno	PRODUCCIÓN (metros)			Producción x 10000 m			Scrap (metros)			Scrap x 10000 m					
				Negro	Rojo	Café	Atul	Azul	Negro	Rojo	Café	Azul	IDBL	2DBV	3DBD	4DBK	5DBS	
	Manuel	Leobardo	1	1	174717	362327	310153	313457	116.1564	9465	9079	21341	9757	3	4	2	4	4
	David	Maciel	1	2	179281	420852	267304	310340	117.7777	9131	14676	9321	10905	4	4	2	4	4
	Juan	J. Carmen	1	3	280637	344735	344268	346122	131.5762	9122	14044	11137	11111	3	4	2	4	4
	Rubén	Alejandro	1	4	119692	276735	195170	223544	81.5141	5424	10942	5925	6277	2	4	2	4	4
	Diego	Leobardo	2	1	192776	419855	297751	296100	120.6482	7961	9273	10629	10872	3	4	3	3	3
	Alfonso	Maciel	2	2	178060	362545	338418	338099	121.7122	10444	14525	11768	11312	2	4	3	3	3
	Daniel	J. Carmen	2	3	279163	346928	347788	348128	132.2007	9455	14750	11558	10977	4	4	3	3	3
	Javier	Alejandro	2	4	108691	279281	161929	161382	71.1283	5589	11639	5774	5682	2	4	3	3	3
L	Victor	Leobardo	3	1	182744	421824	297868	297977	120.0413	8110	9283	11010	10496	3	4	3	3	3
I	Isaac	Maciel	3	2	180525	422019	337940	339766	128.025	9684	14358	11305	11501	3	4	3	3	3
N	Alejandro	J. Carmen	3	3	279948	346031	347816	344882	131.8677	9355	14302	12298	12082	3	4	3	3	3
E	Jesús	Alejandro	3	4	115682	278302	160993	161512	71.6489	5621	11284	5805	5798	2	4	3	3	3
A	Oscar	Leobardo	10	1	187162	421179	299285	297954	120.558	8423	10326	11076	10583	3	4	3	3	3
	Miguel	Maciel	10	2	181740	422653	339078	313627	125.7098	9265	14545	11277	10301	3	4	3	3	3
D	Antonio	J. Carmen	10	3	280209	346062	346471	349536	132.2278	8975	14994	12187	11426	3	4	3	3	3
E	Luis	Alejandro	10	4	132480	279440	160970	161187	73.4077	5921	10998	7121	6778	2	4	3	3	3
	Edgar	Leobardo	11	1	175671	428353	296084	297964	119.8072	8330	9754	10732	10934	2	4	3	3	3
P	Jasiel	Maciel	11	2	180511	423278	315393	313189	123.2371	9363	14518	9376	10519	2	4	3	3	3
R	Francisco	J. Carmen	11	3	279451	344925	347151	347252	131.8779	9253	14962	12515	11271	2	4	3	3	3
O	Ismael	Alejandro	11	4	118182	279112	161426	161363	72.0083	5872	11578	5765	5513	2	4	3	3	3
D	Erik	Leobardo	12	1	200164	421226	296937	297734	121.6061	8675	10066	11243	11186	2	4	3	3	3
U	Alberto	Maciel	12	2	180604	423506	338001	338271	128.0382	9300	14695	11952	11772	2	4	3	3	3
C	Augusto	J. Carmen	12	3	279433	345855	349948	348912	132.4148	9042	15133	11367	11464	2	4	3	3	3
C	Yael	Alejandro	12	4	106749	278259	162388	163283	71.0679	5589	9490	6480	5783	2	4	3	3	3
I	Ángel	Leobardo	19	1	180201	421183	255176	297412	115.3972	8256	9768	11066	10827	1	6	2	5	4
Ó	Efrain	Maciel	19	2	182164	422931	340840	340601	128.6536	9151	14319	11817	11684	1	6	2	5	4
N	Ernesto	J. Carmen	19	3	280190	346450	347610	347759	132.2009	8428	15477	11369	11864	1	6	2	5	4
	José	Alejandro	19	4	120515	278943	96906	161366	65.773	5850	10271	7500	5906	2	4	2	4	4
A	Eder	Leobardo	20	1	176330	420606	295872	297336	119.0144	8897	9878	9340	10822	2	4	2	4	4
	Eliacim	Maciel	20	2	180861	422286	341840	339900	128.4887	10676	14430	11373	11997	2	4	2	4	4
	Pablo	J. Carmen	20	3	280838	346814	346933	336819	131.1404	9245	14047	12271	11162	1	5	1	5	6
	José Miguel	Alejandro	20	4	122619	279508	162387	161685	72.6199	5924	11690	6936	5732	1	5	1	5	6
	Pablo	Leobardo	21	1	175436	421154	298238	296755	119.1583	8180	9837	10001	13885	1	5	1	5	6
	Sebastián	Maciel	21	2	180272	423188	339906	340374	128.374	9359	14140	11904	10110	1	5	1	5	6
	Gerardo	J. Carmen	21	3	280256	346534	347416	347408	132.1614	9423	14483	12065	11299	1	5	1	5	6
	Israel	Alejandro	21	4	124219	279875	161856	160858	72.6808	5436	11093	6265	3448	1	5	1	5	6

ANEXO 3

Tabla A3.2 Clasificación y organización de información por línea de producción B, fuente base de datos históricos de la compañía.

REPORTE DE PRODUCCIÓN ÁREA DE CABLE DOMÉSTICO																		
LEONI CABLE S.A. DE C.V.																		
Operador	Supervisor	Máquina	Turno	PRODUCCIÓN (metros)			Producción x 10000 m	Scrap (metros)			Scrap x 10000 m	Marca Dado y Boquilla (juego)						
				Verde	Naranja	Amarillo		Violeta	Verde	Naranja		Amarillo	Violeta	IDBL	20BV	30BD	40BK	50BS
	Rosalio	Isidro	4	1	180905	422345	299205	298099	120.054	8148	9280	10556	10729	2	3	3	3	3
	Rodolfo	Anselmo	4	2	180992	424008	339751	341630	128.5781	9353	14165	11244	11500	4	6	262	4	7887
	Carlos	Emanuel	4	3	280290	348891	347397	348936	132.5514	9251	14206	12138	12292	4	7	887	4	8981
	Enrique	Maurilio	4	4	121885	280179	161789	162152	72.6005	6233	10363	6457	5928					
	Erasmo	Isidro	5	1	140360	422295	300338	298656	116.1649	7949	10404	10850	10191					
	Adolfo	Anselmo	5	2	181445	424808	341844	324287	127.2384	8974	14629	11505	11409	2	4	2	2	4
	Faustino	Emanuel	5	3	280883	348418	347654	347020	132.3975	9084	14408	12081	12090					
	Jaime	Maurilio	5	4	71465	280209	163249	122008	63.6931	5378	8381	5609	5563					
L	Josué	Isidro	6	1	139840	423117	300324	298438	116.1719	7786	9029	10184	10080					
I	Julio	Anselmo	6	2	180993	424610	305389	318836	122.9828	8852	13795	11324	11262	4	3	1	3	4
N	Carmelo	Emanuel	6	3	280566	347751	348686	350421	132.7424	9156	13820	11821	11039					
E	Omar	Maurilio	6	4	71762	280394	162267	162729	67.7152	5409	10740	5398	5316					
A	Tomás	Isidro	13	1	140958	422637	301007	299698	116.43	7850	9192	10162	10426					
D	Edmundo	Anselmo	13	2	181055	425081	340752	343387	129.0275	9015	13658	11522	11262	1	4	1	4	4
E	Bruno	Emanuel	13	3	280305	348843	349244	348509	132.6901	9003	14045	11878	11948					
	Eloy	Maurilio	13	4	71836	280562	162237	162198	67.6833	5533	10623	5286	5356					
P	Fidel	Isidro	14	1	140959	422200	299887	298800	116.1846	7814	9238	10050	10095					
R	Abel	Anselmo	14	2	181283	424534	341343	342654	128.9814	9122	13858	11230	11421	3	2	2	5	3
O	Germán	Emanuel	14	3	281400	349012	349010	348631	132.8053	9074	14474	11942	11103					
	Simón	Maurilio	14	4	71674	280397	162020	162032	67.6123	5396	10689	5415	5272					
D	Ulises	Isidro	15	1	140783	422633	299791	300240	116.3447	7885	9022	10153	10510					
U	Lucio	Anselmo	15	2	180920	424622	340577	341334	128.7453	8954	14068	11305	11446	3	4	4	3	2
C	Benito	Emanuel	15	3	280353	349055	349211	349588	132.8207	9149	14124	11910	11161					
C	Horacio	Maurilio	15	4	71674	280753	162047	162254	67.6728	5306	10583	5289	5360					
I	Moisés	Isidro	22	1	140979	422546	298015	299535	116.1075	7928	8926	10014	10480					
Ó	Dolores	Anselmo	22	2	181665	425532	342258	339996	128.9451	9151	13995	11377	9714	2	4	2	4	4
N	Armando	Emanuel	22	3	281169	348637	348046	349591	132.7443	8999	13272	12014	11074					
	Martín	Maurilio	22	4	71539	280750	160971	162063	67.5323	5377	10793	5336	5229					
B	Paulino	Isidro	23	1	140574	424359	300087	298752	116.3772	7896	9183	10160	10487					
	Rafael	Anselmo	23	2	181102	425187	341592	338102	128.5983	9049	13163	9653	11386	1	3	3	5	2
	Santiago	Emanuel	23	3	281368	348627	348315	349732	132.8042	8915	13800	11913	11148					
	Valerio	Maurilio	23	4	71637	280288	162077	161273	67.5275	5375	9729	5316	5440					
	Urbano	Isidro	24	1	140560	422155	300120	298708	116.1543	7859	9048	10193	10458					
	Nicolás	Anselmo	24	2	181426	425805	341720	340704	128.9655	9111	13895	11679	11585	2	3	2	4	4
	Lázaro	Emanuel	24	3	280631	347795	347352	349746	132.5524	9094	14177	10863	10978					
	Jacobo	Maurilio	24	4	71352	281814	161770	162000	67.6936	5334	10778	5302	5366					

ANEXO 3

Tabla A3.3 Clasificación y organización de información por línea de producción C, fuente base de datos históricos de la compañía.

LEONI CABLE S. A. DE C. V. **REPORTE DE PRODUCCIÓN ÁREA DE CABLE DOMÉSTICO**

Operador	Supervisor	Máquina	Turno	PRODUCCIÓN (metros)			Producción x 10000 m	Scrap (metros)			Scrap x 10000 m	Marca Dado y Boquilla (juego)						
				Blanco	Gris	Beige		Rosa	Blanco	Gris		Beige	Rosa	1DBL	2DBV	3DBD	4DBK	5DBS
Elias	Emilio	7	1	235248	426738	305204	304775	127.1965	6567	7919	7216	8775	3.0477	1	3	2	3	3
	Teodoro	7	2	276544	429503	347586	345828	139.9461	8012	12030	9564	9554	3.916	1	3	2	3	3
	Domingo	7	3	284745	352877	283944	282726	120.4292	7942	11764	8685	7713	3.6104	1	3	2	3	3
	Fidel	7	4	164638	283240	163647	163537	77.5062	3944	8526	4696	4373	2.1539	1	3	2	3	3
Evaristo	Emilio	8	1	234703	426292	304784	303981	126.976	6502	7621	8728	8790	3.1641	2	4	1	3	3
	Teodoro	8	2	276110	429005	345022	346215	139.6352	7536	12059	10047	20097	4.9739	2	4	1	3	3
	Luciano	8	3	284223	352492	283513	283474	134.4052	8013	11093	10050	10133	3.9289	2	4	1	3	3
	Noé	8	4	164091	283523	164248	164641	77.6503	4467	8086	4622	4297	2.1472	2	4	1	3	3
Romeo	Emilio	9	1	234682	426739	304704	304046	127.0171	5655	7978	9496	8721	3.185	3	2	1	5	2
	Sergio	9	2	276372	429005	346125	346742	139.8244	7869	12005	10240	9985	4.0099	3	2	1	5	2
	Samuel	9	3	284223	352855	283312	283452	134.2842	8102	12715	10628	8900	4.0345	3	2	1	5	2
	Vicente	9	4	164138	283640	164238	164138	77.6154	4621	8114	4658	5128	2.2521	3	2	1	5	2
Bernardo	Emilio	16	1	234839	427192	305476	305255	127.2762	6934	8061	8907	8936	3.2838	1	4	2	2	3
	Eugenio	16	2	276252	429045	346689	346459	139.8445	7951	12987	10231	8662	3.9831	1	4	2	2	3
	Gilberto	16	3	284003	352846	283864	283677	134.539	8130	11824	9941	9336	3.9231	1	4	2	2	3
	Mauro	16	4	163892	283530	163652	164627	77.5701	5063	10321	4816	4621	2.4821	1	4	2	2	3
Narciso	Emilio	17	1	234778	426729	304529	304971	127.1007	6421	7830	8319	8408	3.0978	1	2	3	3	3
	Teodoro	17	2	277130	429673	346607	346195	139.9605	7971	11897	10190	10275	4.0333	1	2	3	3	3
	Sergio	17	3	283333	352968	283551	283442	127.3294	7987	12405	7109	10572	3.8073	1	2	3	3	3
	Octavio	17	4	164652	283859	164100	164047	77.6658	4529	9181	4808	4619	2.3137	1	2	3	3	3
Osvaldo	Emilio	18	1	235243	426729	303686	304724	127.0382	6544	7504	9064	9104	3.2216	2	3	3	3	3
	Pablo	18	2	276890	429045	346148	344703	139.6786	7677	12592	9972	10047	4.0288	2	3	3	3	3
	Felipe	18	3	283894	353076	283471	283526	134.5967	7440	10241	10561	10172	3.8414	2	3	3	3	3
	Álvaro	18	4	164051	283529	164498	164138	77.6216	5062	9807	4579	4635	2.4083	2	3	3	3	3
Aldo	Emilio	25	1	234881	426739	305004	304018	127.0642	6978	8249	9165	9059	3.3451	1	4	1	6	1
	Teodoro	25	2	276372	429029	345642	344633	139.5676	8031	13049	10523	10144	4.1747	1	4	1	6	1
	Silvano	25	3	283779	352878	283102	283204	134.2963	8201	12779	10172	9741	4.0893	1	4	1	6	1
	Victor	25	4	164027	283341	164027	163637	77.5032	5694	9785	4690	4840	2.5009	1	4	1	6	1
Luis	Emilio	26	1	235055	426840	305356	305515	127.2766	6591	7851	9810	9791	5.5143	2	1	1	3	5
	Cirilo	26	2	276082	429266	344530	345914	139.5792	8046	12592	10731	10283	4.1652	2	1	1	3	5
	Eladio	26	3	283883	353550	283550	283570	134.5092	8339	12013	9958	10849	4.1159	2	1	1	3	5
	Tadeo	26	4	164617	283520	164518	164647	77.7302	4781	8766	4827	4905	2.3279	2	1	1	3	5

ANEXO 4

Resultado del análisis de varianza para el volumen de producción

Los valores significativos del resultado son: $F = F_{Prueba}$ y $P = P_{Prueba}$, sombreados abajo.

One-way ANOVA: Producción versus Modelo

Source	DF	SS	MS	F	P
Modelo	4	98789693825	24697423456	28.66	0.000
Error	25	21546345176	861853807		
Total	29	1.20336E+11			

de los valores estadísticos F y P se obtiene lo siguiente:

$F_{prueba} = 28.66 > F_{tabla} = 2.76$, por lo tanto, se rechaza H_0 , también en términos del valor P_{prueba} se observa que:

$P_{prueba} = 0.000 < (\alpha) 0.05$, por lo tanto, se rechaza H_0

Por lo tanto, podemos concluir que existe una diferencia significativa, con un valor de significancia $\alpha = 0.05$ en la duración promedio de al menos dos modelos de dado y boquilla.

En las gráficas de la Figura A4., se observa que se cumplen los requerimientos de ANOVA referente a: la normalidad de los datos, la igualdad de varianzas y la independencia de las observaciones. En la gráfica de normalidad se incluye el valor de P en este caso es 0.277 lo que significa que si rechazamos que los datos tengan un comportamiento normal, la probabilidad de error es de 37.7%. En la Gráfica residuos vs ajustes se observa la igualdad de varianzas para los diferentes valores ajustados. Finalmente en la Gráfica de residuales vs orden, se verifica la independencia de las observaciones.

ANEXO 4

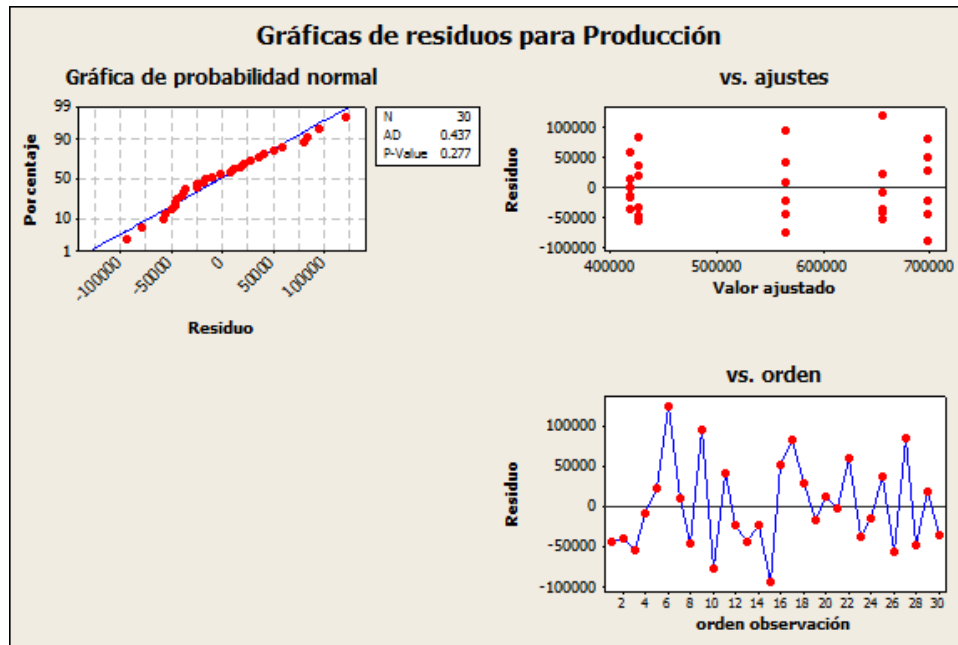


Figura A4.1 Gráficas del análisis de varianza de dado y boquilla considerando 6 réplicas (meses) y 5 tratamientos (modelos).

ANEXO 5

Resultado del análisis de varianza para el volumen de *scrap*

Los valores significativos del resultado son: $F = F_{Prueba}$ y $P = P_{Prueba}$, sombreados abajo.

One-way ANOVA: CTD. *Scrap* (m) versus Modelos

Source	DF	SS	MS	F	P
Modelos	4	19119336	4779834	4.11	0.011
Error	25	29095572	1163823		
Total	29	48214907			

Realizando la comparación de los valores estadísticos F y P se obtiene lo siguiente:

$F_{prueba} = 4.11 > F_{tabla} = 2.76$, por lo tanto, se rechaza H_0 , también en términos del valor P_{prueba} se observa que:

$P_{prueba} = 0.011 < (\alpha) 0.05$, por lo tanto, se rechaza H_0

Por lo tanto, podemos concluir que existe una diferencia significativa, con un valor de significancia $\alpha = 0.05$ en la duración promedio de al menos dos modelos de dado y boquilla.

En las gráficas de la Figura A5.1, se observa que se cumplen los requerimientos de ANOVA referente a: la normalidad de los datos, la igualdad de varianzas y la independencia de las observaciones. En la gráfica de normalidad se incluye el valor de P en este caso es 0.477 lo que significa que si rechazamos que los datos tengan un comportamiento normal, la probabilidad de error es de 47.7%. En la Gráfica residuos vs ajustes se observa la igualdad de varianzas para los diferentes valores ajustados. Finalmente en la Gráfica de residuales vs orden, se verifica la independencia de las observaciones.

ANEXO 5

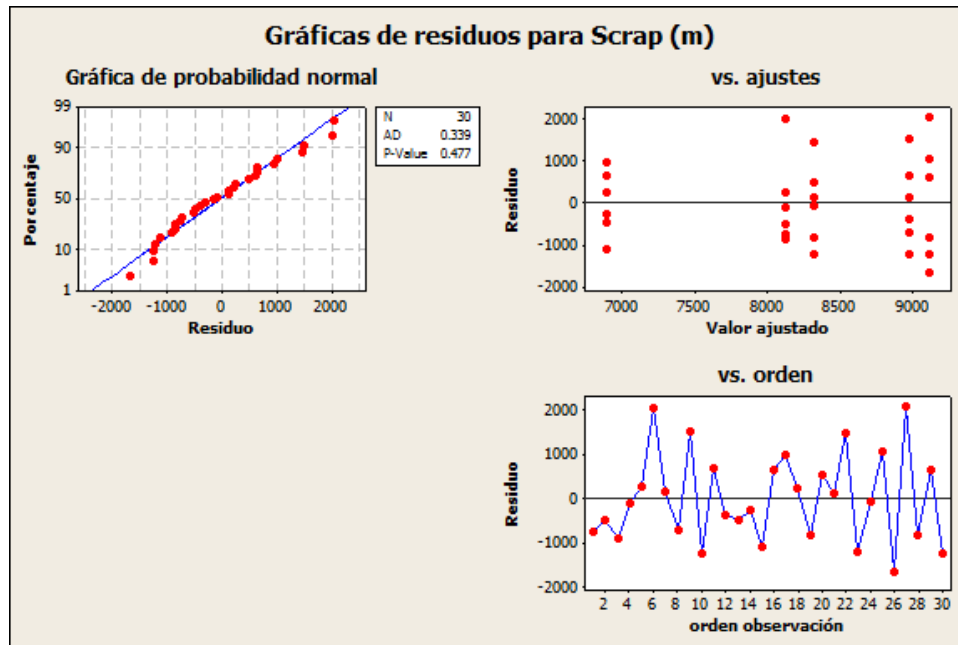


Figura A5.1 Gráficas del análisis de varianza de dado y boquilla considerando 6 réplicas (meses) y 5 tratamientos (modelos).

ANEXO 6

Análisis de regresión lineal simple para la variable *Scrap* vs Cantidad de dado y boquilla, para cada línea de producción

Tabla A6.1 Cantidad de Km generados de *scrap* (producto no conforme), cantidad de dados y boquillas utilizadas en el período enero-junio de 2015.

LÍNEA A						
Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Scrap	1439	1390	1526	1484	1542	1558
Dado y Boq.	151	145	152	143	159	138

LÍNEA B						
Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Scrap	1406	1380	1497	1488	1469	1465
Dado y Boq.	124	139	134	121	135	145

LÍNEA C						
Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Scrap	1211	1110	1288	1166	1262	1147
Dado y Boq.	108	74	111	112	117	88

En la Figura A6.1 se muestran gráficamente los datos de la Tabla A6.1, se construye un diagrama de dispersión, de forma cualitativa se observa un comportamiento lineal entre las variables, por lo que a continuación se aplica un análisis de regresión a los datos.

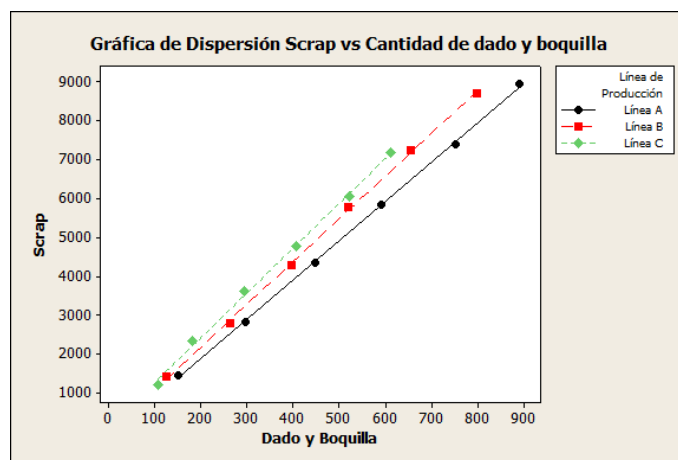


Figura A6.1 Diagrama de dispersión *scrap* vs cantidad de dado y boquilla.

Se presentan los resultados del análisis estadístico de regresión lineal simple, para las 3 líneas de producción con los datos mensuales del período en estudio,

ANEXO 6

donde, se observa el comportamiento de las variables de operación incluidas en la evaluación de desempeño y que tienen un efecto en el par dado-boquilla, con un nivel de significancia de 5%, para este caso el análisis de la variable producción es dependiente de la cantidad de dados y boquillas utilizados.

Línea de producción A

Análisis de Regresión: Scrap versus cantidad de dado y boquilla

La ecuación de regresión es
Scrap = - 150 + 10.1 Dado y Boquilla

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constante	-149.91	62.55	-2.40	0.075
Dado y Boquilla	10.1412	0.1080	93.87	0.000

S = 67.0227 $R^2 = 100.0\%$ $R^2(\text{adj}) = 99.9\%$

Se observa que los coeficientes de determinación R^2 y R^2 ajustado son cercanos al 100%, lo que indica que el modelo lineal propuesto explica adecuadamente el comportamiento de los resultados. Por otro lado, aunque la ordenada al origen es negativa, el valor P que le corresponde indica que no es significativa por lo que puede omitirse del modelo de regresión, concluyendo que la producción se incrementa a una tasa de 10.1 km por unidad de dado-boquilla, para calcular intervalo de confianza de la pendiente β_1 , se utiliza la fórmula (2.4-6), obteniendo $\beta_1 = 10.1 \pm 0.29$, equivalente a $9.8 \leq \beta_1 \leq 10.4$.

ANEXO 6

Línea de producción B

Análisis de Regresión: Scrap versus cantidad de dado y boquilla

La ecuación de regresión es
Scrap = - 19.8 + 11.0 Dado y Boquilla

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constante	-19.81	83.21	-0.24	0.824
Dado y Boquilla	11.0095	0.1625	67.76	0.000

S = 90.5363 $R^2 = 99.9\%$ $R^2(\text{adj}) = 99.9\%$

De igual forma se observa un comportamiento al de la línea de producción A: con la ordenada al origen negativa, no significativa; los coeficientes de determinación cercanos al 100%, concluyendo que la producción se incrementa a una tasa de 11 km por unidad de dado-boquilla, para calcular intervalo de confianza de la pendiente β_1 , se utiliza la fórmula (2.4-6), obteniendo $\beta_1 = 11 \pm 0.45$, equivalente a $10.54 \leq \beta_1 \leq 11.45$.

Línea de producción C

Análisis de Regresión: Scrap versus cantidad de dado y boquilla

La ecuación de regresión es
Scrap = 87 + 11.7 Dado y Boquilla

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	87.0	104.0	0.84	0.450
Dado y Boquilla	11.6553	0.2642	44.12	0.000

S = 114.177 $R^2 = 99.8\%$ $R^2(\text{adj}) = 99.7\%$

Por último, en este caso se observa un comportamiento similar al de las líneas de producción A y B: la ordenada al origen no es significativa, por lo que se puede excluir del modelo; los coeficientes de determinación cercanos al 100%, por lo que se puede concluir que la producción en la línea C se incrementa a una tasa de 11.7 km por unidad de dado-boquilla, para calcular intervalo de confianza de la pendiente β_1 , se utiliza la fórmula (2.4-6), obteniendo $\beta_1 = 11.7 \pm 0.73$, equivalente a $10.9 \leq \beta_1 \leq 12.4$.

ANEXO 7

Análisis de varianza para la variable máquina vs dado y boquilla.

Se realiza el análisis de varianza para determinar si no existe una diferencia significativa entre las máquinas, seleccionando de forma aleatoria 4 máquinas en la línea de producción A, bajo las mismas condiciones de trabajo, como son; turno, colorante, operador, supervisor, etc., utilizadas en el proceso con los diferentes modelos de herramienta de dado y boquilla, considerando 1 factor.

Las hipótesis a evaluar son:

$H_0 : M01 = M03 = M011 = M19$ No existe diferencia entre las máquinas
 $H_1 : M_i \neq M_j \neq \dots M_n$ Existe diferencia entre las máquinas

En el ANOVA se considera la cantidad de dados y boquillas que se utilizan en promedio sin importar el modelo de herramienta, usadas en las máquinas en el proceso de fabricación, tomando para el estudio 6 réplicas que corresponden al mismo período de estudio, con un nivel de significancia del 5%, los datos de referencia para los cálculos se muestran en la Tabla A7.1.

Tabla A7.1 Cantidad de dados y boquillas promedio por mes, utilizados en el proceso de extrusión para cada máquina bajo las mismas condiciones de trabajo.

Máquina	Período enero-junio 2015					
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
M01	4	2	5	4	4	6
M03	4	5	4	6	6	5
M11	4	6	5	5	5	4
M19	3	4	2	1	2	3

Con ayuda de *Minitab*, tenemos los siguientes resultados:

ANEXO 7

Análisis de varianza para la variable máquina

One-way ANOVA: Dado y boquilla versus Máquina

Source	DF	SS	MS	F	P
Máquina	3	23.46	7.82	7.39	0.002
Error	20	21.17	1.06		
Total	23	44.63			

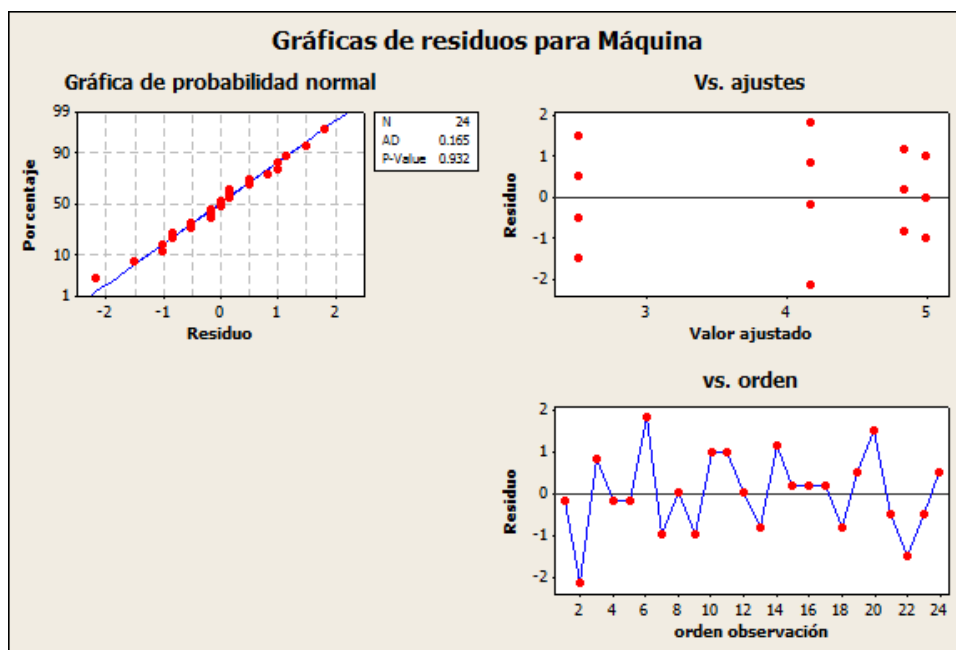


Figura A7.1 Gráficas del análisis de varianza de dado y boquilla considerando 6 réplicas (meses) y 4 tratamientos (máquina).

ANEXO 8

Análisis de varianza para la variable operador vs dado y boquilla.

Se realiza el análisis de varianza para determinar si no existe una diferencia significativa entre los operadores, seleccionando de forma aleatoria a cuatro operarios en la línea de producción A, bajo las mismas condiciones de trabajo, como son; la máquina, el colorante, dados y boquillas, en el proceso de extrusión basado, en el volumen de producto obtenido por cada una de la muestra aleatoria, considerando 1 factor.

Las hipótesis a evaluar son:

H_0 : Manuel = David = Juan = Rubén No existe diferencia entre los operadores
 H_1 : Manuel \neq David \neq Juan \neq Rubén Existe diferencia entre los operadores

Para el análisis de varianza, de la base de datos se toma el promedio de volumen de producto conseguido por cada operador, con el dado y boquilla que se utiliza sin importar el modelo de herramienta, la evaluación es sobre la misma máquina M01, en el proceso de extrusión, considerando para el estudio 6 réplicas que corresponden al período de estudio, con un nivel de significancia del 5%, los datos de referencia para los cálculos se muestran en la Tabla A8.1.

Tabla A8.1 Producción promedio en km/unidad de dado-boquilla obtenido por cada operador, sin importar el modelo y colorante, para la máquina M01 en el proceso de extrusión, bajo las mismas condiciones de trabajo.

Operador	Período enero-junio 2015					
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Manuel	202.6	179.8	188.4	196.8	186.9	205.5
David	197.3	203.6	180.7	189.4	193.8	205.2
Juan	217.3	221.4	218.5	210.9	228.6	223.1
Rubén	137.7	129.7	139.2	134.8	140.3	133.4

Con ayuda de *Minitab*, se obtienen los siguientes resultados:

ANEXO 8

Análisis de varianza para la variable operador

One-way: Producción versus Operador

Source	DF	SS	MS	F	P
Operador	3	22821.2	7607.1	129.74	0.000
Error	20	1172.6	58.6		
Total	23	23993.8			

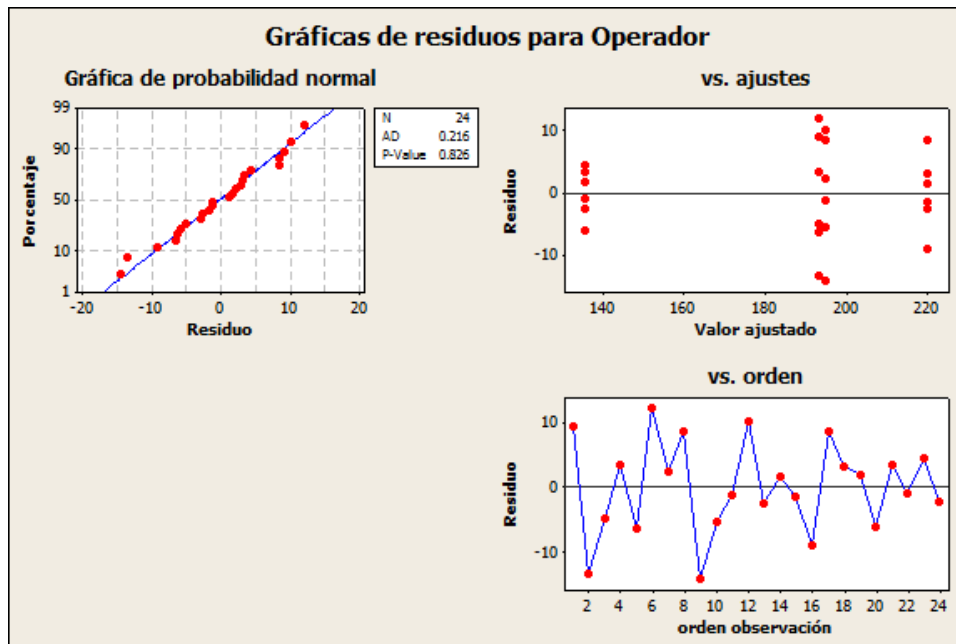


Figura A8.1 Gráficas del análisis de volumen de producto obtenido por cada operador en la máquina M01, considerando 6 réplicas (meses) y 4 tratamientos (operador).

ANEXO 9

Tabla A9.1 Resumen de la evaluación de indicadores de desempeño para el conjunto de dado y boquilla modelo 2DBV.

LEONI CABLE S. A. DE C. V.			INFORME DE INDICADORES DE DESEMPEÑO						CODIGO		MODELO	
			DEPARTAMENTO:			Producción			PERÍODO:		Enero-Junio	
			PUESTO:			Gerente de Producción			AÑO:		2015	
OBJETIVO	Peso	Indicadores de medición	Forma de Cálculo	Unidad de Medida	Peso del Indicador	METAS			PROMEDIOS		Resultado del periodo	Puntaje
						Mínimo	Suficiente	Máximo	2015	2016		
Mejor desempeño productivo de dado y boquilla en el proceso	30%	Productividad	Metros producidos con 2DBV/Metros total por período	%	25%	0.33	0.67	1	----	----	0.49	0.12
		Calidad	1-(Metros de scrap generado con 2DBV/metros total de scrap período)	%	20%	0.33	0.5	1	----	----	0.40	0.08
		Máquina	No. de H máquina utilizadas con 2DBV/Total de H máquina por período	%	10%	0.78	0.89	1	----	----	1	0.1
		Operador	No. de H por operario con 2DBV/Total de H por período	%	10%	0.82	0.91	1	----	----	1	0.1
		Tiempo	Tiempo en H utilizando 2DBV/Total de H por período	%	30%	0.33	0.67	1	----	----	0.44	0.13
		Color (materia prima)	No. de H de colores procesados con 2DBV/No. H Total de colores	%	5%	0.25	0.75	1	----	----	1	0.05
											58.7%	

Tabla A9.2 Resumen de la evaluación de indicadores de desempeño para el conjunto de dado y boquilla modelo 3DBD.

LEONI CABLE S. A. DE C. V.			INFORME DE INDICADORES DE DESEMPEÑO						CODIGO		MODELO	
			DEPARTAMENTO:			Producción			PERÍODO:		Enero-Junio	
			PUESTO:			Gerente de Producción			AÑO:		2015	
OBJETIVO	Peso	Indicadores de medición	Forma de Cálculo	Unidad de Medida	Peso del Indicador	METAS			PROMEDIOS		Resultado del periodo	Puntaje
						Mínimo	Suficiente	Máximo	2015	2016		
Mejor desempeño productivo de dado y boquilla en el proceso	30%	Productividad	Metros producidos con 3DBD/Metros total por período	%	25%	0.33	0.67	1	----	----	0.87	0.22
		Calidad	1-(Metros de scrap generado con 3DBD/metros total de scrap período)	%	20%	0.33	0.5	1	----	----	0.66	0.13
		Máquina	No. de H máquina utilizadas con 3DBD/Total de H máquina por período	%	10%	0.78	0.89	1	----	----	0.78	0.08
		Operador	No. de H por operario con 3DBD/Total de H por período	%	10%	0.82	0.91	1	----	----	0.82	0.08
		Tiempo	Tiempo en H utilizando 3DBD/Total de H por período	%	30%	0.33	0.67	1	----	----	0.88	0.26
		Color (materia prima)	No. de H de colores procesados con 3DBD/No. H Total de colores	%	5%	0.25	0.75	1	----	----	0.75	0.04
											80.6%	

ANEXO 9

Tabla A9.3 Resumen de la evaluación de indicadores de desempeño para el conjunto de dado y boquilla modelo 4DBK.

LEONI CABLE S. A. DE C. V.			INFORME DE INDICADORES DE DESEMPEÑO						CODIGO		MODELO	
			DEPARTAMENTO:			Producción			PERÍODO:		Enero-Junio	
			PUESTO:			Gerente de Producción			AÑO:		2015	
OBJETIVO	Peso	Indicadores de medición	Forma de Cálculo	Unidad de Medida	Peso del Indicador	METAS			PROMEDIOS		Resultado del periodo	Puntaje
						Mínimo	Suficiente	Máximo	2015	2016		
Mejor desempeño productivo de dado y boquilla en el proceso	30%	Productividad	Metros producidos con 4DBK/Metros total por período	%	25%	0.33	0.67	1	---	---	0.49	0.12
		Calidad	1-(Metros de scrap generado con 4DBK/metros total de scrap período)	%	20%	0.33	0.5	1	---	---	0.40	0.08
		Máquina	No. de H máquina utilizadas con 4DBK/Total de H máquina por período	%	10%	0.78	0.89	1	---	---	1	0.1
		Operador	No. de H por operario con 4DBK/Total de H por período	%	10%	0.82	0.91	1	---	---	1	0.1
		Tiempo	Tiempo en H utilizando 4DBK/Total de H por período	%	30%	0.33	0.67	1	---	---	0.47	0.14
		Color (materia prima)	No. de H de colores procesados con 4DBK/No. H Total de colores	%	5%	0.25	0.75	1	---	---	1	0.05
											59.7%	

Tabla A9.4 Resumen de la evaluación de indicadores de desempeño para el conjunto de dado y boquilla modelo 5DBS.

LEONI CABLE S. A. DE C. V.			INFORME DE INDICADORES DE DESEMPEÑO						CODIGO		MODELO	
			DEPARTAMENTO:			Producción			PERÍODO:		Enero-Junio	
			PUESTO:			Gerente de Producción			AÑO:		2015	
OBJETIVO	Peso	Indicadores de medición	Forma de Cálculo	Unidad de Medida	Peso del Indicador	METAS			PROMEDIOS		Resultado del periodo	Puntaje
						Mínimo	Suficiente	Máximo	2015	2016		
Mejor desempeño productivo de dado y boquilla en el proceso	30%	Productividad	Metros producidos con 5DBS/Metros total por período	%	25%	0.33	0.67	1	---	---	0.40	0.10
		Calidad	1-(Metros de scrap generado con 5DBS/metros total de scrap período)	%	20%	0.33	0.5	1	---	---	0.33	0.07
		Máquina	No. de H máquina utilizadas con 5DBS/Total de H máquina por período	%	10%	0.78	0.89	1	---	---	1	0.1
		Operador	No. de H por operario con 5DBS/Total de H por período	%	10%	0.82	0.91	1	---	---	1	0.1
		Tiempo	Tiempo en H utilizando 5DBS/Total de H por período	%	30%	0.33	0.67	1	---	---	0.44	0.13
		Color (materia prima)	No. de H de colores procesados con 5DBS/No. H Total de colores	%	5%	0.25	0.75	1	---	---	1	0.05
											55.1%	

ANEXO 10

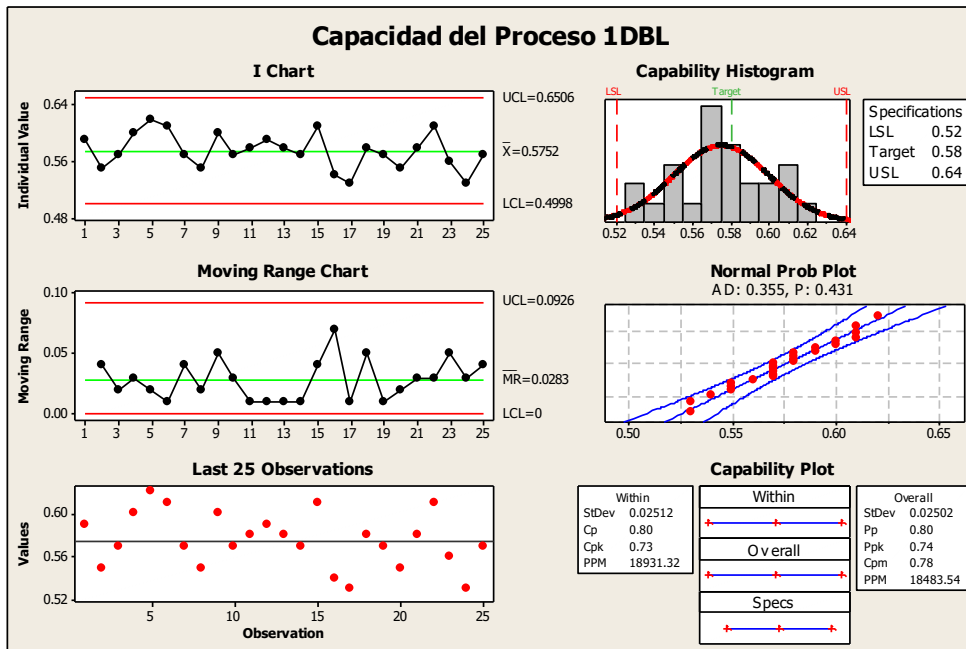


Figura A10.1 Análisis de la capacidad del proceso utilizando la herramienta de dado y boquilla del modelo 1DBL.

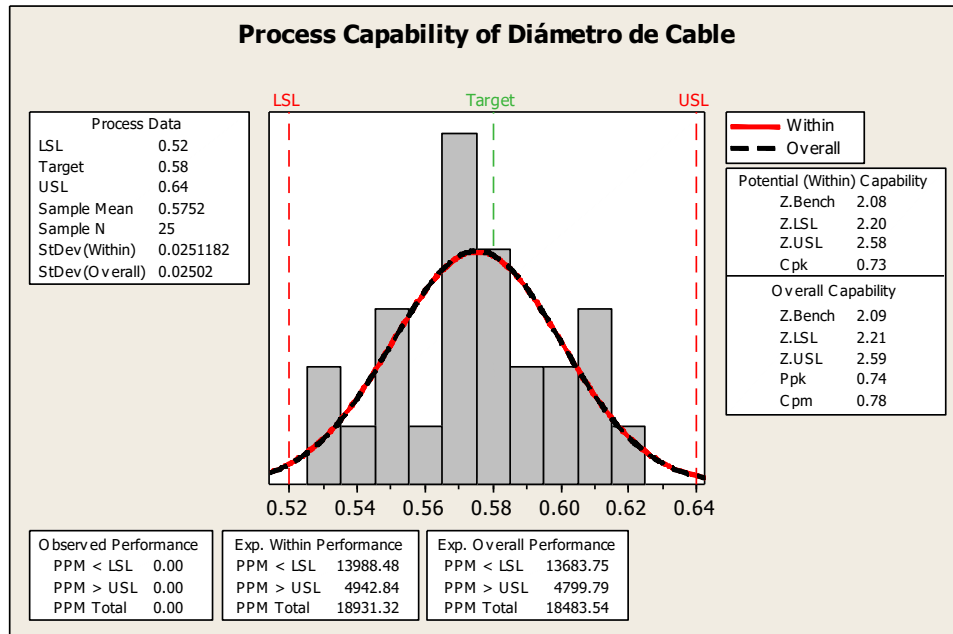


Figura A10.2 Análisis de nivel de Sigma utilizando la herramienta de dado y boquilla del modelo 1DBL.

ANEXO 10

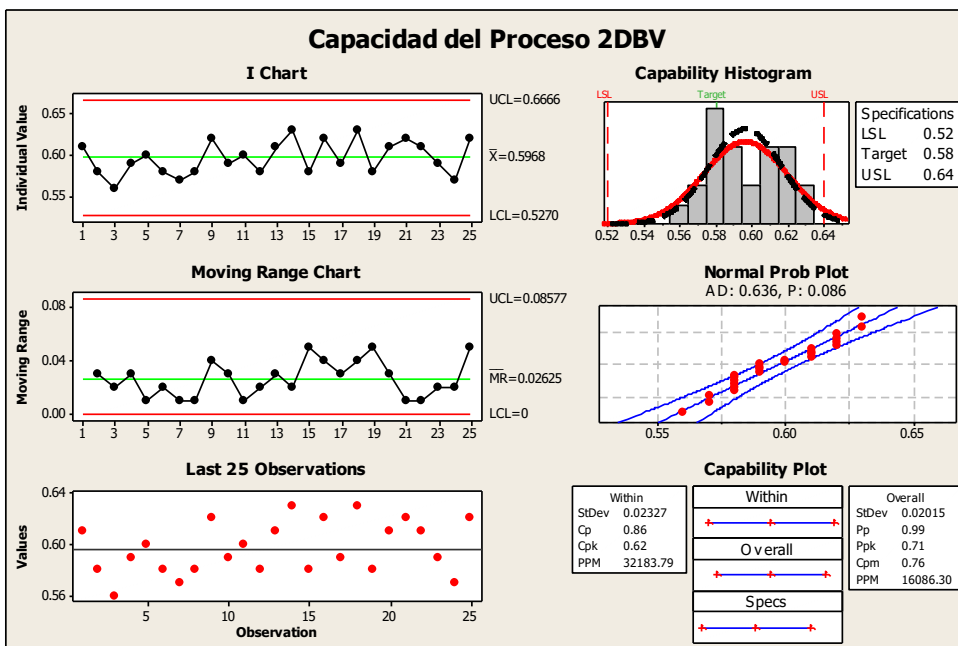


Figura A10.3 Análisis de la capacidad del proceso utilizando la herramienta de dado y boquilla del modelo 2DBV.

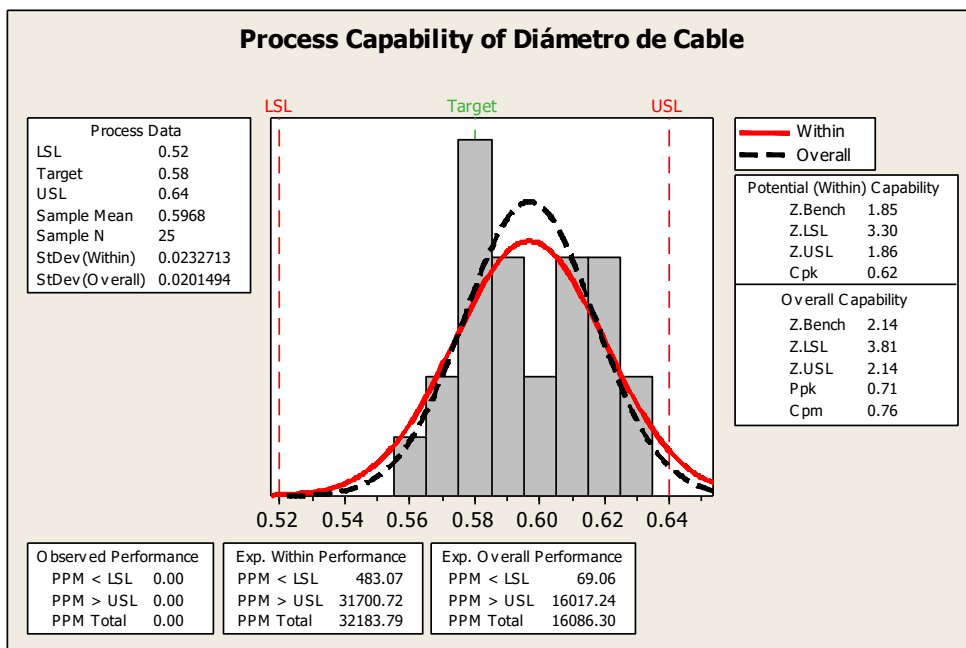


Figura A10.4 Análisis de nivel de Sigma utilizando la herramienta de dado y boquilla del modelo 2DBV.

ANEXO 10

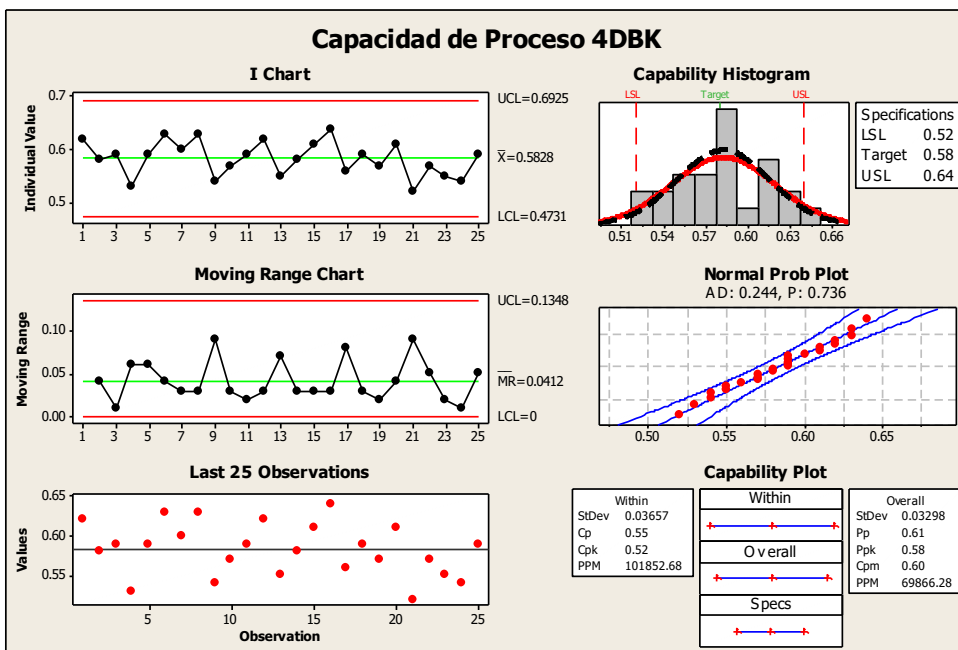


Figura A10.5 Análisis de la capacidad del proceso utilizando la herramienta de dado y boquilla del modelo 4DBK.

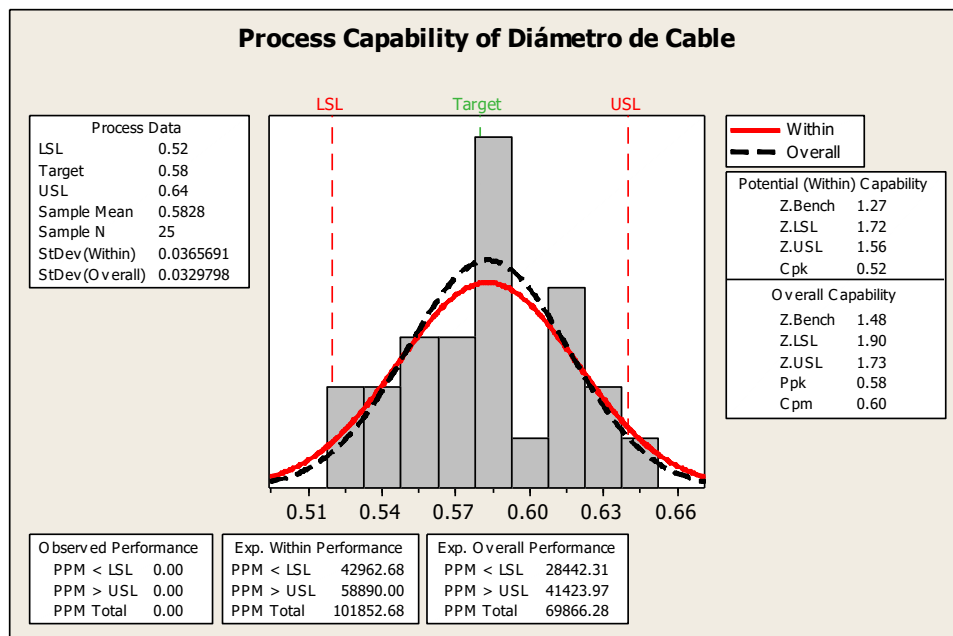


Figura A10.6 Análisis de nivel de Sigma utilizando la herramienta de dado y boquilla del modelo 4DBK.

ANEXO 10

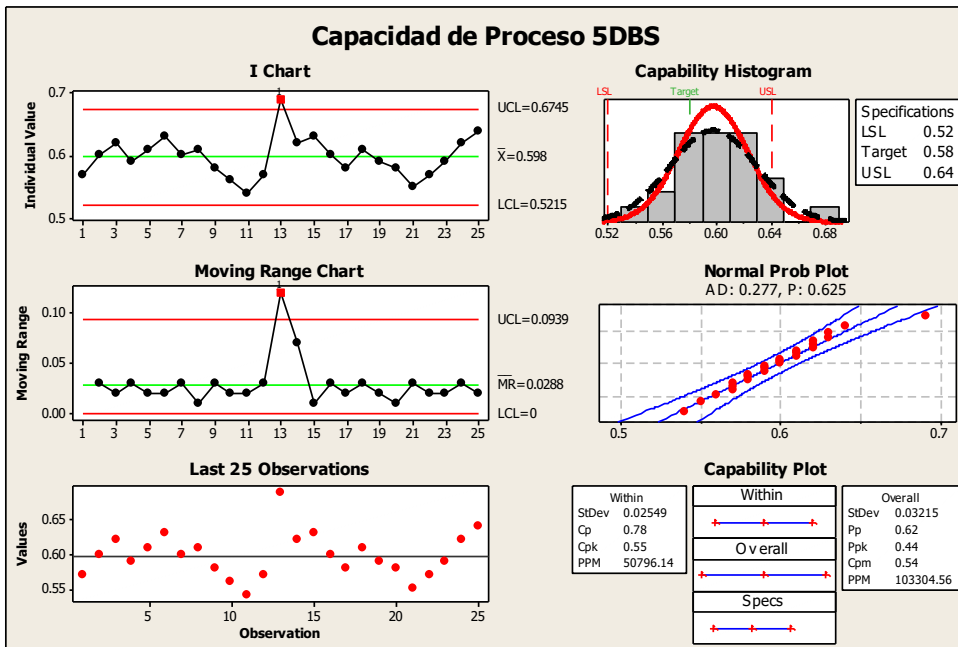


Figura A10.7 Análisis de la capacidad del proceso utilizando la herramienta de dado y boquilla del modelo 5DBS.

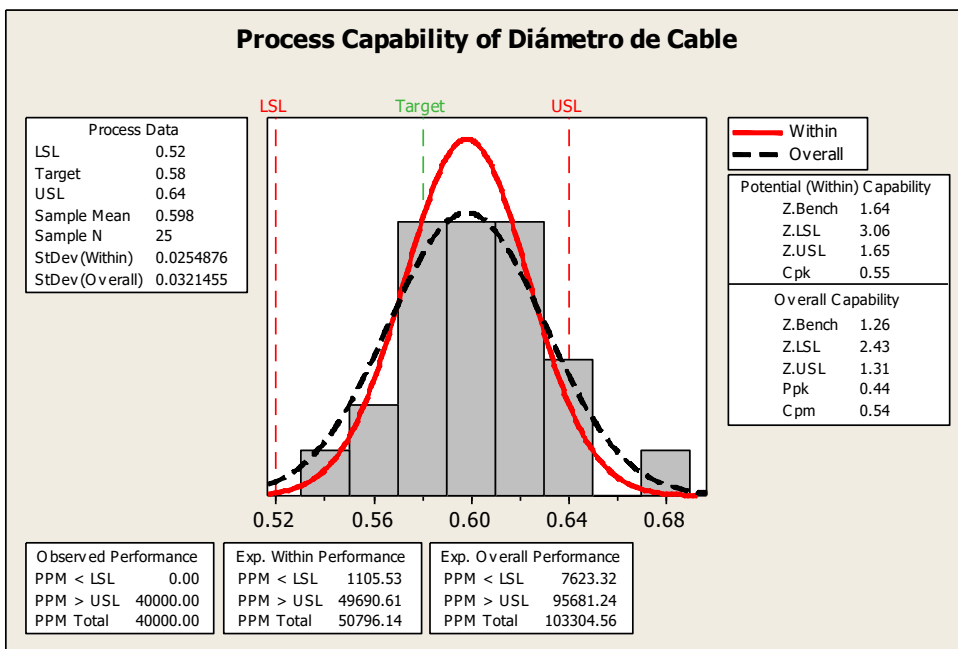


Figura A10.8 Análisis de nivel de Sigma utilizando la herramienta de dado y boquilla del modelo 5DBS.