

LA CONTRASTACIÓN ESTADÍSTICA Y LOS ANÁLISIS DE ESCALADO INDUSTRIAL.

NÉSTOR CORDERO SÁENZ
nocordero@yahoo.com
Universidad Sergio Arboleda

RESUMEN

La contrastación estadística se refiere a una serie de técnicas de modelamiento matemático que permiten establecer relaciones entre variables de diferente índole con el fin de inferir comportamientos, dada una combinación de parámetros.

En la definición de un proceso para la producción de un nuevo producto en la empresa, se debe partir de las condiciones establecidas en el laboratorio (o pequeña escala y de este modo establecer el comportamiento de las variables a la hora de producir en gran escala).

El siguiente documento presenta un caso de estudio realizado en una empresa mediana de la industria química colombiana que por motivos de reserva no se menciona en el documento. Y muestra el uso de las herramientas de la contrastación estadísticas aplicadas a un caso de mejora en el proceso productivo.

Palabras claves: Diseño experimental, Análisis de varianza, Diseño robusto.

ABSTRACT

The comparison statistic refers to mathematical modeling techniques allow relationships between different variables nature in order to infer behavior, given a combination of parameters. In the definition of a process for producing a new product in the company, assume the conditions in the laboratory (or small scale and thus determine the behavior of variables when large-scale production. The following methodology establishes parameters scaling measurement for industrial processes basis of the experimental analysis of variance determining the driver from the same control variables main.

Keywords: Experimental design, Analysis of Variance, Taguchi Design.

1. INTRODUCCIÓN

La contrastación estadística se desarrolla durante los años 20 por Ronald Fisher y se utiliza inicialmente en el sector agropecuario. Con el desarrollo de la II Guerra Mundial, la estadística evolucionó a otros sectores de la industria y en el desarrollo de nuevos métodos. Finalmente el desarrollo de la filosofía de calidad japonesa establece nuevos parámetros y metodologías de contrastación estadística aplicadas al diseño de productos y a las mejoras de procesos productivos existentes.

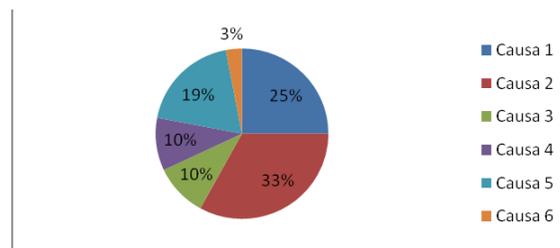
2. METODOLOGÍA PLANTEADA

En cualquier proceso desarrollado con el fin de fabricar un producto o prestar un servicio se involucran una serie de indicadores de cumplimiento, los cuales son sujetos a medición y control. El incumplimiento de estos parámetros determina la no conformidad del cliente con el producto y por lo tanto genera una pérdida para la empresa.

Durante la etapa de diseño del producto el equipo de trabajo debe definir los parámetros a medir para definir el estándar de calidad, sin embargo el control desarrollado debe darse en las causas que determinan el comportamiento de los parámetros.

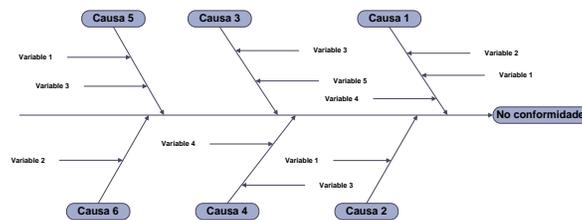
Para determinar estas variables no existe más que la experticia de los actores involucrados en el proceso, sin embargo las herramientas de la calidad dan un instrumento para sistematizar la experiencia y de este modo poder plantear las hipótesis acerca de la posible relación entre los parámetros del producto y las variables asociadas al proceso.

Todas las fallas o incumplimientos del indicador deben asociarse a una causa probable, a través de un reporte en el cual se especifique el tipo de incumplimiento. De este modo al final de un periodo se tendrán el total de fallos presentados y un histograma referenciando la frecuencia de ocurrencia de cada uno.



[1] **Figura 1. Clasificación de las no conformidades por tipo de causa, El Autor.**

A continuación se deben encontrar las variables del proceso asociadas a las causas por medio del gráfico de espina de pescado para así identificar las hipótesis iniciales:



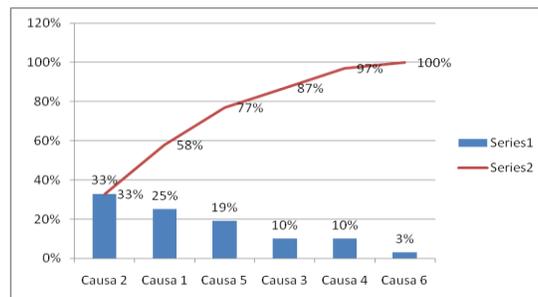
[1] **Figura 2. Diagrama de cusa efecto, El autor, con base en Ishikawa.**

De esta forma se plantean las hipótesis de la siguiente forma:

- $Causa\ 1 = F(Variable\ 1, Variable\ 2, Variable\ 4)$ [1]
- $Causa\ 2 = F(Variable\ 3)$ [2]

- $Causa\ 3 = F(\text{Variable } 3, \text{Variable } 5)$ [3]
- $Causa\ 4 = F(\text{Variable } 4, \text{Variable } 3)$ [4]
- $Causa\ 5 = F(\text{Variable } 1, \text{Variable } 3)$ [5]
- $Causa\ 1 = F(\text{Variable } 2)$ [6]

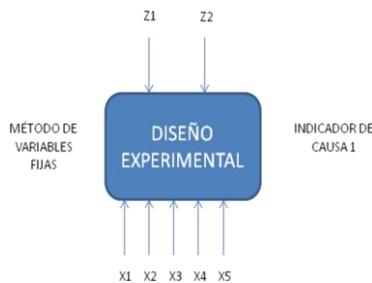
Por medio del diagrama de PARETO se establece la prioridad de las causas que se deben atacar con el fin de disminuir el mayor número de inconformidades presentes en el proceso de medición. Las causas 2, 1 y 5 representan el 77% de las no conformidades del proceso, por lo tanto analizando estos 3 elementos se puede determinar las causas de segundo orden involucradas y de este modo hacer el análisis relacional para establecer escenarios de mejora.



[1] **Figura 3. Análisis de causas identificadas, El autor.**

En el siguiente paso se analizan las subcausas de las causas principales más representativas, con el fin de comprobar la hipótesis de relación.

Estas subcausas están relacionadas con los aspectos técnicos del proceso, se debe diferenciar entre aquellas que son controlables y las que no lo son. De igual forma se deben establecer los parámetros que no pueden ser cambiados por especificaciones del diseño como es el caso de las fórmulas químicas, equipos a utilizar entre otras. En la figura 4 se muestra el esquema del diseño planteado.



[1] **Figura 4. Distribución Metodología experimental planteada.**

Para la realización del experimento se plantearon 2 fases de análisis, una fase con las variables medidas en el laboratorio y la segunda fase con las variables a nivel de piloto industrial con el fin de establecer los parámetros críticos de control y los tratamientos adecuados para cada variable con el fin de estandarizar el método.

1. La metodología a seguir para el experimento se describe a continuación:
2. Establecimiento de puntos críticos de control (Causas de no conformidades)
3. Establecimiento de los parámetros fijos del experimento (Selección de la fórmula y de la maquinaria)
4. Determinar las variables técnicas controlables y no controlables
5. Diseñar el experimento
6. Determinar las condiciones de medición
7. Analizar resultados
8. Establecer protocolo de fabricación.

2.1 Fase I

Se establecieron 5 variables con 2 estados cada una para producción de lotes de 200 gr, 300 gr y 500 gr en laboratorio.

[1] **Tabla 1. Estado de las variables analizadas.**

Variable	Estados	
	I	II
X1: Tiempo(min)	2	3
X2 Velocidad(rev/min)	4000	12000
X3: Tamaño lote	200	300
Z1: Humedad	40%	45%
Z2: Temperatura	60°C+/-2	80°C+/-2
X4: Operario	Cte	Cte
X5: Equipo	Cte	Cte

De acuerdo a la combinatoria factorial de las variables que se define como

n^K Donde n es el número de estados y K las variables. Por lo tanto el número de experimentos a realizar es de 243 para el caso.

Sin embargo se toma una muestra de experimentos a realizar de acuerdo a la siguiente fórmula propuesta por G. Taguchi.

De acuerdo a la recomendación en el diseño de experimentos robustos se recomienda para 5 factores 8 combinatorias de factores. Las seleccionadas se plantean a continuación:

[1] **Tabla 2. Combinación de experimentos realizados.**

Experimento	X1	X2	X3	Z1	Z2	E
1	I	I	I	II	II	I
2	II	II	II	I	I	II

3	I	II	II	II	I	II
4	II	I	I	I	II	I
5	II	II	I	II	II	I
6	I	II	I	I	I	II
7	I	I	II	I	II	I
8	II	I	II	II	I	II

Se incluye un sexto factor que se relaciona con la aleatoriedad natural del experimento el cual representa aquellas variables que no se tuvieron en cuenta en el diseño o que por su naturaleza no son controlables.

Los resultados para las causas 2, 1 y 5 se presentan a continuación:

[1] **Tabla 3. Resultados de los experimentos realizados y valores esperados.**

Experimento	Causa 5	Causa 1	Causa 2
1	4320	5,2	100
2	6200	6,49	100
3	9100	7,5	150
4	4890	6,54	250
5	6900	6,51	300
6	9000	6,99	450
7	4150	7,31	750
8	7100	6,49	750
Parámetro Inferior	5000	6	300
Parámetro Esperado	6000	6,5	450
Parámetro Superior	7000	7	700

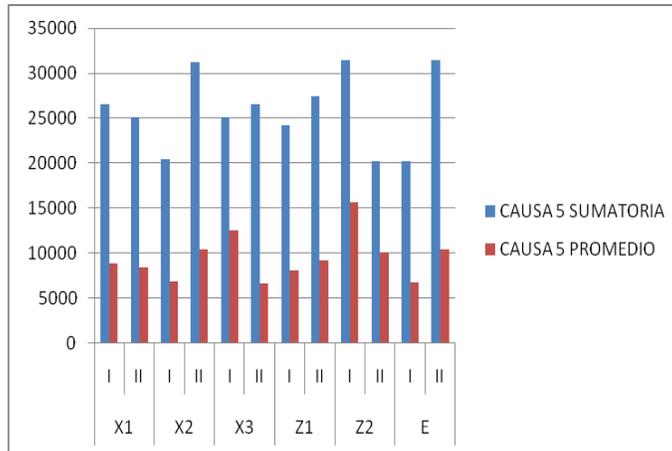
Se puede apreciar que para la causa 5, 3 experimentos estuvieron por encima de las especificaciones impuestas por el diseño, para la causa 1, 2 experimentos y 5 en el caso de la causa 2.

A continuación se presenta el análisis de los niveles para cada una de las variables con respecto a las causas de respuesta.

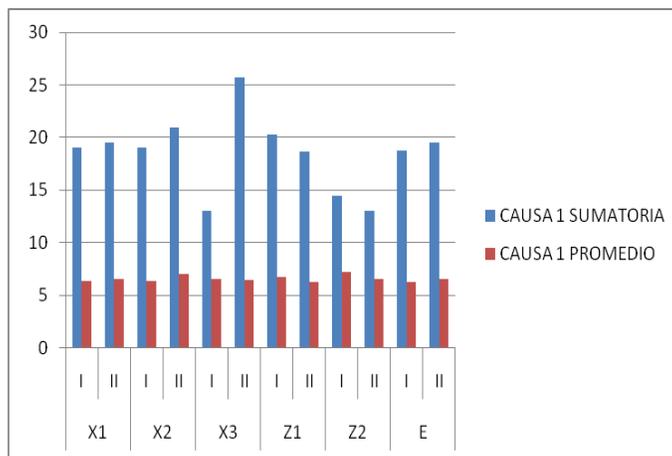
El objetivo de este análisis es visualizar el impacto de cada uno de los niveles dentro del total de variación presentada, para ello se sumaron los 4 valores de los niveles I para cada variable e igual proceso se realizó para el nivel II.

Dentro de los factores se incluyó una variable asociada al error, esta tiene como objetivo en 2 niveles mostrar la variación natural de todos los procesos.

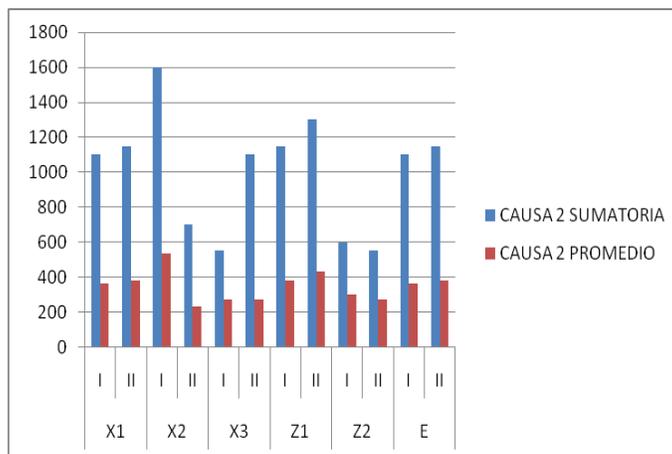
En la figura 5 se muestra los resultados para las causas 5, así mismo en las figuras 6 y 7 se muestran para las causas uno y dos respectivamente.



[1] **Figura 5. Análisis de la causa 5.**



[1] **Figura 6. Análisis de la causa 1.**



[1] **Figura 7. Análisis de la causa 2.**

Para poder encontrar la verdadera influencia de los factores analizados se realiza un análisis de varianza que parte de la suma de cuadrados para cada una de las variables y los grados de libertad.

Para obtener la suma de cuadrados se utilizó la siguiente expresión:

$$SS = \frac{(Nivel_1 - Nive_2)^2}{n} \quad [7]$$

Donde n hace referencia al número de combinaciones experimentales realizadas, en este caso 8. Los resultados obtenidos de las variables analizadas y las causas estudiadas se presentan a continuación:

[1] **Tabla 4. Sumatoria de los resultados obtenidos por causa.**

VARIABLE	CAUSA 5	CAUSA 1	CAUSA 2
X1	273800	0,0242	312,5
X2	14418450	0,49005	101250
X3	259200	19,9396125	37812,5
Z1	1264050	0,3321125	2812,5
Z2	15512450	0,2592	312,5
E	15512450	0,0722	312,5

2.2 Fase II

Con la tabla anterior se puede construir el cuadro de análisis de varianza, con el fin de identificar los factores que tienen un impacto significativo dentro de la variación presentada en el proceso.

En primera instancia se presenta el análisis de la causa menos representativa dentro de las no conformidades.

[1] **Tabla 5. Análisis de varianza para la causa 5.**

ANOVA CAUSA 5	CUADRADOS	G DE L	EST	P. VAL	F
X1	273800	1	273800	0,03530	9
X2	14418450	1	14418450	1,85895	9
X3	259200	1	259200	0,03341	9
Z1	1264050	1	1264050	0,1629	9
Z2	15512450	1	15512450	2	9
E	15512450	2	7756225	1	

Del análisis de la variabilidad presentada por los factores analizados para la causa 5, se puede concluir que ninguna de las variables analizadas presento impacto significativo en la respuesta, por lo tanto se deben analizar otras variables que estén involucradas con este tipo de causa de no conformidad.

Par la causa uno se presento el siguiente análisis de varianza:

[1] **Tabla 6. Análisis de varianza para la causa 1.**

CAUSA 1	CUADRADOS	G DE L	EST	P. VAL	F
X1	0,0242	1	0,0242	0,67036011	9
X2	0,49005	1	0,49005	13,5747922	9

X3	19,9396125	1	19,9396125	552,343837	9
Z1	0,3321125	1	0,3321125	9,19979224	9
Z2	0,2592	1	0,2592	7,1800554	9
E	0,0722	2	0,0361	1	

Se puede apreciar que las variables X2, X3 y Z1 tienen un valor significativamente alto de variabilidad lo que supone que un cambio en ellas afectará los resultados de la causal de no conformidad.

[1] **Tabla 7. Análisis de varianza para la causa 5.**

CAUSA 2	CUADRADOS	G DE L	EST	P. VAL	F
X1	312,5	1	312,5	2	9
X2	101250	1	101250	648	9
X3	37812,5	1	37812,5	242	9
Z1	2812,5	1	2812,5	18	9
Z2	312,5	1	312,5	2	9
E	312,5	2	156,25	1	

3. RESULTADOS

Las variables X2, X3 y Z1 muestran un impacto significativo sobre las causas 2 y 1, por lo que se convierten en críticas y se puede establecer una combinación ideal de ellas de la siguiente forma:

[1] **Tabla 8. Combinación de factores encontrada con el experimento.**

VARIABLE	ESTADO IDEAL	VALOR ESPERADO CAUSA 1	VALOR ESPERADO CAUSA 2
X2 Velocidad(rev/min)	4000	6,33	533
X3: Tamaño lote	300	6,42	275
Z1: Humedad	40%	6,77	433

Las variables X1 y Z2 se consideraron como aleatorias dentro del proceso por no mostrar influencia en ninguna de las causas analizadas.

Estas combinaciones de variables se llevaron a la escala productiva con el fin de establecer el impacto de las mismas dentro de las fallas presentadas en el proceso productivo. Manteniendo las demás variables consideradas como aleatorias constantes.

Sin embargo inicialmente se establecieron los resultados a nivel de laboratorio.

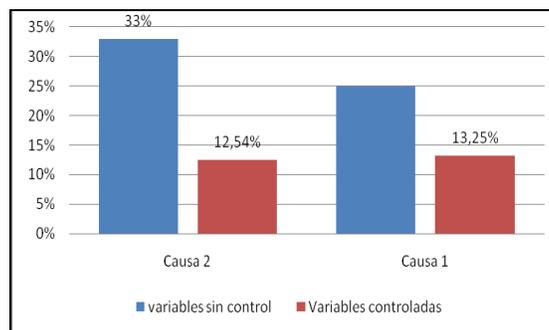
Experimentalmente el valor esperado para la producción a nivel de laboratorio se obtuvo de los promedios de los valores esperados para cada uno de los factores analizados de la siguiente forma:

[1] **Tabla 9. Valores esperados para las causas estadísticamente involucradas.**

VARIABLE	CAUSA 1	CAUSA 2
X2	6,33	533,33
X3	6,53	275
Z1	6,77	433,33
Promedio	6,54	413,89

Como se aprecia en la tabla anterior, los resultados de laboratorio se acercan al valor esperado de producción que para la causa 1 es de 6,5 y 500 para la causa 2. Encontrándose una mejora en los experimentos realizados a menor escala.

En cuanto a la producción piloto del producto, se realizó el reglaje y el protocolo de producción manteniendo controladas las condiciones encontradas experimentalmente en el laboratorio, reportando una disminución del 62% de no conformidades provenientes de la causa 2 mientras que para la causa 1 el porcentaje de mejora fue del 42% como se muestra en la siguiente figura.



[1] **Figura 5. Mejoras identificadas en el proceso.**

De esta forma se pasó de porcentajes del 33% en el caso de la causa 2 a 12,54% mientras que para la causa 1 se obtuvo un porcentaje del 13,25% cuando inicialmente estaba en 25%.

De este modo es estandarizó el protocolo de fabricación poniendo en control las variables que estadísticamente mostraban afectación en las variables de calidad del proceso. Generando una mejora en los indicadores de calidad y estableciendo una metodología para el mejoramiento de los productos existentes y los nuevos que salgan al mercado.

4. CONCLUSIONES

Las El uso de las herramientas estadísticas en la empresa se hace cada vez más indispensable a la hora de proponer soluciones coherentes desde el punto de vista técnico y viable desde el marco lógico de desarrollo del proceso.

La determinación de las variables críticas se limitó a la capacidad de análisis de la organización en el nivel de laboratorio dada la inversión en las pruebas realizadas, un análisis más robusto puede incluir otras variables del proceso y establecer réplicas del experimento con el fin de obtener información más certera del mismo.

La metodología diseñada se puede aplicar a empresas que desarrollen productos de escala laboratorio que luego deben pasar a producción industrial. Sin embargo la metodología del diseño robusto de Taguchi se puede aplicar a cualquier sector de la industria que desee establecer procesos de mejora.

Realmente el algoritmo el desarrollo planteado debe estar enmarcado en un círculo de mejora continua en el cual se estén reevaluando constantemente las variables críticas del proceso con el fin de parametrizar cada vez más el protocolo productivo.

Se recomienda hacer un análisis de límites de control y de capacidad del proceso a los productos producidos industrialmente con el fin de tener mayores niveles de análisis de las no conformidades presentadas y de las posibles oportunidades de mejora.

REFERENCIAS

- ACOPI. Cosméticos y artículos de Aseo: Sector de Clase Mundial (2006). (Consultado Abr 2009). Disponible <http://acopibogota.org.co/index.php?option=com_content&task=view&id=107&Itemid>
- REVISTA CIENCIA. Producción de Cosméticos.(2003). (Consultado Abr 2009). Disponible <<http://www.revistaciencias.com/publicaciones/EpZppZlFlAAWxEbnSf.php>>
- ANDI. Cámara de la industria cosmética y aseo. (2008). (Consultado Jun. 2009). Disponible en <www.andi.com.co/downloadfile.aspx>
- INVEST IN. Industria Cosmética. (2007). (Consultado Jun. 2009). Disponible en <<http://www.investinbogota.org/index.php?m=nodo/56>>
- PROEXPORT. Sector cosmético, Proexport Colombia (2009). (Consultado Jun. 2009). <<http://www.investinbogota.org/index.php?m=nodo/56>>
- PROEXPORT COLOMBIA. El futuro de los Cosméticos. (2006). (Consultado Ago. 2009). Disponible en <<http://www.proexport.com.co/vbecontent/library/documents/DocNewsNo10084DocumentNo7976.PDF>>
- Huamán Lucy, Salazar Flor, Aragón Pedro, Chiroque Lourdes (200) Transferencia Tecnológica y su aplicación en la fabricación de los productos Cosméticos. Área de Transferencia de Tecnología YOBEL SCM Lima-Perú
- Cosméticos y Aseo. (2003). (Consultado Ago. 2009) Disponible <http://www.dnp.en.gov.co/archivos/documentos/DDE_Desarrollo_Emp_Industria/Cosmeticos.pdf>
- Cosméticos y Aseo. (2003). (Consultado Ago. 2009) Disponible <http://www.dnp.en.gov.co/archivos/documentos/DDE_Desarrollo_Emp_Industria/Cosmeticos.pdf>-
- Cosméticos y Aseo. (2003). (Consultado Ago. 2009) Disponible <http://www.dnp.en.gov.co/archivos/documentos/DDE_Desarrollo_Emp_Industria/Cosmeticos.pdf>-
- Huamán Lucy, Salazar Flor, Aragón Pedro y Chiroque Lourdes (200) Transferencia Tecnológica y su aplicación en la fabricación. Área de Transferencia de Tecnología YOBEL SCM Lima-Perú
- Aranberri. I y Binks, J.H. (Agos2006). Elaboración y Caracterización de emulsiones estabilizadas por polímeros y agentes tensoactivos. (Vol. 7) Reino Unido: Revista Iberoamericana de Polímeros.
- T. Joseph Lin, PhD (2008). Thoubleshooting and energy conservation . E.UU. Edi Allured books .
- Oscar Álvarez, Oscar Sánchez y Jorge Gómez, (2007).Escalado de Procesos: Emulsificación. Bogotá Colombia. Universidad de los Andes

Autorización y Renuncia

Los autores autorizan a LACCEI para publicar el escrito en las memorias de la conferencia. LACCEI o los editores no son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que esta expresado en el escrito.