

Artículo No. 10. Gonzales (2017). La Fábrica como Espacio Material y Social: Apuntes de Ingeniería Industrial sobre el Problema de la Variabilidad Estadística en los Procesos y la Definición de sus Causas. Semilleros 4 (8), 118-131

LA FÁBRICA COMO ESPACIO MATERIAL Y SOCIAL: APUNTES DE INGENIERÍA INDUSTRIAL SOBRE EL PROBLEMA DE LA VARIABILIDAD ESTADÍSTICA EN LOS PROCESOS Y LA DEFINICIÓN DE SUS CAUSAS

**THE FACTORY AS A MATERIAL AND SOCIAL SPACE: NOTES OF
INDUSTRIAL ENGINEERING ON THE PROBLEM OF STATISTICAL
VARIABILITY IN PROCESSES AND THE DEFINITION OF THEIR
CAUSES**

Gonzales V. Marcos¹

Resumen. El objetivo de este caso de estudio es presentar un enfoque metodológico básico donde la descripción y análisis estadístico de atributos de un proceso productivo se combinan con el trabajo de campo cualitativo para brindar una explicación al problema de la variabilidad en las especificaciones del producto. En general, se propone que la producción industrial no se limita a ser un fenómeno físico de transformación de materiales en productos, sino que es un campo de relaciones socio-económicas insertas en una dinámica de mercado. La fábrica, no solo produce “cosas”, sino que además “relaciona” personas en función de sus posiciones en la estructura organizacional, asimismo estas relaciones configuran el valor del trabajo a nivel social. Entre los resultados principales del caso analizado, destaca que a pesar de que la tendencia central no lograba cumplimiento de la especificación, la baja variabilidad indicaba que el proceso tenía un control desde la perspectiva de los operarios.

Palabras Clave. Estadística, ingeniería industrial, método, fábrica, proceso.

Abstract. The objective of this case study is to present a basic methodological approach where the description and statistical analysis of attributes of a productive process are combined with the qualitative field work to provide an explanation to the problem of variability in product specifications. In general, it is proposed that industrial production is not limited to a physical phenomenon of transformation of materials into products, but is a field of socio-economic relations embedded in a market dynamics. The factory, not only produces things, but also relates people according to their positions in the organizational structure, and these relationships shape the value of work at the social level. Among the main results of the analyzed case, it emphasizes that although the central tendency did not comply with the specification, the low variability indicated that the process had a control from the perspective of the operators.

Key Words: Statistics, industrial engineering, method, factory, process.

¹ Universidad de Costa Rica, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Industrial, San José, Costa Rica. marcogonzalezviquez@gmail.com

INTRODUCCIÓN

Latinoamérica, como región histórica, tiene particularmente la capacidad de construir realismos mágicos con casi cualquiera de las disciplinas científicas y tecnológicas occidentales. Las ingenierías no escapan a esta dinámica. No es que la teoría falle ante la realidad, sino que la(s) realidad(es) son teoría en sí mismas. Por tanto, la perspectiva cultural de cualquier actividad económica, es necesaria en cualquier esfuerzo de investigación, especialmente en el campo de la ingeniería industrial, donde nos especializamos en diseñar los “procesos” de las “organizaciones”.

El asunto de la variabilidad constituye un problema prioritario, pues en buena parte del mundo “moderno”, el conjunto interrelacionado de sistemas económicos locales y globales (Friedman, 2001), valora la fuerza de trabajo en función de las unidades “correctamente generadas” en un tiempo determinado bajo condiciones específicas de repetibilidad y reproducibilidad. Hablamos de la noción de la fábrica como “espacio” específico de la producción económica capitalista.

Por ahora, entre sus múltiples atributos, prestaremos especial atención a la idea de ésta como espacio socialmente producido (Lefevbre, 1991). Es decir, más que un contenedor de objetos, es un mapa de relaciones socio-económicas. Por tanto, es de esperar que sus dinámicas cotidianas generen juicios de valor a partir de los resultados “estadísticamente significativos” sobre sus especificaciones. No obstante, todo esto es operativamente inútil sin un aproximado conocimiento del contexto entre personas y artefactos. De ahí la necesidad de un abordaje antropológico del dato numérico de la producción que permita aportar sentido práctico a las tendencias observadas a través de los instrumentales estadísticos.

El objetivo de este caso de estudio es presentar un enfoque metodológico básico donde la descripción y análisis estadístico de atributos de un proceso productivo se combinan con el trabajo de campo cualitativo para brindar una explicación al problema de la variabilidad en las especificaciones del producto. Se resaltan hallazgos que cuestionan, contrario a nociones generalizadas, que la capacidad humana es la causa principal en la variación, también puede suceder lo contrario: es posible una mínima variabilidad a partir de decisiones colectivas entre los sujetos de la producción (la categoría “operario” en este caso) incluso, ante condiciones materiales adversas.

La discusión que se presenta proviene de la sistematización del diario de campo del autor en su experiencia como coordinador de la Cátedra de Probabilidad y Estadística del Programa de Ingeniería Industrial de la Universidad de Costa Rica desde el 2014. Los datos y el contexto son reales y sucedidos en el 2014, se omite el nombre de los operarios y la empresa para guardar su confidencialidad.

El documento se compone de cinco apartados. El primero expone una discusión teórica sobre la fábrica como espacio social, luego se presenta el caso de estudio del peso de un producto industrial (goma blanca envasada) en un proceso semi-automatizado. La tercera parte realiza un análisis estadístico descriptivo básico, donde se hace énfasis en el proceso metodológico del tratamiento de datos, para continuar con un apartado de análisis cualitativo y finalmente se presentan reflexiones finales sobre el aprendizaje en ingeniería industrial.

LA FÁBRICA COMO ESPACIO MATERIAL Y SOCIAL

¿Qué es una fábrica? Según la Real Academia Española se define como un “establecimiento dotado de la maquinaria, herramienta e instalaciones necesarias para la fabricación de ciertos objetos, obtención de determinados productos o transformación industrial de una fuente de energía” (RAE, 2016). En términos básicos, esta definición permite entenderla como un “lugar”. No obstante, podemos aportarle la idea de que cómo lugar de un suceso económico, se compone además de una “racionalidad utilitaria” (Hinkelammert, 2003) que determina la toma de decisiones de los sujetos presentes en la misma. Es decir, la fábrica no solo produce cosas, sino que además relaciona personas en función de sus posiciones en la estructura organizacional, asimismo estas relaciones configuran el valor del trabajo a nivel social (Marx, 2010).

En este sentido, podríamos proponerla como uno de los espacios donde “sucede” el fenómeno llamado “producción”, y por tanto, objeto de estudio indiscutible de la ingeniería industrial. Sin embargo, esta disciplina no inventó las fábricas ni su concepto, sino que ambos son resultados históricos del modo de producción capitalista. Asimismo, la ciencia y tecnología han tenido un papel fundamental en las “formas” de estos espacios, desde la producción en masa (fordismo) a principios del siglo XX, los enfoques posteriores a la Segunda Guerra Mundial (Justo a tiempo y Producción Ajustada Lean) hasta la manufactura robótica de siglo XXI. En general, se puede afirmar que la fábrica ha sido tradicionalmente un objeto de conocimiento material y social para las ciencias, por lo que aún en una etapa básica como un curso de probabilidad y estadística para ingeniería, no debería pasarse por alto que la información a generar, ya sea por métodos cuantitativos o cualitativos (Gurdián, 2010) y su respectiva recomendación de acciones, suceden dentro de un espacio “socialmente producido”. Es decir, la fábrica no es un espacio natural, por tanto, a pesar de mantenerse dentro de los fenómenos de la física, es resultado de interacciones culturales.

En los orígenes de la ingeniería industrial, F.W Taylor (1903) comprendió muy bien que era posible una administración científica del trabajo mediante los principios de

- a) Sustitución del empirismo por una ciencia.
- b) Selección racional del obrero en lugar de que éste seleccione su oficio.
- c) Cooperación cordial entre partes.
- d) Distribución equitativa del trabajo y responsabilidades entre administración y obreros (Taylor, 1975).

A pesar de su aporte fundante a la ingeniería industrial, este enfoque cometió el error de suponer “naturales” las decisiones individuales y colectivas entre los grupos que componen la fábrica. De ahí que lo “empírico” sobrevive hasta hoy como una especie de “mala palabra en ingeniería”, obviando el hecho de que el trabajo es un fenómeno humano, es decir, diverso en sus manifestaciones y prácticas, histórico, identitario e ideológico.

Un caso particularmente importante para estudiantes de ingeniería industrial es el estudio Hawthorne realizado por Elton Mayo en Chicago entre 1927 y 1932 (Roca, 1998). El motivo principal de la investigación, patrocinada por el Instituto Rockefeller de la Universidad de Harvard, era básicamente evaluar los principios de esta administración científica de Taylor. En específico, se buscó explorar las relaciones entre condiciones físicas de trabajo y productividad laboral, además de los posibles efectos a partir de cambios inducidos: descansos, incentivos salariales, mejoras ergonómicas, así como entender la relación entre fatiga y monotonía (Roca, 1998). Los primeros resultados “demostraron estadísticamente”

que, a pesar de las mejores condiciones introducidas en los entornos de trabajo, los obreros no eran “más productivos” y se llegó, inicialmente, a afirmar que el obrero era por naturaleza “estúpido”, “económicamente no racional” (Roca, 1998, pág. 73). Posteriormente, se incorpora al estudio el antropólogo W. Lloyd Warner, quien pediría que se repitieran los experimentos, pero esta vez “observando” el comportamiento cultural de los obreros no solo en la planta de producción, sino además en su entorno “familiar”. Warner encontró que la baja productividad de los operarios, a pesar de las mejoras introducidas en las plantas, era una decisión colectiva y racional (no estúpida como creían los anteriores investigadores). En medio de la primera crisis del capitalismo (la gran depresión de 1930), si un solo individuo mejoraba su productividad, ésta ya no sería un logro, sino que se convertiría en estándar, poniendo en riesgo el empleo de aquellos “compañeros” que no pudieran lograrlo.

Por tanto, el conjunto de obreros, que no solo compartían el trabajo, sino eran vecinos y familiares, mantenía una fuerte presión de grupo para no subir los niveles de productividad, pues era conocido que quien perdía su empleo, arruinaría su vida completamente. Ante este resultado, surgió el concepto del “efecto Hawthorne”, del cual se deriva que la productividad del trabajo no solo responde a los elementos propios del puesto, sino además a la conformación de relaciones sociales entre sujetos “iguales”, es decir, el grupo.

Ahora, si la fábrica es un “espacio”, ¿qué es espacio?

Históricamente, las primeras nociones de espacio en la ciencia estuvieron marcadas por las perspectivas cuantitativas. Hasta mediados del siglo XX fue definido desde las matemáticas, la geografía y la física, lo cual le daba un carácter absoluto de contenedor de los objetos naturales y culturales. No obstante, en un contexto donde hasta el más recóndito lugar del planeta forma parte del valor del sistema capitalista, el espacio no se entiende únicamente como un elemento estático y neutral, apareciendo así su papel en la conformación de relaciones sociales y con el entorno (González M., 2104). En el cambio de paradigma sobre este concepto, se dice que la producción de espacio ha sido siempre una función inherente de toda cultura. Hoy en día es difícil hablar de un espacio natural, pues prácticamente la humanidad ha transformado toda noción de naturaleza. Desde las ciudades más densamente pobladas hasta los campos rurales, todos son sitios con una historia del espacio creado en el marco de los contextos culturales. En este sentido, se le atribuye al sociólogo francés Henry Lefebvre la teoría de la “producción social del espacio” (Lefebvre, 1991), la cual, enmarcada en una corriente marxista, propone básicamente que el espacio es producido socialmente, cada modo de producción económica tiene su propia forma de espacio social (González, 2015). Además, el espacio se puede entender desde tres perspectivas:

- a) Las prácticas espaciales, es decir la producción y reproducción de lugares específicos, el espacio percibido, sensible, físico.
- b) Las representaciones sobre los espacios, que consiste en espacio abstracto, más relacionado con los imaginarios y representaciones sociales.
- c) Los espacios de representación que se asocian a la noción de espacio relacional.

¿Qué tiene que ver esto con ingeniería industrial?

Conforme se avanza en los cursos de la carrera, se verá cómo hay múltiples herramientas destinadas a “mapear” los procesos para identificar sus “oportunidades de mejora”, desde su distribución espacial, la secuencia de sus actividades, el diseño de los puestos, la logística, hasta la programación de operaciones, etc., siendo el tema del control eficiente y eficaz del “flujo” un problema fundamental. Hablamos por tanto de la fábrica como un espacio diseñado por la ingeniería industrial.

En este sentido, la fábrica tiene manifestaciones fenomenológicas multifactoriales con atributos medibles y por tanto posibles de analizar estadísticamente, pero que, además, dependen del tiempo, lo que implica una dimensión probabilística o estocástica. Asimismo, se compone de acciones a partir de las relaciones sociales establecidas. Esto hace que variables como el peso de un producto no sean categorías únicamente explicadas por leyes físicas sino también resultado de “decisiones” entre sujetos racionales insertos en una estructura social.

Teniendo esto claro, se propone entonces que el aprendizaje de la probabilidad y estadística en ingeniería industrial, se diferencie de las demás ingenierías por este carácter dual que presenta la categoría “fábrica”.

A continuación, se describe el caso de estudio sobre el cumplimiento de especificaciones del peso de un producto industrial.

El Caso de Estudio: Especificación del Peso de Goma Líquida en un Envase de 4 Kg.

En teoría, todo estudiante conoce y utiliza las “horas de consulta” con los y las docentes de sus cursos. En mi experiencia, muchas veces las preguntas no se tratan sobre un concepto o definición, eso puede estar bastante claro, sino que es un asunto de método, de “¿cómo le hago?” para aplicar la teoría a una realidad que se resiste al estudio y su orden. Podrían llamarse episodios de ansiedad metodológica.

En junio del 2014, ya bastante avanzado el semestre, un grupo de estudiantes llegó a mi oficina para narrarme su situación y consultar qué opciones tenían. Casi todos los cursos del programa de licenciatura en ingeniería industrial de la Universidad de Costa Rica implican “proyectos en empresa” donde se aplican sistemáticamente las herramientas vistas en clases.

Uno de éstos se enfoca en la medición de variables de calidad de procesos y productos, las llamadas especificaciones.

El equipo realizaba su proyecto en una empresa de capital extranjero con más de 15 años en el país. Se enfocaron en un proceso semi-automatizado para llenado de envases con goma blanca en presentación de 4.000 gramos. Este es un producto típico para el trabajo con madera o albañilería, se comercia frecuentemente en ferreterías o depósitos de construcción. La máquina contenía la goma y los operarios colocaban el envase en la posición respectiva, luego mediante un botón, accionaban el llenado automático en las cantidades previamente programadas. A manera de ejemplo, se muestra en la figura siguiente un diagrama de nivel 0 del procedimiento descrito. En la Figura 1 se muestra el diagrama de nivel 0, procedimiento de llenado.

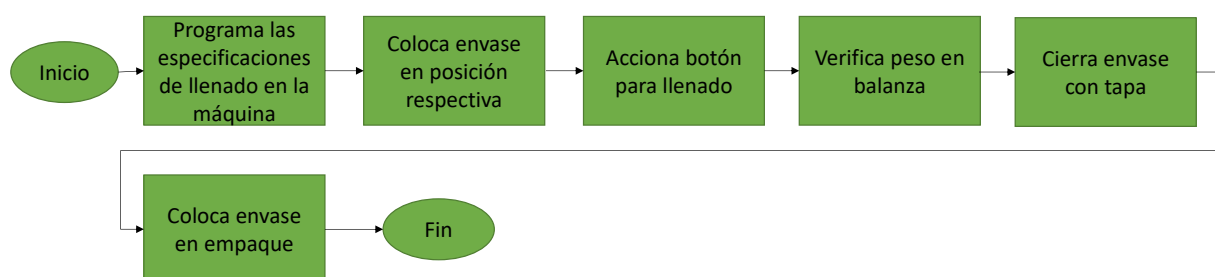


Figura 1: Diagrama de nivel 0 Procedimiento de llenado

La especificación de calidad expresaba que la media poblacional debía ser igual a 4.000g con una desviación estándar máxima de + 50g. Esto se basaba en el requerimiento normativo de no superar un 1,25% del peso indicado según la presentación.

Junto con 6 operarios, los estudiantes habían logrado tomar muestras para 6 lotes de producción con 131 unidades cada uno y ya estaban listos para realizar los gráficos de control de calidad (Montgomery, 2009) y así analizar estadísticamente si se estaban cumpliendo las especificaciones o evidenciar las causas asignables de las “unidades no conformes” con el fin de determinar mejoras, ya fuera en los métodos, los materiales, diseño de puesto, etc.

Una semana después, al regresar a la planta de producción para continuar los muestreos, se encontraron con un candado enorme en el portón y la noticia de que la compañía había repentinamente cerrado, despedido a sus empleados y trasladado sus operaciones a un país asiático. Ese día entraron a mi oficina con la incertidumbre de qué hacer con el proyecto en esa situación y en un momento demasiado avanzado del semestre como para volver a empezar, su peor temor era perder el curso.

Después de escuchar su narración, les pregunté si tenían apuntes de campo, observaciones del proceso productivo, de forma que nos sirvieran para contextualizar “la escena”. Si los datos estadísticos eran fiables, podríamos hacer inferencia de las razones por las que posiblemente la empresa decidió irse.

Afortunadamente los estudiantes mantenían registradas una serie de observaciones tomadas mientras medían los pesos, además, habían tomado la excelente iniciativa de entrevistar a los operarios sobre su perspectiva del proceso y guardado todo en un diario de campo.

La pregunta ya no era si se cumplía o no el peso, sino que a partir de su comportamiento estadístico y relacionado con el trabajo cualitativo se intentaba hacer una interpretación del verdadero problema en esta “fábrica que se fue”.

Según el equipo de estudiantes, la empresa tenía una maquinaria, que, si bien es cierto, incorporaba algunas soluciones automatizadas como el llenado, también presentaba cierta antigüedad (al menos 15 años) y con una evidente falta de ingeniería de mantenimiento. Además, el personal tenía varios años de antigüedad en la empresa, por lo que conocía a profundidad el proceso. En palabras de los operarios, “a las máquinas nada más se les saca y saca. Aquí llega la orden de producción y ¡póngale a terminarla!, porque viene otra”.

Es posible imaginar un ritmo de producción en masa al estilo “tiempos modernos” de Charles Chaplin (1936), con el operario como la extensión de la máquina, solo que en Costa Rica y en siglo XXI.

Decidimos realizar un análisis de estadística descriptiva básico y cotejarlo con las observaciones en campo. Los resultados serían expuestos como una contextualización de la empresa y así los estudiantes podrían continuar su proyecto, al menos en forma de caso.

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA: UNA PROPUESTA INTRODUCTORIA

La revisión bibliográfica del programa de probabilidad y estadística (II-306) para ingeniería industrial (Gómez, 2014, págs. 200-421), (Nieves & Domínguez, 2010, págs. 39-159), (Gutiérrez, Dennis, & Dewar, 2014, págs. 166-196) sugiere que las herramientas básicas de estadística descriptiva pueden resumirse en tres dimensiones: **a) tendencia central, b) dispersión y c) forma**, tanto para datos agrupados como simples. Nos interesa identificar patrones en las concentraciones de datos, su variación y si presentan formas aproximadamente simétricas o no. En general, a partir de estas perspectivas se puede establecer un *análisis cuantitativo* inicial del fenómeno bajo estudio.

Tendencia central	Dispersión	Forma
<ul style="list-style-type: none">• Media• Moda• Mediana• Percentiles	<ul style="list-style-type: none">• Rango• Desviación estándar• Coeficiente de variación• Rango intercuartil	<ul style="list-style-type: none">• Histogramas• Polígonos de frecuencia• Ojivas• Gráficos de caja• Curtosis

Figura 2: Clasificación de herramientas de estadística descriptiva según dimensión

ANÁLISIS GRÁFICO

Douglas Montgomery, un reconocido profesor de estadística y diseño de experimentos en Estados Unidos, propone que antes de cualquier cálculo, es pertinente graficar los datos y observar que sugieren desde las perspectivas de tendencia central, dispersión y forma; le llama análisis gráfico (Montgomery, 2004). El uso de histogramas y gráficos de caja (Gómez, 2014) es particularmente útil en esta primera etapa. Con la ayuda de software estadístico (en este caso Minitab 17) se muestran los resultados para los 6 lotes de producción muestreados por el equipo de estudiantes (recuerde que cada lote fue realizado por un operario diferente).

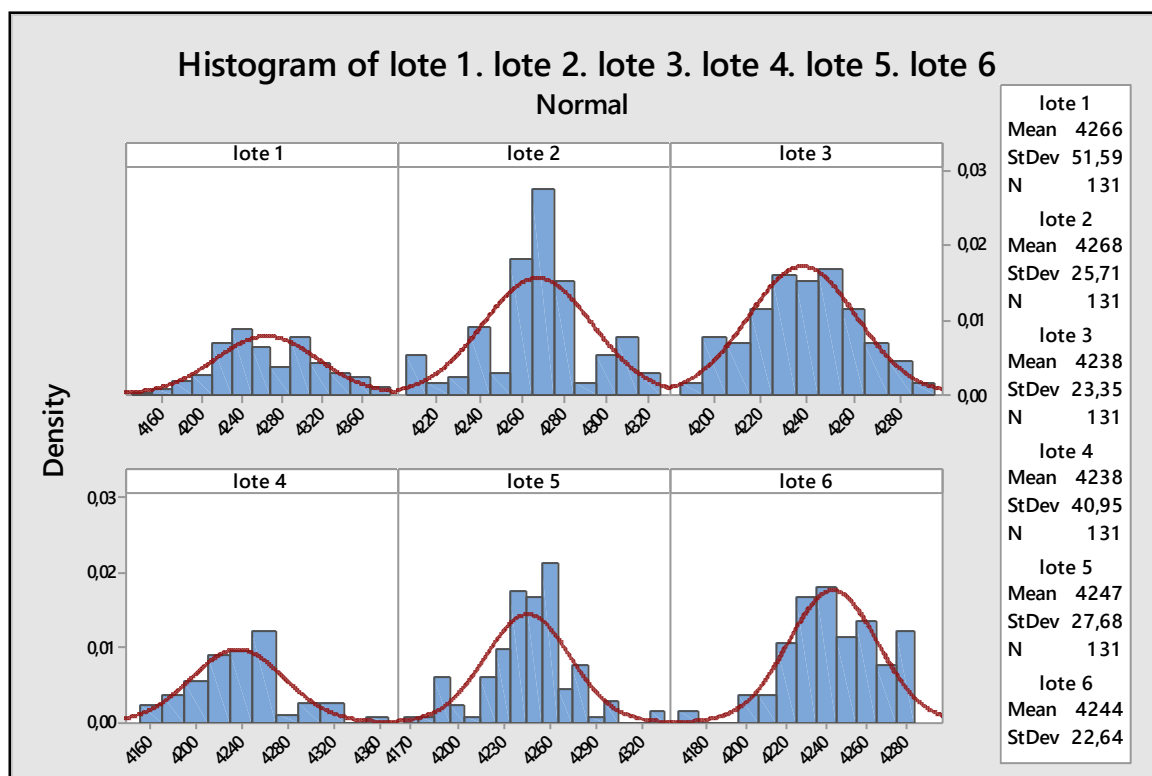


Figura 3: Histogramas de los 6 lotes muestreados

¿Qué Sugieren los Histogramas Sobre la Tendencia Central de los Datos?

Puede observarse que ningún lote está cercano al rango de especificación entre 4.000 + 50 gramos, de hecho, todos superan entre 244 y 268 gramos a la media poblacional requerida. A primera vista, se podría esperar un problema por sobrepeso de producto representado en pérdidas económicas para la empresa. Aproximadamente por cada 15 envases con este comportamiento “promedio” en su peso, se estaría “regalando” al mercado el equivalente a una unidad del producto. Si en un día se producen por ejemplo 100 unidades, la pérdida equivale entonces al 6% de la producción diaria.

Esencialmente la preocupación que sobresale aquí es por la pérdida de ganancia en el valor de cambio de la mercancía al momento de su venta, y no por su valor de uso, pues la goma sigue siendo la misma, con un poco más de cantidad que lo impreso en la etiqueta.

El trabajo necesario para su producción es básicamente el mismo en términos de operarios y maquinaria e incluso en energía, no obstante, cada venta de este producto contiene una noción de “pérdida” de valor.

A pesar de lo anterior, ¿que se observa en la dispersión y la forma? Excepto por el primer lote que excede en 1,59 gramos, las desviaciones estándar de los demás muestreos están por debajo de los 50 gramos. Además, se nota una clara simetría alrededor de la media con una forma acampanada, conocida como distribución normal (Walpole, 1999).

Tenemos de esta manera un comportamiento gráfico que se aleja significativamente de las especificaciones, pero con muy poca variabilidad y forma “normal”, es decir, las pérdidas por sobrepeso no estarían condicionadas al azar, sino que se debían reproducir por algún tipo de actividad repetitiva. Esto llamó nuestra atención, por lo que continuamos con los diagramas de caja.

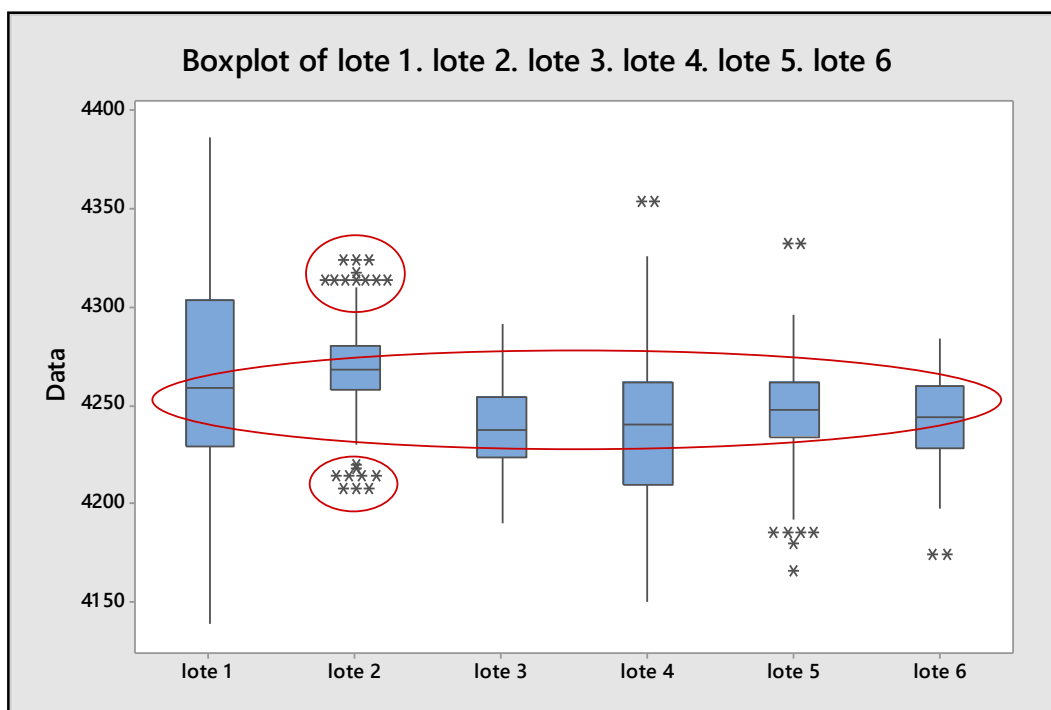


Figura 4: Diagramas de caja de lotes muestreados

El diagrama de caja (Gómez, 2014) es una herramienta visual muy atractiva por su facilidad para incorporar atributos gráficos para las tres dimensiones mencionadas en la descripción estadística. Los extremos de la línea constituyen el rango de las observaciones, el ancho de la caja representa el rango intercuartil (Nieves & Domínguez, 2010) y la línea adentro es la mediana (Gómez, 2014). Los puntos en asterisco son conocidos como datos atípicos y se obtienen mediante una prueba estadística que sugiere buscar causas asignables para estos datos, pues se consideran “no usuales”.

¿Qué se infiere de los gráficos de cajas para los lotes muestreados? Primero, se observa que la tendencia central a partir de las medianas se concentra aproximadamente alrededor de 4.250 gramos y que los rangos intercuartiles son relativamente bajos y parecidos entre sí (excepto por el lote 1), entre 22 y 77 gramos.

Además, en todos los casos la línea que representa la mediana está cercana al centro de la caja, lo que sugiere forma simétrica en la distribución de los datos (y coincide con lo visto en los histogramas). Adicionalmente los lotes 2, 4, 5 y 6 presentan datos atípicos por ambos lados de la caja, es decir, hay envases con pesos atípicamente menores o mayores al rango normal, no obstante, lo “atípico” es algo que debe demostrarse con observaciones empíricas del proceso.

En resumen, el análisis gráfico habla de un problema de desviación de la tendencia central por 256 gramos de excedente en promedio con respecto al valor especificado (4.000 g), junto con una variabilidad relativamente baja y parecida entre lotes (y nótese también entre operarios).

A partir de esto, se puede continuar con el cálculo de los estimadores de cada dimensión.

ANÁLISIS CON ESTIMADORES ESTADÍSTICOS

La salida del resumen gráfico del programa Excel brinda valores para los principales estimadores estadísticos en tendencia central, dispersión y forma. Se añade el coeficiente de variación (la razón entre desviación estándar y media) por su atractivo interpretativo. El cuadro a continuación muestra los resultados para los datos “puros”, es decir, no agrupados (Gómez, 2014).

Tabla 1: Resumen estadístico

Dimensión	Estimador	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 4	Lote 5	Lote 6	Promedio
Tendencia Central	Media	4.266,49	4.267,91	4.238,30	4.237,79	4.246,52	4.243,68	4.250,11
	Mediana	4.258,69	4.268,00	4.238,00	4.240,00	4.248,00	4.244,00	4.249,45
	Moda	4.218,00	4.270,00	4.228,00	4.220,00	4.244,00	4.228,00	4.234,67
Dispersión	Desviación estándar muestral	51,59	25,71	23,35	40,95	27,68	22,64	31,99
	Varianza muestral	2.661,06	661,22	545,32	1.676,52	766,01	512,79	1.137,15
	Coeficiente variación	1,21%	0,60%	0,55%	0,97%	0,65%	0,53%	0,752%
	Rango	247,66	116,00	102,00	204,00	166,00	110,00	157,61
	Mínimo	4.139,12	4.208,00	4.190,00	4.150,00	4.166,00	4.174,00	4.171,19
	Máximo	4.386,78	4.324,00	4.292,00	4.354,00	4.332,00	4.284,00	4.328,80
Forma	Kurtosis	-0,43	0,28	-0,63	0,21	1,29	0,15	0,14
	Cuenta	131	131	131	131	131	131	131,00
	Suma	558.909,58	559.096,00	555.217,00	555.150,00	556.294,00	555.922,00	556.764,76
Productividad	# unidades si peso = 4000	139,73	139,77	138,80	138,79	139,07	138,98	139,19
	Pérdidas (en unidades monetarias)	8,73	8,77	7,80	7,79	8,07	7,98	8,19
	Total pérdidas (en unidades monetarias)	49,15						

Con respecto a los estimadores de tendencia central, se observa que las medias y medianas son cercanas entre sí y las modas son levemente menores, no obstante, en general las tres métricas están aproximadamente entre 218 y 270 gramos arriba de la especificación. Esta “similitud” entre media, moda y mediana sugiere un comportamiento normal de la distribución de datos, es decir, acampanado y simétrico con respecto al centro. Si fueran significativamente diferentes, es preferible interpretar los resultados para la mediana o moda, pues la media posiblemente estará sesgada (Walpole, 1999).

La dispersión, por el contrario, presenta un comportamiento mejor incluso que lo especificado. Por ejemplo, 5 de los 6 lotes tienen desviaciones estándar menores a 50 gramos, mientras que el coeficiente de variación en todos los lotes (y operarios) es menor a 1,21%, lo cual se puede considerar bajo incluso para estándares transnacionales. Esto permite inferir que usualmente el proceso agrega los mismos 250 gramos de más.

Un análisis de productividad manifiesta que en promedio por sobrepeso se desperdician 8,19 unidades por lote, es decir, 49,15 para el muestreo total. Si ese es el comportamiento general de la empresa, ¿sería esto razón suficiente para trasladar operaciones? Depende del costo de corregir el sistema para ajustar el promedio real a 4.000 gramos.

Ahora, tratemos de invertir la perspectiva. Podemos ver la situación como un proceso que está fuera de especificaciones promedio, pero ¿hacia dónde está el esfuerzo neto del trabajo entre operarios y máquinas? Es decir, ¿el sistema “empuja” hacia arriba o abajo el peso de los productos? Eso no lo puede responder la estadística descriptiva directamente, son necesarias observaciones de campo, pero la pregunta sugiere que cualquier interpretación anterior podría ser reinterpretada a partir de esta idea.

A manera de preguntas de discusión, ¿considera que la empresa conocía esta situación? (puede ser necesario discutir antes “¿quiénes” forman parte de la empresa y cómo se relacionan?) ¿Qué se podría haber necesitado para “conocer” la información correcta sobre el problema? ¿La decisión de cerrar estaría motivada por las pérdidas de sobrepeso que

evidencia el proceso? ¿Por qué no se corrigió el problema con aplicaciones de ingeniería industrial?

En principio habría que reconocer que la producción mercantil es un fenómeno multifactorial, por lo que constituye un error anticipado cualquier conclusión reduccionista. Si bien es cierto, el peso “de más” (250 gramos en promedio) en cada unidad producida es una pérdida económica para la empresa, no debe olvidarse que lo es en la medida en que se trata de una unidad que ha sido “vendida”, es decir, se ha llevado a cabo la relación de intercambio, de otra forma es inversión de “trabajo” (manual y automatizado) en forma de dinero “potencial” (inventario de producto).

Para la ingeniería industrial, un principio fundamental consiste en que el proceso sea exitoso en su totalidad; como cadena de valor, el óptimo global es más que la suma de las partes (como en este caso, de nada sirve cumplir especificaciones sino se logra la venta, algo que posiblemente los operarios conocen muy bien). Implica que el aporte de la estadística descriptiva e inferencial debe tener la capacidad de servir de conocimiento integrado acerca de:

- a) Los atributos del espacio productivo (contexto).
- b) Las relaciones entre sujetos, sistemas y materiales (modelo organizacional y procesos).
- c) Brecha con respecto a especificaciones o expectativas.
- d) Las tendencias entre capacidad/demanda de los recursos (modelado estadístico).

EL ASUNTO DEL MÉTODO REAL VERSUS EL PROCEDIMIENTO: APORTES DESDE EL TRABAJO DE CAMPO CUALITATIVO

Un instrumento sumamente valioso en ingeniería industrial lo constituye el estudio de métodos, definido como “el registro sistemático y examen crítico de los modos de realizar actividades, con el fin de efectuar mejoras” (Kanawaty, 1996, pág. 19). Usualmente, mediante diagramación de actividades, tareas y elementos básicos de movimiento, el o la analista del trabajo “estudia” científicamente el proceso. No obstante, hay que reconocer que este ejercicio reflexivo no es exclusivo de ingenieros(as) industriales, sino que también es parte de la dinámica cotidiana de los miembros de una organización. La diferencia radica en que se le llama procedimiento estándar al método que es diseñado por la administración y suele denominarse despectivamente como “empírico” a las formas en las que los operarios(as) estructuran y razonan sus actividades.

En todos los años que fui estudiante de ingeniería industrial debo reconocer que las mejores soluciones a los problemas de producción no salieron de los best seller de los gurús en ingeniería, ni tampoco fueron “ocurrencias” de genio derivadas de análisis estadísticos. Por el contrario, fue siempre a partir del trabajo de campo cualitativo (estar ahí) como nos dábamos cuenta que los problemas y posibles soluciones eran parte de la cotidianidad de los participantes directos del proceso, los operarios.

En este caso, recordemos que nuestro principal hallazgo se refería a una tendencia central “fuera” de la especificación media, pero con una variabilidad menor a la requerida. ¿Cómo entender esto en la práctica? ¿Era un resultado de las máquinas, un error “humano” o ambos?

La aplicación de entrevistas y observación (Gurdián, 2010) del equipo de estudiantes tenía un aspecto que a la hora del análisis llamó nuestra atención. Los operarios, de alguna manera, estaban conscientes de los problemas de mantenimiento que tenían las máquinas, pero no estaba en su alcance solucionar algo que correspondía a otros niveles organizacionales. A pesar de esto, debían continuar día a día con órdenes de producción específicas y que por supuesto debían cumplir los aspectos mínimos para ser “unidades vendibles”. Es decir, su preocupación no estaba en las estadísticas de pérdidas por exceso de producto, sino en lograr completar su día con éxito en la medida que su “fuerza” de trabajo se traduce en “mercancía”.

Sabiendo que el problema del sistema era la inestabilidad para llenar 4.000 gramos, pues con frecuencia se provocaban derrames (imagine el escenario de lidiar con una máquina que desperdicia goma blanca, la cual como líquido es más problemática que el agua por ejemplo), conscientemente modificaron el nivel de llenado automático del sistema para que llenara “menos” de la especificación, y entre todos los operarios ponían una marca en los envases para saber más o menos “donde” eran los 4.000 gramos. Posteriormente, mediante un contenedor de goma y con un recipiente “echaban” a mano lo que consideraban faltaba para alcanzar la marca en el envase y así ser una unidad “correcta”.

Esto implica que los 250 gramos de más que en promedio excedieron a todas las líneas muestreadas, eran en realidad un esfuerzo colectivo y razonado de los operarios por estabilizar la producción, los coeficientes de variación relativamente bajos (menores a 1%) corresponden no a la precisión de la máquina, que ya vimos se calibró para llenar menos, sino que se debió a la intervención del grupo de operarios. Eso implica que, en su afán por lograr las órdenes de producción, se generó un “método empírico”, el cual, a la luz de las especificaciones, excedía la media, pero que lograba una unidad finalmente vendible e igual a todas las demás.

Dado este hallazgo del trabajo cualitativo, ¿cómo interpreta ahora el análisis estadístico? Note que el mismo resultado estadístico puede afirmar conclusiones diferentes dependiendo de en cuales manos se encuentre la información. Lo que parecía un desperdicio con pérdidas económicas, se puede ver ahora como una estrategia de adaptación y sobrevivencia operativa a la ausencia de una adecuada administración de los procesos.

CONCLUSIONES: REFLEXIONES ACERCA DEL APRENDIZAJE EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

En general, los resultados analizados en el caso de estudio anterior demuestran que el conocimiento de la variabilidad y sus causas en procesos industriales, no se puede limitar al conjunto de estimadores estadísticos para las variables “físicas”, como el peso. Debido al contexto social que implica la fábrica, las relaciones sociales entre sus colaboradores determinan el contenido cuantitativo de la productividad.

Contrario a nociones generales, la participación humana en la producción no solamente influye con mayor variabilidad, también puede suceder lo opuesto: un conjunto de operarios motivados en extremo a mantener niveles de aceptabilidad de su trabajo diario, hace que el comportamiento “promedio” se aleje del ideal según la capacidad mecánica del proceso, pero

logra a su vez una dispersión significativamente baja, menor incluso a la esperada. Su empleo posiblemente dependía diariamente de esto, no obstante, a la vez, la administración puede que nunca se diera cuenta de este hallazgo.

No sabemos las razones específicas por las que la empresa decidió irse, pero al menos sí es posible acercarse al modelo de métodos que explicó el comportamiento del peso, siendo que los problemas de calidad que se presentaron, podrían (quizá) haber sido peores sin esta decisión adaptativa del grupo de operarios. Lo interesante es ver cómo las mismas estadísticas sin el contexto, pueden sugerir percepciones opuestas.

Este riesgo es muy frecuente en la ingeniería industrial y por eso la importancia de entenderlo desde muy temprano en la formación académica.

Vemos que la producción industrial no se limita a ser un fenómeno físico de transformación de materiales en productos, sino que es un campo de relaciones socio-económicas insertas en una dinámica de mercado.

Este caso intenta ampliar las perspectivas con las que se inicia un estudiante de ingeniería industrial en el tema del procesamiento cuantitativo de información proveniente de este espacio llamado fábrica. No se pretende establecer un método genérico ni tampoco atribuirle al enfoque cualitativo una suerte de magia que descubre enigmas del comportamiento humano. Se trata de fortalecer la comprensión de los procesos económicos como fenómenos multifactoriales y esencialmente “humanos”, lo que implica diversidad, identidad e historia. De esta forma, la estadística adquiere mayor sentido cuando el número, es hasta donde se logre, un “dato contextualizado”.

REFERENCIAS

Diccionario de la Real Academia Española. (03 de 03 de 2016). [www. Obtenido de Sitio Web de la Real Academia Española: http://dle.rae.es/?id=HRJIIp7.com](http://dle.rae.es/?id=HRJIIp7.com)

Friedman, J. (2001). *Identidad cultural y proceso global*. Madrid: Amorrortu.

Gómez, M. (2014). *Elementos de estadística descriptiva*. San José: EUNED.

González, M. (2015). *Producción social del espacio y procesos rituales: Análisis de la práctica de la diana en San Pedro de Barva*. Cuadernos de Antropología, Revista del Laboratorio de Etnología María Eugenia Bozzoli Vargas, 47-66.

González, M. (2014). *Espacio, ritual y estructura social: el amanecer de los mantudos y la espantaperros. Producción social de espacio en la práctica de la Diana, San Pedro de Barva*. Tesis para optar por el grado de maestría académica en Antropología. Sede Rodrigo Facio: Sistema de Estudios de Posgrado, Universidad de Costa Rica.

Gurdián, A. (2010). *El paradigma cualitativo en la investigación sociocualitativa*. San José, Costa Rica: Editorial de la Universidad de Costa Rica.

Gutiérrez, A., Dennis, Z., & Dewar, J. (2014). *Probabilidad y Estadística. Nociones y destrezas orientado a competencias*. México D.F.: McGraw Hill Interamericana Editores.

Hinkelammert, F. (2003). *El asalto al poder mundial y la violencia sagrada del imperio*. San José, Costa Rica: DEI.

- Kanawaty, G. (1996). Introducción al estudio del trabajo. Ginebra: Oficina Internacional del trabajo.
- Lefebvre, H. (1991). The production of space. USA: Blackwell.
- Marx, K. (2010). El capital. Madrid: Alianza Editorial S.A.
- Montgomery, D. (2004). Diseño y Análisis de Experimentos. México: LIMUSA.
- Montgomery, D. (2009). Statistical quality control. USA: Wiley.
- Nieves, A., & Domínguez, F. (2010). Probabilidad y Estadística para ingeniería: un enfoque moderno. México D.F.: McGraw Hill Interamericana Editores S.A.
- Roca, J. (1998). Antropología industrial y de la empresa. Barcelona: Editorial Ariel S.A.
- Taylor, F. (1975). Principios de la Administración Científica. Buenos Aires: El Ateneo.
- Walpole, R. (1999). Probabilidad y Estadística para ingenieros. México D.F.: Prentice Hall Hispanoamericana.