

PROCEDIMIENTO PARA APLICACIÓN Y SEGUIMIENTO DE CTQ CON QFD

PROCEDURE FOR APPLYING AND MONITORING CTQ WITH QFD

Marrón Hernández Uriel Noe

Tecnológico Nacional de México/I.T. De Pachuca

<https://orcid.org/0009-0001-2238-3255>

uriel.mh@pachuca.tecnm.mx

Gutiérrez Martínez Manuel Horacio

Tecnológico Nacional de México/I.T. De Pachuca

<https://orcid.org/0009-006-0166-8872>

manuel.gm@pachuca.tecnm.mx

Mohedano Torres Enrique de Jesús

Tecnológico Nacional de México/I.T. De Pachuca

<https://orcid.org/0000-0002-0219-5038>

enrique.mt@pachuca.tecnm.mx

García Morales Ingrid Dánae

Tecnológico Nacional de México/I.T. De Pachuca

<https://orcid.org/0009-0001-0411-481X>

120200922@pachuca.tecnm.mx

Rojas Castell Helen Denisse

Tecnológico Nacional de México/I.T. De Pachuca

<https://orcid.org/0009-0008-7811-5808>

122200700@pachuca.tecnm.mx

DOI: <https://doi.org/10.61273/neyart.v4i1.158>

Recibido: 01/12/2025 | Aceptado: 25/01/2026 | Publicado: 02/03/2026

Esta obra está bajo
una licencia internacional
Creative Commons Atribución 4.0.





Resumen-- Actualmente, la industria petrolera se ha permanecido como un pilar esencial de la economía mexicana, aportando año con año millones de pesos al PIB, derivado de ello surge la necesidad de priorizar aún más las necesidades del cliente como actividad principal para lograr conservar ese crecimiento, ya que es un sustento económico fundamental en el país.

La presente investigación tiene como objetivo plantear una propuesta de la integración metodológica del Despliegue de la Función de Calidad (QFD, por sus siglas en inglés) y los Críticos para la Calidad (CTQ's, por sus siglas en inglés) en este sector, a diferencia de otros contextos e industrias donde estas herramientas han demostrado que son fundamentales para traducir la Voz del Cliente (VoC) y mejorar la calidad de los procesos.

Ante esta ausencia, esta investigación, mediante un enfoque cuantitativo y transversal analiza los problemas recurrentes que generan costos principalmente, mediante un análisis estadístico, para evaluar el comportamiento y reducir dichas fallas. El estudio confirma que la aplicación de estas dos herramientas permite comprender de manera más precisa y fácil el origen que las causa.

En conclusión, la metodología propuesta es efectiva para reducir variabilidad, fortalecer la mejora continua y puede ser aplicada en contextos industriales similares, especialmente en aquellos que desarrollan proyectos futuros que pretenden mejorar procesos mediante herramientas de calidad o bien garantizar la consistencia de resultados, como antes mencionada la mejora continua.

Palabras clave-- QFD, CTQ's, metodología, mejora continua.

Abstract-- Currently, the oil industry has remained an essential pillar of the Mexican economy, contributing millions of pesos to the GDP year after year. As a result, there arises a need to prioritize customer needs even more as a main activity in order to maintain that growth, since it is a fundamental economic support in the country.

The purpose of this research is to propose a methodological integration of Quality Function Deployment (QFD) and Critical to Quality (CTQ's) in this sector, unlike other contexts and industries where these tools have proven to be essential for translating the Voice of the Customer (VoC) and improving the quality of processes.

In response to this absence, this research, using a quantitative and cross-sectional approach, analyzes the recurring problems that primarily generate costs through statistical analysis, in order to evaluate behavior and reduce these failures. The study confirms that applying these two tools allows for a more precise and easier understanding of their underlying causes.

In conclusion, the proposed methodology is effective in reducing variability, strengthening continuous improvement, and can be applied in similar industrial contexts, especially in those developing future projects aimed at improving processes through quality tools or ensuring the consistency of results, as previously mentioned in continuous improvement.

Keywords-- QFD, CTQ's, methodology, continuous improvement.

INTRODUCCIÓN

Históricamente, la industria petrolera representa un sector de gran importancia para la economía de México, de acuerdo con los datos del INEGI (2025), el sector generó \$872,030 millones de pesos en el Producto Interno Bruto (PIB) en el segundo trimestre de 2024, un aumento anual de 4.93%. Esta vitalidad es clave, ya que la industria sigue siendo un bastión de la economía, con proyecciones de crecimiento y una participación fundamental en el desarrollo nacional (AMEXHI, 2024).

En este sentido, la revisión de los análisis previos permite identificar una brecha de investigación, pues a pesar de que existen estudios que aplican el Despliegue de la Función de Calidad (QFD) en diversos sectores energéticos, como el de energías renovables, no hay evidencia suficiente de su aplicación metodológica integrada dentro del ámbito petrolero. Se puede observar la falta de integración de la Voz del Cliente (VoC) y de los Críticos para la Calidad (CTQ's), pese a que ambas herramientas son consideradas fundamentales para el diseño y la mejora de procesos.

A pesar de esta carencia, el valor de estas herramientas para la competitividad es indiscutible. La literatura reciente confirma que la gestión de la calidad es fundamental para la "mejora continua del producto" (Pedroso de Sales et al., 2022). De la misma manera, el QFD es una fuerte herramienta que facilita la realización de "análisis de aproximación para la satisfacción de los requerimientos del cliente" al convertir las necesidades en especificaciones técnicas, representando el valor agregado de esta investigación.



Asimismo, se revisaron 25 artículos nacionales e internacionales sobre la aplicación de las herramientas CTQ con QFD, en diferentes contextos industriales. Los aportes de Cruz-Rivero et al. (2023) y García et al. (2023) nos demuestran que estas herramientas son indicadores esenciales para incrementar la satisfacción del cliente y reducir la variabilidad en procesos, fundamentales para capturar y estructurar la Voz del Cliente como menciona de manera similar Guerrero & Cruz (2025). No obstante, la integración metodológica de estas técnicas en el ámbito petrolero sigue siendo escasa, lo que limita la capacidad de identificar fallas recurrentes y con ello reducen el potencial de mejora continua.

Por lo tanto, el objetivo general es desarrollar una propuesta metodológica que integra CTQ's y QFD. Esta integración es fundamental, ya que el QFD ha demostrado ser crucial para la gestión del desempeño del servicio y el cumplimiento de los requerimientos del cliente. Asimismo, se busca aplicar principios para la optimización y control de desempeño operativo, como los de Lean Six Sigma, para identificar los requerimientos del cliente y traducirlos a características técnicas medibles que mejoren la calidad del servicio dentro de la industria petrolera.

MÉTODO

Por su parte, la metodología desarrollada en este estudio se estructura en una serie de fases que integran herramientas de calidad orientadas a la identificación, estudio y control de los Parámetros Críticos para la Calidad (CTQ's) mediante el Despliegue de la Función de Calidad (QFD). Es importante señalar que esta metodología no corresponde a un modelo previamente establecido en la literatura, sino que constituye una propuesta original e innovadora construida por los autores derivado de la integración estratégica de ambas herramientas. Cada una de sus fases permite avanzar de manera sistemática desde la definición del proyecto hasta la verificación de resultados, asegurando que las necesidades del cliente sean correctamente traducidas en especificaciones técnicas y en acciones de mejora.

Posteriormente se detallan las etapas que conforman esta metodología, las cuales permiten visualizar de forma clara y estructurada la información obtenida durante el proceso y comprender la lógica que sustenta su diseño.

Fase 0: Definición y Preparación del Proyecto

En esta etapa se establece el fundamento del proyecto mediante la definición del alcance, objetivos y criterios iniciales del proceso a analizar. Antes de presentar los datos correspondientes, la siguiente tabla resume los elementos clave que permiten contextualizar las actividades preliminares que dan inicio al estudio y definen el marco para la aplicación de las herramientas de calidad (Zhou et al., 2020).

Tabla 1. Descripción de la Etapa 0.

Etapa	Actividad Clave	Propósito
0.1	Definición del Alcance (<i>Charter</i>)	Establecer el caso de negocio y el plan de trabajo. Definir el producto, servicio o proceso a diseñar o mejorar.

Nota. Creación propia (2025). Obtenido de: Zhou, J., Zhai, L., & Pantelous, A. A. (2020).

Fase I: Captura y Priorización de la Voz del Cliente (VoC y CRs)

El objetivo de esta fase es escuchar, analizar y traducir las opiniones de los usuarios en requisitos técnicos medibles.

La etapa I.1 es un paso crucial para obtener los requisitos y necesidades del cliente, donde los cuestionarios y las entrevistas son las metodologías más utilizadas para la recolección de datos de VoC (Voice of the Customer), esta es el punto de partida necesaria para la realización del producto. Por otro lado, la etapa I.2 profundiza en la labor de escuchar, analizar y traducir las opiniones y puntos de vista del cliente a palabras técnicas (Cruz et al., 2023). Estos requisitos del cliente (CRs), o "Qué", representan los requisitos clave que deben ser identificados (Jiménez et al., 2020).

En ese mismo sentido, en la etapa I.3, se determina la importancia relativa de las necesidades o ideas de los clientes (Frizziero et al., 2017). Se puede utilizar el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) (Orozco et al., 2023) o técnicas de Decisión Multicriterio (MCDM) (Guo Xu et al., 2022) para obtener los pesos de importancia, utilizando escalas fundamentales como la escala 1-9 (Orozco et al., 2023). Finalmente, para finalizar la Fase I, la etapa I.4 se lleva a cabo para evaluar la satisfacción del cliente de la empresa frente a sus competidores en términos de los CRs (Santos et al., 2022). Permite definir objetivos para los nuevos diseños al diferenciar el estado actual (*Baseline*) con el estado de importancia (*Importance*).

Tabla 2. Descripción de la Etapa I.

Etapa	Actividad Clave	Propósito
I.1	Recolección de la Voz del Cliente (VoC)	Utilizar técnicas cualitativas y cuantitativas: encuestas, entrevistas (focus groups), análisis de quejas o fallos (reactive VoC collection), o vigilancia tecnológica. Esta información es la base del QFD.
I.2	Definición de Requerimientos del Cliente (CRs/QUÉs)	Traducir las opiniones del cliente a palabras técnicas. Se recomienda la creación de Diagramas de Afinidad (en 3 niveles, si es complejo) para agrupar y estructurar lógicamente los requisitos.
I.3	Ponderación de CRs (Importancia)	Asignar un grado de importancia a cada CR (ej. escala de Likert 1 a 5 o 1 a 10). Este valor puede ser una ponderación combinada de diferentes fuentes (ej. quejas, encuestas a expertos, wholesalers).
I.4	Análisis de Competitividad (Benchmarking)	Evaluar el rendimiento de la compañía y sus competidores en la satisfacción de cada CR. Esto ayuda a establecer metas y prioridades de mejora.

Nota. *Creación propia*. (2025). *Obtenido de: Cruz-Rivero, L., Meráz-Rivera, J., & Lince-Olguín, E. (2023). El despliegue de la función de la calidad y la teoría para la solución de problemas de inventiva: Un análisis de aproximación para la satisfacción de los requerimientos del cliente. Ingeniería Industrial, (45), 91–108.; Design for Six Sigma in the Product Development Process Under a Sustainability Point of View A RealLife Case Study. (2024). Sustainability, 16, 10387.; Jiménez Rodríguez, R., Macías Socarrás, I., & Núñez, P. (2020). Aplicación del QFD a productos de una fábrica de conservas Application of the QFD to products from a cannery. Espacios, 41, 225-239.; Frizziero, L., Francia, D., Donnici, G., Liverani, A., & Caligiana, G. (2017). Sustainable design of open molds with QFD and TRIZ combination. Journal of Industrial and Production Engineering, 35(1), 21-31.; García-Orozco, S., Vargas-Gutiérrez, G., Ordóñez-Sánchez, S., & Silva, R. (2023). Using Multi-Criteria Decision Making in Quality Function Deployment for Offshore Renewable Energies. Energies, 16(18), 6533.; Xu, X.-G., Zhang, L., Mao, L.-X., & Li, K. (2022). New Approach for Quality Function Deployment Using an Extended CoCoSo Method with Spherical Fuzzy Sets. Systems, 10(6), 253.; Santos, G., et al. (2022). QUALITY MANAGEMENT IN THE CONTOURS OF CONTINUOUS PRODUCT IMPROVEMENT. International Journal for Quality Research, 16(3), 689-702.*

Fase II: Despliegue de la Función de Calidad (QFD)

Esta fase se centra en la construcción de la Casa de la Calidad (HoQ), el módulo principal del QFD, se profundiza en la relación entre las necesidades del cliente y las cualidades de ingeniería requeridas para satisfacerlos, permitiendo priorizar aquellos parámetros técnicos que impactan directamente la calidad del proceso de soldadura. Esta fase integra el análisis previo con la construcción de la Casa de la Calidad.

Así pues, en la etapa II.1 se establecen los requisitos técnicos (Guerrero et al., 2025), también llamados requerimientos funcionales o "Cómos", que son medibles y controlables, y que representan la respuesta de la organización para satisfacer los requisitos del cliente (Cruz et al., 2023). A continuación, en la etapa II.2 se construye una matriz de relaciones que evalúa la influencia de los requisitos clave ("Qué") en la recolección de los requisitos técnicos ("Cómo"). Se utiliza una escala de relación ponderada, comúnmente con valores 9 (fuerte), 3 (moderada) y 1 (débil o baja), y 0 si no hay relación.

Así mismo, en la etapa II.3 se realiza otra matriz conocida como el "Techo" de la Casa de la Calidad, se valora la influencia que tienen los distintos "Qué" en los distintos "Cómos" (Guerrero et al., 2025). Se utiliza simbología como "+" (correlación positiva) o "-" (correlación negativa) para señalar la correlación entre las estrategias o actividades (Cruz et al., 2023).

Para terminar la fase II, en la etapa II.4 se calcula la Puntuación Absoluta del Cómo, multiplicando el peso de cada "Qué" por el coeficiente de correlación. Esta puntuación, luego de ser reordenada, indica el grado de prioridad para implementar los "Cómos" (Guerrero et al., 2025). El procedimiento adecuado para la gestión de la calidad es identificar primeramente los Críticos de la Calidad (CTQ's) para enfocar los esfuerzos (Gutiérrez, 2019).

Tabla 3. Descripción de la Etapa II.

Etapa	Actividad Clave	Propósito y Citas de Referencia
II.1	Definición de Características de Ingeniería (ECs/CÓMOs)	El equipo de diseño define los requisitos técnicos, operativos o funcionales (Hows) necesarios para satisfacer los CRs. Estos deben ser parámetros medibles y controlables.
II.2	Construcción de la Matriz de Relaciones (CR-EC)	Identificar el impacto de cada EC en la satisfacción de cada CR. Utilizar una escala de correlación estandarizada (ej. 9 fuerte, 3 media, 1 débil, 0 nula). Para manejar evaluaciones inciertas o vagas, se pueden emplear enfoques avanzados basados en distribuciones lingüísticas o conjuntos difusos esféricos (SFSs).
II.3	Análisis de Correlación entre ECs (Techo)	Evaluar las interrelaciones entre las ECs (positiva: ++/+, negativa: --/-) para identificar conflictos técnicos o sinergias. Este análisis es crucial para la administración de recursos y la correcta toma de decisiones.

II.4	Cálculo Inicial de Importancia y CTQ's	Calcular la Puntuación de Relaciones (Importancia Absoluta y Relativa de los ECs) mediante la suma ponderada del peso de cada CR por el coeficiente de correlación CR-EC. Los ECs con el más alto puntaje se convierten en los Críticos para la Calidad (CTQ's).
------	---	--

Nota. *Creación propia* (2025). Obtenido de: Guerrero González, M. L., Cruz Rivero, L., Mendo Ostos, L., & Vázquez Estrada, O. W. (2025). VoC Y QFD como Herramientas de Integración para el Diseño de un Prototipo de Monitoreo de Estructuras de Concreto. *Ciencia Y Reflexión*, 4(3), 1495–1516.; Cruz-Rivero, L., Meráz-Rivera, J., & Lince-Olguín, E. (2023). El despliegue de la función de la calidad y la teoría para la solución de problemas de inventiva: Un análisis de aproximación para la satisfacción de los requerimientos del cliente. *Ingeniería Industrial*, (45), 91–108.; Gutiérrez-García, A. (2019). La gestión de la calidad mediante métodos científicos. *Revista de Educación Técnica*, 3(7), 19–26.

Fase III: Priorización de Características Críticas (CTQ/EC)

Esta fase refina la selección de los CTQ's para concentrar los recursos de diseño y mejora.

Se selecciona el CTQ principal y se realiza un análisis estadístico detallado para cuantificar el desempeño del proceso, a esta etapa presentan el registro de la muestra, los límites de especificación y los valores estadísticos fundamentales. Esta información permite analizar la estabilidad, variabilidad y grado de cumplimiento del proceso con los parámetros establecidos.

Para comenzar la fase III, la etapa III.1 consiste en utilizar métodos de Decisión Multicriterio (MCDM) como AHP, TOPSIS, DEMATEL o ORESTE, para determinar las prioridades y el *ranking* de las características de ingeniería (ECs) (Orozco et al., 2023). En la siguiente fase de Identificación de Cuellos de Botella Técnicos, aunque el término específico "cuellos de botella" no se explicita como una etapa, la fase está destinada a seleccionar las ECs con la puntuación más alta (Guerrero et al., 2025), ya que la gestión de calidad exige enfocar los esfuerzos en los críticos de la calidad (CTQ's) (Gutiérrez, 2019).

Para finalizar, en la etapa III.3 se traduce el crítico de calidad (CTQ) obtenido del QFD a un parámetro técnico de diseño (por ejemplo, uno de los treinta y nueve parámetros de TRIZ) (Cruz et al., 2023). Esta traducción se considera un punto de transferencia que maximiza el potencial de innovación al aplicar ambas metodologías en conjunto (Orozco et al., 2023).

Tabla 4. Descripción de la Etapa III.

Etapa	Actividad Clave	Propósito
-------	-----------------	-----------

III.1	Priorización Avanzada de ECs/CTQ's (MCDM)	Aplicar métodos de Toma de Decisiones Multicriterio (MCDM) para superar los sesgos del método de puntuación simple (ISM) y obtener un ranking más fiable. Métodos recomendados incluyen AHP, TOPSIS, DEMATEL (para correlación), CRITIC, ORESTE o CoCoSo.
III.2	Identificación de Cuellos de Botella Técnicos	Analizar los CTQ's/ECs en relación con su nivel de importancia y su dificultad de implementación (o el costo). Los bottlenecks críticos son aquellos de alta importancia y alta dificultad, que requieren mayor concentración de esfuerzos y posiblemente estrategias de rediseño.
III.3	Traducción a Parámetros de Mejora (Opcional: TRIZ)	En caso de conflictos técnicos o necesidad de innovación, se puede traducir el CTQ prioritario (ej. "no tóxico") a alguno de los 39 parámetros de diseño de TRIZ (Teoría para la Solución de Problemas de Inventiva), marcando la etapa de transferencia para la resolución de contradicciones.

Nota. Creación propia (2025). Obtenido de: García-Orozco, S., Vargas-Gutiérrez, G., Ordóñez-Sánchez, S., & Silva, R. (2023). Using Multi-Criteria Decision Making in Quality Function Deployment for Offshore Renewable Energies. *Energies*, 16(18), 6533.; Guerrero González, M. L., Cruz Rivero, L., Mendo Ostos, L., & Vázquez Estrada, O. W. (2025). VoC Y QFD como Herramientas de Integración para el Diseño de un Prototipo de Monitoreo de Estructuras de Concreto. *Ciencia Y Reflexión*, 4(3), 1495–1516.; Gutiérrez-García, A. (2019). La gestión de la calidad mediante métodos científicos. *Revista de Educación Técnica*, 3(7), 19–26.; Cruz-Rivero, L., Meráz-Rivera, J., & Lince-Olguín, E. (2023). El despliegue de la función de la calidad y la teoría para la solución de problemas de inventiva: Un análisis de aproximación para la satisfacción de los requerimientos del cliente. *Ingeniería Industrial*, (45), 91–108.

Fase IV: Ejecución, Mejora e Integración de Soluciones

Esta fase aborda la implementación de las acciones necesarias para asegurar que el diseño cumpla con los CTQ's priorizados.

Respecto a la etapa IV.1, se cuantifica el valor objetivo (*HOW-MUCHs*) que cada requerimiento de diseño debe cumplir para satisfacer al cliente (Burgos et al., 2020). El *Suggested Target* se calcula utilizando el parámetro de Oportunidad (*Opportunity*) basado en la Importancia del VoC y la Línea Base (*Baseline*) de la competencia (Arcidiacono et al., 2024).

Consecuentemente, en la etapa IV.2 se desarrollan posibles soluciones y planes de acción concretos, considerando las entradas críticas previamente identificadas en el análisis (Rodríguez et al., 2023).

Se establece la estructura para el diseño de guías metodológicas para incorporar buenas prácticas (Herrera & Narváez, 2017).

Para cerrar la fase IV, la etapa IV.3 es la fase de puesta en marcha del diseño (Arcidiacono et al., 2024). Para el prototipado y diseño de acciones, se pueden utilizar herramientas de software de modelado y dibujos técnicos, como Catia V5, para verificar posibles interferencias en el ensamblaje (Santos et al., 2022).

Tabla 5. *Explicación de la Etapa IV.*

Etapa	Actividad Clave	Propósito
IV.1	Establecimiento de Metas de Diseño (HOW-MUCHs)	Determinar el valor objetivo específico y cuantificable para cada CTQ priorizado. Definir la orientación de la mejora (Mayor es Mejor: ↑, Menor es Mejor: ↓, Igual es Mejor: ◦).
IV.2	Diseño de Acciones de Mejora	Desarrollar estrategias, actividades y procesos operativos necesarias para alcanzar las metas de diseño. Esto incluye acciones preventivas o correctivas (ej. capacitación al personal, estandarización de procesos, adopción de herramientas Lean como PEPS/FIFO, o adquisición de herramienta).
IV.3	Implementación y Prototipado	Ejecutar el diseño o rediseño del producto/proceso. Generar modelos virtuales o prototipos para verificar posibles interferencias en el ensamblaje o proceso (virtual reality).

Nota. *Creación propia* (2025). *Obtenido de:* Arcidiacono, G., Risaliti, E., & Del Pero, F. (2024b). *Design for Six Sigma in the Product Development Process... Sustainability*, 16(23), 10387.; A; Rodríguez-Mera, M. A., Guerrero-Moreno, D., García-Jimenez, J. C., & Peña-Montoya, C. C. (2023). *Aplicación de Lean Six Sigma para la mejora del proceso de trabajos de grado en una Institución de Educación Superior. [N/A].; Herrera De la Barrera, J., & Narváz Zúñiga, C. (2017). Metodología para la comprensión de la voz del cliente en entornos dinámicos utilizando el despliegue de funciones de calidad (QFD). Teknos Revista Científica*, 17(2), 63–72.; Arcidiacono, G., Risaliti, E., & Del Pero, F. (2024b). *Design for Six Sigma in the Product Development Process... Sustainability*, 16(23), 10387.; Santos, G., et al. (2022). *QUALITY MANAGEMENT IN THE CONTOURS OF CONTINUOUS PRODUCT IMPROVEMENT. International Journal for Quality Research*, 16(3), 689-702.

Fase V: Control y Seguimiento Continuo

El QFD forma parte de un proceso de mejora continua. Esta fase asegura que las mejoras se mantengan y sean efectivas a largo plazo.

Esta fase inicia con la etapa V.1 que es el proceso para asegurar que el producto cumple con los requisitos clave identificados (Guerrero et al., 2025) y que las especificaciones de diseño cumplen con las expectativas. La validación es una etapa del modelo DFSS (Design for Six Sigma). Posteriormente, en la etapa V.2 se establecen indicadores claves de desempeño (KPIs) para controlar y evaluar el comportamiento del proceso a través del tiempo (Rodríguez et al., 2023). Para ello, se

emplean herramientas como el control estadístico del proceso (CEP) que es una herramienta más utilizada para el aseguramiento de la calidad (Herrera & Narváez, 2017).

El proceso concluye con la etapa V.3, la cual busca asegurar el seguimiento y monitoreo continuo de los resultados de las soluciones aplicadas. La filosofía QFD se desarrolla en conjunto con otras metodologías para ser un potenciador importante, como el enfoque en Lean Six Sigma, que contempla el mejoramiento continuo y sinérgico (Rodríguez et al., 2023).

Tabla 6. Descripción de la Etapa V.

Etapa	Actividad Clave	Propósito
V.1	Validación y Pruebas	Probar y validar el desempeño del prototipo/proceso, asegurando que cumple con los nuevos criterios de calidad y con los objetivos del proyecto.
V.2	Control de Indicadores (KPIs)	Establecer métricas clave de desempeño (KPIs) para monitorear el rendimiento continuo de los CTQ's a través del tiempo y garantizar la estabilidad del sistema.
V.3	Revisión y Mejora Continua	Evaluar y dar seguimiento a los resultados de las soluciones aplicadas mediante las metodologías DMAIC o BSC/Balanced ScoreCard), asegurando que el proceso sea iterativo y permita adaptarse a los cambios del entorno y en los requerimientos del cliente.

Nota. Creación propia (2025). Obtenido de: Guerrero González, M. L., Cruz Rivero, L., Mendo Ostos, L., & Vázquez Estrada, O. W. (2025). VoC Y QFD como Herramientas de Integración para el Diseño de un Prototipo de Monitoreo de Estructuras de Concreto. *Ciencia Y Reflexión*, 4(3), 1495–1516.; Arcidiacono, G., Risaliti, E., & Del Pero, F. (2024b). Design for Six Sigma in the Product Development Process... *Sustainability*, 16(23), 10387.; Rodríguez-Mera, M. A., Guerrero-Moreno, D., García-Jimenez, J. C., & Peña-Montoya, C. C. (2023). Aplicación de Lean Six Sigma para la mejora del proceso de trabajos de grado en una Institución de Educación Superior. [N/A].; Herrera De la Barrera, J., & Narváez Zúñiga, C. (2017). Metodología para la comprensión de la voz del cliente en entornos dinámicos utilizando el despliegue de funciones de calidad (QFD). *Teknos Revista Científica*, 17(2), 63–72.; Rodríguez Mera, M. A., García Jimenez, J. C., Peña Montoya, C. C., & Guerrero Moreno, D. (2023). Aplicación de Lean Six Sigma para la mejora... *Scientia et Technica*, 28(02), 73-85.

DESARROLLO

Por lo tanto, la demanda energética ha demostrado un crecimiento constante, impulsado principalmente por la expansión de distintos mercados y la llegada de industrias extranjeras al país mediante el fenómeno de recolección de empresas que mueven su producción a países cercanos y a su mercado principal (nearshoring). En este contexto, México registró un incremento del 23% en su demanda energética alcanzando así en el año 2024 un máximo histórico de 54 GW (Gigavatios). Sin

embargo, este aumento en la demanda ha generado una mayor presión en la infraestructura energética del país, lo que ha puesto en evidencia diversas problemáticas y limitaciones en algunos procesos industriales; en particular se han identificado errores recurrentes en la fabricación de tuberías subterráneas, los cuales generan costos adicionales, retrasos en la entrega o incluso afectaciones en el nivel de calidad del servicio. Entre los más comunes se encuentran defectos en las técnicas de soldadura, falta de recubrimiento y problemas de alineación de biseles.

Estos errores impactan directamente en la operación de la empresa, debido a que están presentes en todo tipo de industria, por ello se requiere de estrategias organizacionales de mejora para lograr minimizarlos; ya que son errores que si no se logran controlar pueden afectar la producción y poner en riesgo la estabilidad de la misma (Salas et al., 2018). Ante esta situación, resulta fundamental analizar las causas que originan estos problemas e implementar una metodología estructural que permita identificar de manera técnica cuales son los atributos críticos que determina la calidad del proceso (CTQ's) y cómo estos pueden mejorar por medio de la aplicación de un QFD.

Fase 0

La presente investigación es de carácter cuantitativo y transversal, donde se emplean herramientas que ayudan a la mejora continua, es decir los CTQ's integrados con QFD, como eje principal del estudio. Estas herramientas se desarrollan a partir de la evaluación de la demanda del usuario (Izar Landeta & Ynzunza Cortés, 2014), con el objetivo de establecer una metodología sistemática aplicable a proyectos futuros con características similares.

Así mismo, se plantea un estudio cuantitativo para esta investigación, orientado al análisis del comportamiento del proceso de fabricación en la industria petrolera, específicamente en la producción de tubería subterránea. Dicho estudio está basado en el análisis estadístico de los resultados y estadística descriptiva para identificar variaciones y/o comportamientos recurrentes y así poder reducir la variabilidad de procesos mediante la integración de metodologías tradicionales y enfoques de métodos de mejora continua.

Fase I: Captura y Priorización de la Voz del Cliente (VoC y CRs)

Para abordar esta problemática, se realizó un diagnóstico detallado que permite identificar las principales causas o fallas del proceso y su impacto en la operatividad de la empresa. Con el fin de

identificar los errores más comunes dentro del proceso de instalación, además, se ha utilizado una hoja de verificación que muestra el resumen de la concurrencia de cada error en los proyectos.

Tabla 7. Errores identificados.

Error identificado	Frecuencia (por unidad)	Costo estimado (\$MXN)
Excavación crítica	2	\$ 2,000.00
Materia prima no cumple (prueba de PMI)	1	\$ 48,300.00
Falta de anclaje y recubrimiento deficiente (pintura)	5	\$ 2,000.00
Alineación (limpieza y biseles)	2	\$ 2,000.00
Defectos en las técnicas de soldadura	10	\$ 5,000.00
Desnivel por falta de compactación	1	\$ 27,000.00
Falta de capacitación (montador y operador)	1	\$ 2,700.00
No verificar la presión máxima de trabajo	1	\$ 27,000.00

Fuente: *Elaboración propia (2025).*

Para medir la magnitud de los problemas dentro de la organización se realiza un Diagrama de Pareto (80/20), el cual es una herramienta gráfica en donde se organizan diversas clasificaciones de datos por orden descendente, de izquierda a derecha por medio de barras sencillas. Este análisis se realiza después de haber reunido y clasificado la información, con el objetivo de identificar las causas principales del problema. De modo que se pueda asignar un orden de prioridades (Rincón & Vásquez, s.f) y permite visualizar y priorizar los errores más frecuentes y gravosos en el proceso.

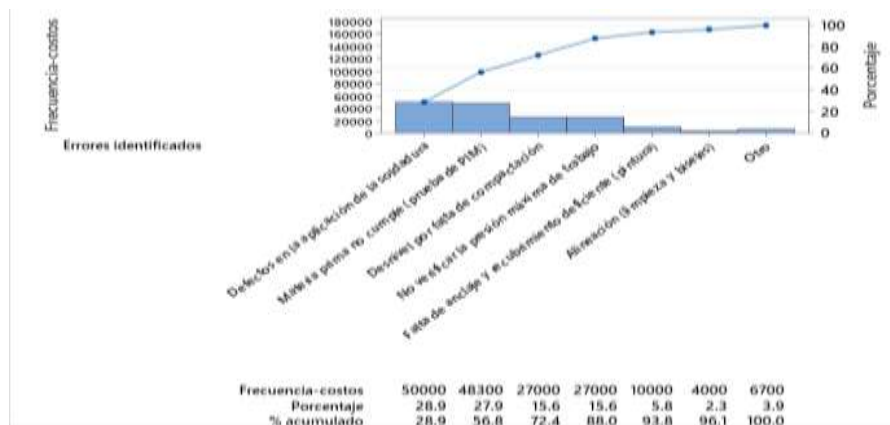


Figura 1. Diagrama de Pareto de errores identificados.

Fuente: *Elaboración propia (2025).*

El análisis del diagrama evidencia que la mayor parte de los errores y costos en la etapa de instalación se concentra en cuatro causas principales: Defectos en el proceso de la soldadura, incumplimiento de

especificaciones en la materia prima (prueba de PMI), falta de verificación del límite máximo de presión de trabajo y desnivel ocasional por falta de compactación. Estos factores representan el mayor impacto negativo en la operación y se alinean con el principio de Pareto (80/20), el cual establece que un pequeño número de problemas es responsable de la mayoría de los efectos o consecuencia en la tubería.

Fase II: Despliegue de la Función de Calidad (DFQ)

Ahora bien, es necesario determinar cuáles son las características del proceso de soldadura que no deben presentarse como errores (los CTQ's), es de suma importancia mencionar que una soldadura deficiente puede comprometer la integridad estructural del sistema de tubería, provocando riesgos graves como fugas de gas, fallas operativas o accidentes de alto peligro. Por ello resulta fundamental cuidar estrictamente los aspectos clave de la calidad en la aplicación de soldadura.

Tabla 8. *Características esenciales para satisfacer al cliente.*

No.	CTQ	Descripción
1	Visteo final	Inspección visual del acabado de la unión soldada.
2	Alineación de biseles	Correcto posicionamiento de los extremos mediante alineador.
3	Punteo con electrodo E-7018	Aplicación correcta de puntos de soldadura iniciales.
4	Paso caliente	Corriente inversa (con calor) para fundir impureza y encontrar la raíz.

Fuente: *Elaboración propia (2025).*

Posteriormente, con el objetivo de determinar cuáles de estos aspectos presenta una mayor incidencia de errores, se realiza una clasificación por medio del análisis de frecuencia de defectos y un Diagrama de Pareto, en donde se observa que el visteo final es el CTQ más crítico, de manera que se convierte en el principal punto de enfoque del proceso.

Tabla 9. *Frecuencia de las características esenciales para satisfacer al cliente.*

No.	CTQ	Frecuencia (1 en 3.7km)	Veces en 308 juntas
1	Visteo final	1 en 5 juntas	$308 / 5 = 61.6 \approx 62$

2	Alineación de biseles	1 en 10 juntas	$308 / 10 = 30.8 \approx 31$
3	Punteo con electrodo E-7018	1 en 15 juntas	$308 / 15 = 20.5 \approx 21$
4	Paso caliente	1 en 20 juntas	$308 / 20 = 15.4 \approx 15$

Fuente. *Elaboración propia (2025).*

Fase III: Priorización y Análisis Estadístico del CTQ principal

Con el objetivo de evaluar de manera continua el comportamiento del proceso de soldadura, especialmente en la etapa de visteo final, nuestro parámetro crítico de calidad, se decidió realizar un análisis basado en los registros anteriores de mediciones realizadas a las uniones soldadas. Esta evaluación se centra en el parámetro crítico de calidad (CTQ) relacionado con el resultado del visteo, que es determinante para garantizar la integridad estructural de la unión y la conformidad con los estándares de las normativas.

Tabla 10. *Registro de la muestra.*

Datos del lote			
Longitud del tramo de tubería	4.6km	4,600	m
Longitud por tubo	0.012km	12	m
No. de uniones de soldadura (N)	383.3333	384	juntas

VARIABLE DE ESTUDIO: Visteo final – sobresaliente de soldadura						
Responsable:	Lote: 384 uniones soldadas				Tamaño de muestra: 130	
Fecha:	Valor de objetivo: 3.175 mm (1/8")				Unidad: milímetros	
	Tolerancia: ± 0.25 mm					
MUESTRAS DE VISTEO FINAL						
3.0941	3.0963	3.3000	3.0336	3.1691	3.0565	3.1892
3.1437	3.1401	3.2238	3.2303	3.1769	3.1772	3.1013
3.0600	3.2727	3.2738	3.1820	3.1368	3.1196	3.1092
3.0707	3.1326	3.0487	3.1051	3.1997	3.2243	3.0445
3.3055	3.1701	3.1508	3.1940	3.1744	3.2095	3.0291
3.1651	3.0445	3.2598	3.2119	3.3383	3.1308	3.0808
3.1468	3.1823	2.9881	3.1549	3.1505	3.1394	3.2656
3.1447	3.1808	3.1520	3.1512	3.2561	3.3239	3.2731
3.1933	3.0557	3.2486	3.2046	3.1646	3.2536	3.2575
3.3953	3.0657	3.2375	3.2054	3.1698	3.0825	3.2141
3.1531	3.2542	3.1808	3.1187	3.0530	3.0726	2.9961

3.2210	3.2070	3.1642	3.0797	3.0391	3.1234	3.1415
3.2165	3.1572	3.1641	3.2218	3.2755	3.1491	2.9226
3.1667	3.0833	3.1241	3.1885	3.0677	3.1501	3.1601
3.1472	3.1017	3.2398	3.1659	3.2100	3.1725	3.1241
3.1481	3.2910	3.1133	3.2435	3.0271	3.2528	3.3192
3.1539	3.0430	3.2155	3.1410	3.1737	3.3209	3.3219
3.1451	2.9991	3.1283	3.2032	3.1510	3.0959	3.2694
3.1245	3.1421	3.1238	3.1035			

Fuente. *Elaboración propia (2025).*

Ahora bien, se debe conocer parámetros como la media del proceso, la desviación estándar (véase en la fig. 2) y si la distribución de los datos actúa de manera normal o no (véase en la fig. 3). Cabe señalar que para el cálculo de los parámetros antes mencionados se utiliza el software MINITAB para obtener resultados de manera más precisa.

Variable	N	N*	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Minimo	Q1	Mediana
Sobresaliente de soldadura	130	0	3.1623	0.00718	0.0819	2.9226	3.1123	3.1560

Variable	Q3	Máximo
Sobresaliente de soldadura	3.2144	3.3953

Figura 2. *Estadísticas descriptivas.*

Fuente: *Elaboración propia con base a MINITAB 21.*

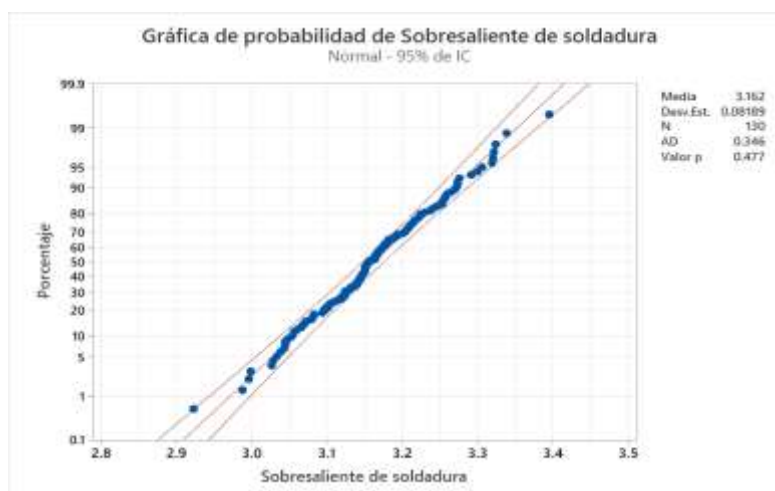


Figura 3. *Gráfica de probabilidad de Sobresaliente de soldadura.*

Fuente: *Elaboración propia con base a MINITAB 21.*

Por lo tanto, se concluye que los datos pertenecientes a la variable “Sobresaliente de soldadura (visteo final)” sigue una distribución normal, lo que permite continuar con el análisis estadístico que asume esta condición. Derivado de lo anterior, se debe determinar el límite de las especificaciones del cliente, este límite es el valor sobresaliente que deberían tener todas las uniones de tubería.

Tabla 11. Límites para visteo final.

CTQ: Visteo Final		
Especificaciones	Valor	Unidad
Valor objetivo	3.175	mm
Límite Esp. Superior	3..395	mm
Límite Esp. Inferior	2.922	mm

Fuente: *Elaboración propia* (2025).

Fase IV: Ejecución, Mejora e Integración de Soluciones

Resulta esencial aplicar herramientas de calidad las cuales nos facilitan la identificación de las áreas de posibilidad de mejora. En esta ocasión, se utilizó el método de los 5 porqués, la cual reveló como causa principal la ausencia de revisiones internas periódicas o diagnósticos formales que destaquen la necesidad de establecer y formalizar el proceso de verificación final. A través de evidencia objetiva y análisis del proceso, se concluyó que el visteo final presenta variaciones importantes en su ejecución, tales como criterios poco claros, registros inconsistentes y resultados visuales que no satisfacen los requerimientos establecidos por el cliente. Esta falta de uniformidad impide garantizar un estándar confiable de calidad y dificulta evaluar los avances entre instalaciones previas y actuales. Como medida correctiva, se puso en marcha un plan estructurado de auditorías internas orientadas al aseguramiento de calidad, especialmente implementar una lista de verificación estandarizado para el visteo final, cuyo propósito es asegurar una inspección visual detallada, documentada y alineada con las necesidades del cliente. Este instrumento permite evaluar de manera general limpieza, alineación, recubrimiento, acabado visual, entre otros elementos clave de la instalación tubería.

Posteriormente a la ejecución de la mejora, se realiza nuevamente una corrida de la fabricación de la tubería, obteniendo como datos los siguientes:

Tabla 12. Registros de la segunda muestra.

VARIABLE DE ESTUDIO: Visteo final – sobresaliente de soldadura		
Responsable:	Lote: 308 uniones soldadas	Tamaño de muestra: 120

Fecha:	Valor de objetivo: 3.175 mm (1/8")			Unidad: milímetros
	Tolerancia: ± 0.25 mm			
MUESTRAS DE VISTEO FINAL				
3.166	3.170	3.173	3.170	3.166
3.169	3.173	3.167	3.169	3.168
3.170	3.173	3.170	3.170	3.170
3.171	3.169	3.171	3.170	3.169
3.167	3.172	3.170	3.175	3.166
3.168	3.171	3.168	3.172	3.168
3.175	3.175	3.166	3.172	3.175
3.167	3.169	3.166	3.172	3.172
3.174	3.175	3.174	3.169	3.174
3.172	3.172	3.175	3.171	3.174
3.167	3.172	3.170	3.168	3.171
3.174	3.170	3.172	3.166	3.165
3.172	3.175	3.170	3.170	3.172
3.166	3.169	3.172	3.168	3.169
3.173	3.172	3.175	3.170	3.169
3.168	3.172	3.172	3.168	3.175
3.166	3.171	3.172	3.174	3.175
3.167	3.169	3.173	3.169	3.173
3.168	3.175	3.172	3.175	3.165
3.166	3.171	3.172	3.170	3.174
3.169	3.173	3.169	3.175	3.171
3.172	3.170	3.171	3.173	3.172
3.167	3.170	3.165	3.168	3.170
3.171	3.169	3.175	3.168	3.171

Fuente: *Elaboración propia* (2025).

A partir de la información obtenida, se llevó a cabo un análisis *Sixpack* en el software MINITAB con el fin de demostrar la mejora del proceso tras la adecuada aplicación de la lista de verificación del visteo final.

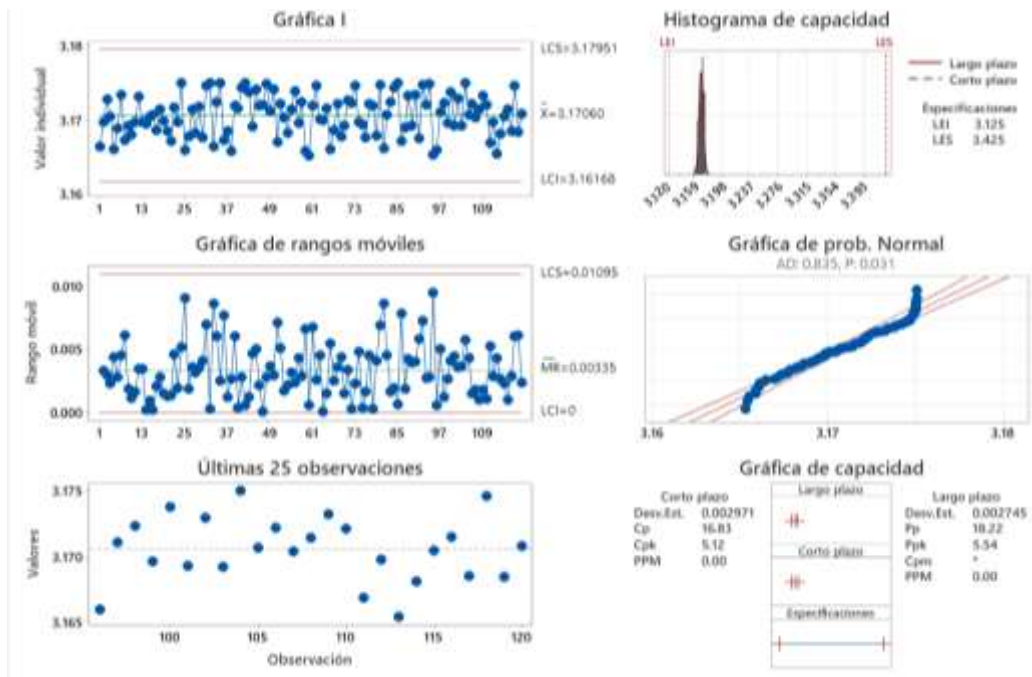


Figura 4. Informe del Capability Sixpack del proceso de SS.

Fuente: Elaboración propia con base a MINITAB 21.

El análisis de *Capability Sixpack* para el proceso de sobresaliente de soldadura muestra que el proceso se encuentra altamente estable y bajo control estadístico. No se detectaron puntos fuera de los límites de control en la gráfica de valores individuales ni en la gráfica de rangos móviles, confirmando la estabilidad del proceso. Considerando el alto número de datos y su comportamiento general, el ajuste es suficientemente aceptable para realizar el análisis de capacidad. Los resultados de capacidad indican que el proceso es altamente capaz. A corto plazo, se obtuvo un Cp de 16.83 y un Cpk de 5.12. Estos valores son extremadamente altos, reflejando una mínima variabilidad y un proceso muy bien centrado dentro de los rangos de especificación. Además, el PPM (partes por millón fuera de especificaciones) es prácticamente nulo, lo que implica que casi no existen productos defectuosos en este proceso.

Fase V: Control y Seguimiento Continuo (RESULTADO)

Con la finalidad de evaluar la evolución en los estándares de calidad de los procesos de soldadura, en esta sección se presenta una comparativa entre los resultados obtenidos (anterior y actual), haciendo énfasis en el desempeño observado durante la inspección final (visteo final). Se analizan los

principales parámetros estadísticos de la capacidad del proceso para identificar mejoras alcanzadas, tendencias observadas y posibles áreas de oportunidad.

Tabla 13. *Comparativa de los parámetros de calidad.*

Anterior		Actual	
Corto Plazo		Corto Plazo	
Desv. Est.	0.07618	Desv. Est.	0.002971
Cp	1.03	Cp	16.83
Cpk	1.01	Cpk	5.12
PPM	1956.58	PPM	0

Fuente: *Elaboración propia (2025).*

El avance evidenciado en los resultados no solo representa una mejora técnica, sino que también genera un impacto económico positivo, al disminuir los costos derivados de reprocesos, desperdicios y tiempos improductivos, incrementando la eficiencia y productividad global del proceso. Los datos obtenidos corroboran que la estrategia de mejora continua implementada ha sido eficaz, permitiendo no solo alcanzar, sino incluso superar, los niveles de calidad establecidos para el proceso de soldadura.

CONCLUSIONES

Una vez realizada la primera corrida de producción para determinar la variabilidad del sobresaliente de soldadura (visteo final) y la segunda corrida posterior al progreso de implementación, se aplicó un análisis de varianza.

Tabla 14. *ANOVA del sobresaliente de soldadura.*

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
ANTERIOR	100	315.9339915	3.159339915	0.006631469
ACTUAL	100	317.0603662	3.170603662	7.9093E-06

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.006343599	1	0.006343599	1.910901546	0.168420454	3.888852933
Dentro de los grupos	0.657298465	198	0.003319689			

Fuente: *Elaboración propia con base a Excel 2025.*

El análisis realizado mediante la prueba de ANOVA nos proporciona información valiosa sobre los dos grupos comparados. Se muestra un avance en el grupo “Actual”, con un promedio de 3.1706, que es ligeramente superior al 3.1593 del grupo “Anterior”. Aunque la diferencia es pequeña, la tendencia es positiva, indicando que las acciones implementadas en el grupo actual contribuyen a un mejor desempeño. Además, se observa una disminución considerable en la varianza del grupo actual (de 0.006631 a 7.9093E-06), lo que sugiere que los resultados se están volviendo más consistentes y estables. La consistencia es un factor clave para evaluar el impacto positivo de las estrategias aplicadas.

En el presente estudio se demostró que la aplicación de una metodología efectiva para el uso combinado de herramientas de talla internacional tales como el Despliegue de la Función de Calidad (QFD, del inglés *Quality Function Deployment*) y los Parámetros Críticos para la Calidad (CTQ's, del inglés *Critical to Quality*), reduce la variabilidad y elevan los estándares del proceso. Mediante un diagnóstico inicial, fue posible establecer y traducir las características esenciales de los clientes, lo cual nos permitió comprender el origen de las fallas más significativas dentro del proceso.

Por otra parte, los resultados estadísticos que fueron respaldados a su vez por el análisis *Capability Sixpack* y ANOVA, evidencian una disminución considerable de la variabilidad, teniendo como inicio en el grupo “actual”, un promedio de 3.1706, superior al 3.1593 del grupo “anterior”, reflejando una mejora con la ejecución de la metodología. Estos hallazgos confirman que la integración creativa de herramientas como estas, aportan beneficios de calidad como económicos.

Finalmente, se confirma lo dicho por Salas et al. (2018), que la falta de control y estandarización en procesos críticos incrementa los riesgos operativos y afecta la estabilidad productiva. La investigación demuestra que el modelo de metodología para aplicar herramientas conjuntas puede utilizarse en diferentes contextos industriales, siempre y cuando se requiera utilizar técnicas de mejora continua o proyectos de características similares, llevando así a las empresas a niveles más altos en cuestión de productividad, gracias al seguimiento continuo que garantiza la permanencia de los resultados.

REFERENCIAS

- Abonyi, J., & Czvetkó, T. (2022). Hypergraph and network flow-based quality function deployment. *Heliyon*, 8(12), e12263. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12263>
- Arcidiacono, G., Risaliti, E., & Del Pero, F. (2024). Design for Six Sigma in the product development process under a sustainability point of view: A real-life case study. *Sustainability*, 16(23), 10387. <https://doi.org/10.3390/su162310387>
- Burgos-Arcos, C. L., Viñan-Guerrero, P. A., Rivera-Velásquez, M. F., Romero-Villacrés, M. F., & Gualli-Bonilla, D. A. (2021). El despliegue de la función de calidad como herramienta para el diseño de productos: Cuy Andino, como caso de estudio. *KAIRÓS, Revista de Ciencias Económicas, Jurídicas y Administrativas*, 4(6), 52-69. <https://doi.org/10.37135/kai.03.06.04>
- Cruz-Rivero, L., Meráz-Rivera, J., & Lince-Olguín, E. (2023). El despliegue de la función de la calidad y la teoría para la solución de problemas de inventiva: Un análisis de aproximación para la satisfacción de los requerimientos del cliente. *Ingeniería Industrial*, (45), 91-108. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2023.n45.6595>
- Erdil, N. O., & Arani, O. M. (2018). Quality function deployment: More than a design tool. *International Journal of Quality and Service Sciences*, 10(3), 263-284. <https://doi.org/10.1108/IJQSS-02-2017-0008>
- Fargnoli, M., & Haber, N. (2023). A QFD-based approach for the development of smart product-service systems. *Engineering Reports*, 5(11), e12665. <https://doi.org/10.1002/eng2.12665>
- Frizziero, L., Francia, D., Donnici, G., Liverani, A., & Caligiana, G. (2018). Sustainable design of open molds with QFD and TRIZ combination. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 35(1), 21-31. <https://doi.org/10.1080/21681015.2017.1385543>
- García-Orozco, S., Vargas-Gutiérrez, G., Ordóñez-Sánchez, S., & Silva, R. (2023). Using multi-criteria decision making in quality function deployment for offshore renewable energies. *Energies*, 16(18), 6533. <https://doi.org/10.3390/en16186533>
- Guerrero González, M. L., Cruz Rivero, L., Mendo Ostos, L., & Vázquez Estrada, O. W. (2025). VoC y QFD como herramientas de integración para el diseño de un prototipo de monitoreo de estructuras de concreto. *Ciencia y Reflexión*, 4(3), 1495-1516. <https://doi.org/10.70747/cr.v4i3.483>

- Gutiérrez-García, A. (2019). La gestión de la calidad mediante métodos científicos. *Revista de Educación Técnica*, 3(7), 19-26. <https://doi.org/10.35429/JOTE.2019.7.3.19.26>
- Herrera, J. F. P. (2020, 5 de noviembre). *Despliegue de la función calidad (QFD): Guía de uso. Para qué sirve el QFD y cómo realizarlo*. Lean Construction Mexico. <https://www.leanconstructionmexico.com.mx/post/despliegue-de-la-función-calidad-qfd-guía-de-uso-para-qué-sirve-el-qfd-y-cómo-realizarlo>
- Herrera De la Barrera, J., & Narváez Zúñiga, C. (2017). Metodología para la comprensión de la voz del cliente en entornos dinámicos utilizando el despliegue de funciones de calidad (QFD). *Teknos Revista Científica*, 17(2), 63-72.
- Jiménez Rodríguez, R., Macías Socarrás, I., & Núñez, P. (2020). Aplicación del QFD a productos de una fábrica de conservas. *Espacios*, 41(44), 225-239.
- Mao, L.-X., Lan, J., Chen, A., Shi, H., & Liu, H.-C. (2023). New approach for quality function deployment based on linguistic distribution assessments and CRITIC method. *Computers & Industrial Engineering*, (178), 109121. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109121>
- Martineau, S. C. Y. (2015). *Process improvement in aviation maintenance MRO utilizing Lean Six Sigma methodology* [Tesis doctoral]. Northcentral University.
- Mestanza Barragán, D. F., & Rojas Párraga, T. C. (2022). *Aplicación de herramientas de la metodología Six Sigma para la disminución de la variabilidad del proceso de anodizado de perfiles de aluminio en la empresa CEDAL DURÁN S.A.* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana].
- Olaya Escobar, É., Cortés Rodríguez, C., & Duarte Velasco, O. G. (2005). Despliegue de la función calidad (QFD): Beneficios y limitaciones detectados en su aplicación al diseño de prótesis mioeléctrica de mano. *Ingeniería e Investigación*, 25(3), 78-85.
- Pedroso de Sales, J., da Motta Reis, J. S., Medeiros de Barros, J. G., da Fonseca, B. B., de Araujo Junior, A. H., de Almeida, M. G., Barbosa, L. C. F. M., Santos, G., & Sampaio, N. A. S. (2022). Quality management in the contours of continuous product improvement. *International Journal for Quality Research*, 16(3), 689-702. <https://doi.org/10.24874/IJQR16.03-02>

- Quintero Osorio, S. (2024). *Diseño de estrategia metodológica que permita la aplicación de la matriz QFD (Quality function deployment), en el desarrollo de productos para la empresa Locería Colombiana S.A.S.* [Trabajo de grado, Universidad de Antioquia]. Repositorio Digital Universidad de Antioquia. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/entities/publication/23c5327b-8f22-4030-8ef7-30035e86345c>
- Rodríguez-Mera, M. A., Guerrero-Moreno, D., García-Jimenez, J. C., & Peña-Montoya, C. C. (2023). Aplicación de Lean Six Sigma para la mejora del proceso de trabajos de grado en una Institución de Educación Superior. *Scientia et Technica*, 28(02), 92-99. <https://doi.org/10.22517/23447214.24773>
- Shi, H., Mao, L.-X., Li, K., Wang, X.-H., & Liu, H.-C. (2022). Engineering characteristics prioritization in quality function deployment using an improved ORESTE method with double hierarchy hesitant linguistic information. *Sustainability*, 14(15), 9771. <https://doi.org/10.3390/su14159771>
- SPC Consulting Group. (s.f.). *Quality function deployment: La voz del cliente traducido a la voz del ingeniero.* SPC Consulting Group. <https://spcgroup.com.mx/quality-function-deployment-la-voz-del-cliente-traducido-a-la-voz-del-ingeniero/>
- The Lean Six Sigma Company. (s.f.). Claves para entender los CTQ en Lean Six Sigma. The Lean Six Sigma Company <https://theleancompany.es/claves-para-entender-los-ctq-en-lean-six-sigma/>
- Viscarra Alarcón, P. C., Vilcacundo Chamorro, E. M., Castro Berio, F. A., & Vallejo Ballesteros, H. F. (2023). Quality function deployment: Definition, benefits and disadvantages in its application for customer satisfaction management. Critical analysis by data mining. *Remittances Review*, 8(4), 1269-1290. <https://doi.org/10.33182/rr.v8i4.89>
- Wang, J., Liu, H.-C., Shi, H., Guo, W., & Zhu, J.-Y. (2023). New approach for quality function development based on cooperative game-based consensus mechanism and three-way decision method. *Information Sciences*, (644), 119285. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2023.119285>

Xu, X.-G., Zhang, L., Mao, L.-X., & Li, K. (2022). New approach for quality function deployment using an extended CoCoSo method with spherical fuzzy sets. *Systems*, 10(6), 253. <https://doi.org/10.3390/systems10060253>

Zhou, J., Zhai, L., & Pantelous, A. A. (2020). Market segmentation using high-dimensional sparse consumers data. *Expert Systems with Applications*, (145), 113136. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.113136>

TABLA TRABAJO COLABORATIVO

Rol	Autor (es)
Conceptualización	Marrón Hernández Uriel Noe
Metodología	Gutiérrez Martínez Manuel Horacio
Software	Mohedano Torres Enrique de Jesús
Validación	García Morales Ingrid Dánae
Análisis Formal	Rojas Castell Helen Denisse
Investigación	Marrón Hernández Uriel Noe
Recursos	Gutiérrez Martínez Manuel Horacio
Curación de datos	Rojas Castell Helen Denisse
Escritura - Preparación del borrador original	Mohedano Torres Enrique de Jesús
Escritura - Revisión y edición	Mohedano Torres Enrique de Jesús
Visualización	Rojas Castell Helen Denisse
Supervisión	Marrón Hernández Uriel Noe
Administración de Proyectos	Rojas Castell Helen Denisse
Adquisición de fondos	Gutiérrez Martínez Manuel Horacio